

MANEJO DO SOLO E RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO PARA O ESTADO DO ACRE

Editor técnico
Paulo Guilherme Salvador Wadt

Embrapa

**Manejo do Solo e
Recomendação de
Adubação para o Estado do
Acre**

República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luís Carlos Guedes Pinto
Presidente

Silvio Crestana
Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires
Cláudia Assunção dos Santos Viegas
Ernesto Paterniani
Hélio Tollini
Membros

Diretoria-Executiva

Silvio Crestana
Diretor-Presidente

José Geraldo Eugênio de França
Kepler Euclides Filho
Tatiana Deane de Abreu Sá
Diretores-Executivos

Embrapa Acre

Marcus Vinício Neves d'Oliveira
Chefe-Geral

Milcíades Heitor de Abreu Pardo
Chefe-Adjunto de Administração

Luís Cláudio de Oliveira
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Francisco de Assis Correa Silva
Chefe-Adjunto de Comunicação, Negócios e Apoio

Embrapa Informação Tecnológica

Fernando do Amaral Pereira
Gerente-Geral

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Acre
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Manejo do Solo e Recomendação de Adubação para o Estado do Acre

Paulo Guilherme Salvador Wadt
Editor Técnico

Embrapa Acre
Rio Branco, AC
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Acre

Rodovia BR 364, km 14, sentido Rio Branco/Porto Velho

Caixa Postal 321

Rio Branco, AC, CEP 69908-970

Fone: (68) 3212-3200

Fax: (68) 3212-3284

<http://www.cpafac.embrapa.br>

sac@cpafac.embrapa.br

Supervisão editorial: *Claudia Carvalho Sena / Suely Moreira de Melo*

Revisão de texto: *Claudia Carvalho Sena / Suely Moreira de Melo*

Normalização bibliográfica: *Luiza de Marillac Pompeu Braga Gonçalves*

Projeto gráfico, tratamento das ilustrações e editoração eletrônica:

Davi Lima de Moura, Fernando Farias Sevá e Iuri Rudá F. Gomes

Capa: *Fernando Farias Sevá*

Foto da capa: *Paulo Guilherme Salvador Wadt*

1ª edição

1ª impressão (2005): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

Embrapa Acre.

W124m	Wadt, Paulo Guilherme Salvador (Ed.) Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. 635 p. il. ISBN 85-99190-01-6 1. Solo – Acre. 2. Solo – Matéria orgânica – Acre. 3. Nutrição mineral – Acre. 4. Plantio direto – Acre. 5. Adubação orgânica – Acre. I. Título. CDD 631.498112
-------	--

Autores

Adriana Maria de Aquino

Bióloga, Ph.D., Embrapa Agrobiologia, BR 465 (Antiga Estrada Rio–São Paulo), km 47, 23890-000, Seropédica, RJ, adriana@cnpab.embrapa.br

Adriano Alex Santos e Rosário

Engenheiro agrônomo, B.Sc., Universidade Federal do Acre/Parque Zoobotânico, BR 364, km 4, 69915-900, Rio Branco, AC, adrianoalex@yahoo.com.br

Alberto Carlos Campos Bernardi

Engenheiro agrônomo, D.Sc., Embrapa Pecuária Sudeste Rod.Washington Luiz, Km 234 Faz. Canchim Caixa Postal 339, 13560-970, São Carlos, SP, alberto@cnpse.embrapa.br

Beáta Eموke Madari

Engenheira agrônoma, Ph.D., Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico 1024, 22460-000, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ, beata@cnpes.embrapa.br

Celso Luís Bergo

Engenheiro agrônomo, M.Sc., Embrapa Acre, Caixa Postal 321, 69908-970, Rio Branco, AC, celso@cnpafac.embrapa.br

Edson Alves de Araújo

Engenheiro agrônomo, M.Sc., doutorando em Solos e Nutrição de Plantas (UFV), Secretaria de Agropecuária (Seap), Rua do Aviário 315, 69909-970, Rio Branco, AC, earaujo.ac@uol.com.br

Eliane Maria Ribeiro da Silva

Engenheira florestal, Ph.D., Embrapa Agrobiologia, BR 465 (Antiga Estrada Rio–São Paulo), km 47, 23890-000, Seropédica, RJ, eliane@cnpab.embrapa.br

Eufran Ferreira do Amaral

Engenheiro agrônomo, mestrando em Solos e Nutrição de Plantas (UFV), Embrapa Acre, Caixa Postal 321, 69908-970, Rio Branco, AC, eufran@cpafac.embrapa.br

Helvécio De-Polli

Engenheiro agrônomo, Ph.D., Embrapa Agrobiologia, BR 465 (Antiga Estrada Rio–São Paulo), km 47, 23890-000, Seropédica, RJ, depolli@cnpab.embrapa.br

Idésio Luís Franke

Engenheiro agrônomo, mestrando em Desenvolvimento Sustentável – Gestão de Ciência e Tecnologia/Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (UnB), Embrapa Acre, Caixa Postal 321, 69908-970, Rio Branco, AC, idesio@cpafac.embrapa.br

João Luiz Lani

Engenheiro agrônomo, D.Sc., Departamento de Solos/UFV/Campus Universitário, 36571-000, Viçosa, MG, lani@solos.ufv.br

João Paulo Guimarães Soares

Zootecnista, B.Sc., Embrapa Rondônia, Caixa Postal 406, 78970-900, Porto Velho, RO, jpsoares@cpafro.embrapa.br

José Márcio Malveira da Silva

Engenheiro agrônomo, M.Sc., bolsista DCR/CNPq/
Embrapa Acre, Caixa Postal 321, 69908-970, Rio
Branco, AC, malveira@cpafac.embrapa.br

José Ribamar Torres da Silva

Engenheiro agrônomo, D.Sc., Ufac, BR 364, km 4,
69915-900, Rio Branco, AC, labsolos@ufac.br

Luís Cláudio de Oliveira

Engenheiro agrônomo, M.Sc., Embrapa Acre, Caixa
Postal 321, 69908-970, Rio Branco, AC,
lclaudio@cpafac.embrapa.br

Manoel da Silva Cravo

Engenheiro agrônomo, D.Sc., Embrapa Amazônia
Oriental, Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/n, B. Marco
66095-100 Caixa Postal 48, Belém, PA,
cravo@expert.com.br

Mariete Peres da Silva

Engenheira agrônoma, B.Sc., Seprof, Av. Getúlio
Vargas, 300, Centro, 69900-660, Rio Branco, AC,
mperesil@bol.com.br

Marta dos Santos Freire Ricci

Engenheira agrônoma, D.Sc., Embrapa Agrobiologia,
BR 465 (Antiga Estrada Rio–São Paulo), km 47, 23890-
000, Seropédica, RJ, marta@cnpab.embrapa.br

Moacyr Bernardino Dias-Filho

Engenheiro agrônomo, Ph.D., Embrapa Amazônia
Oriental, Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/n, B. Marco
66095-100 Caixa Postal 48, Belém, PA,
moacyr@cpatu.embrapa.br

Nilson Gomes Bardales

Engenheiro agrônomo, mestrando em Solos e Nutrição de Plantas Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra (Neput), Vila Gianetti, casa 13, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, MG, nilsonbard@yahoo.com.br

Norma Gouvêa Rumjanek

Farmacêutica, Ph.D., Embrapa Agrobiologia, BR 465 (Antiga Estrada Rio-São Paulo), km 47, 23890-000, Seropédica, RJ, norma@cnpab.embrapa.br

Orivaldo José Saggin Júnior

Engenheiro agrônomo, D.Sc., Embrapa Agrobiologia, BR 465 (Antiga Estrada Rio-São Paulo), km 47, 23890-000, Seropédica, RJ, saggin@cnpab.embrapa.br

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Engenheiro agrônomo, D.Sc., Embrapa Acre, Caixa Postal 321, 69908-970, Rio Branco, AC, paulo@cpafac.embrapa.br

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado

Engenheiro agrônomo, Ph.D., Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico 1024, Jardim Botânico, 22460-000, Rio de Janeiro, RJ, pedro@cnps.embrapa.br

Renato Luiz Grisi Macedo

Engenheiro florestal/Engenheiro agrônomo, D.Sc., Departamento de Ciências Florestais/Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 37, 37200-000, Lavras, MG

Roberto da Rocha Braga

Engenheiro agrônomo, B.Sc., Ministério da Agricultura/
Acre, BR 364, km 5, 69915-200, Rio Branco, AC,
roberto_braga@zipmail.com.br

Sérvulo Casas Furtado

Engenheiro agrônomo, M.Sc., bolsista CNPq/Embrapa
Acre, Caixa Postal 321, 69908-970, Rio Branco, AC,
servulo@pop.com.br

Tadário Kamel de Oliveira

Engenheiro agrônomo, M.Sc., Embrapa Acre, Caixa
Postal 321, 69908-970, Rio Branco, AC,
tadario@cpafac.embrapa.br

Veronica Massena Reis

Engenheira agrônoma, D.Sc., Embrapa Agrobiologia,
BR 465 (Antiga Estrada Rio-São Paulo),
km 47, Seropédica, RJ, 23890-000,
veronica@cnpab.embrapa.br

Víctor Hugo Alvarez Venena

Engenheiro agrônomo, D.Sc., Departamento de Solos/
UFV/Campus Universitário, 36571-000, Viçosa, MG,
vhav@ufv.br

Vinícius de Melo Benites

Engenheiro agrônomo, D.Sc., Embrapa Solos, Rua
Jardim Botânico 1024, Jardim Botânico, 22460-000,
Rio de Janeiro, RJ, vinicius@cnpas.embrapa.br

Revisores deste trabalho

Angelo Mansur Mendes (*ad hoc*), Embrapa Rondônia
(Capítulos 1 e 2)

Carlos Maurício Soares de Andrade, Embrapa Acre
(Capítulo 17)

Celso Luís Bergo, Embrapa Acre
(Capítulos 10, 14 e 17)

Claudenor Pinho de Sá, Embrapa Acre
(Capítulo 9)

Elias Melo de Miranda, Embrapa Acre
(Capítulos 5 e 17)

Hélia Alves de Mendonça, Embrapa Acre
(Capítulo 17)

Henrique José Borges de Araujo, Embrapa Acre
(Capítulo 15)

João Batista Martiniano Pereira, Embrapa Acre
(Capítulos 5, 6, 7, 9, 13 e 16)

Jonny Everson Scherwinski Pereira, Embrapa Acre
(Capítulos 2, 8 e 17)

José Tadeu de Souza Marinho, Embrapa Acre
(Capítulos 11 e 17)

Judson Ferreira Valentim, Embrapa Acre
(Capítulos 7 e 10)

Lúcia Helena de Oliveira Wadt, Embrapa Acre
(Capítulo 6)

Luís Cláudio de Oliveira, Embrapa Acre
(Capítulos 8, 13 e 14)

Manuel Claudio Motta Macedo (*ad hoc*), Embrapa
Gado de Corte
(Capítulo 16)

Marcílio José Thomazini, Embrapa Acre
(Capítulos 11 e 16)

Maria de Jesus Barbosa Cavalcante, Embrapa Acre
(Capítulo 17)

Tadário Kamel de Oliveira, Embrapa Acre
(Capítulos 1, 15 e 17)

Dedicatória

Este livro é dedicado àquelas pessoas que contribuíram para a compreensão da natureza e propriedades dos solos da Formação Solimões nesta região da Amazônia, em especial ao pesquisador José Raimundo Natividade Ferreira Gama, cujos trabalhos inéditos sobre a gênese e fertilidade do solo foram importantes para fundamentar a necessidade de uma abordagem diferenciada para o uso, conservação e manejo destes solos de alta fertilidade natural.

Agradecimentos

Agradecimentos são devidos ao Banco da Amazônia SA e à Uninorte pelo apoio financeiro, e a todas as pessoas que colaboraram para a concretização deste livro, principalmente aos autores que aceitaram a empreitada de realizar esta obra, conhecidas as dificuldades, aos revisores dos textos e, em especial, aos colegas Adriana Maria de Aquino, Edson Alves de Araújo, Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado, Moacyr Bernardino Dias-Filho e Tadário Kamel de Oliveira, que além da contribuição como autores, colaboraram na discussão, negociação com co-autores e na idealização da obra; aos colegas Angelo Mansur Mendes, Jonny Everson Scherwinski Pereira, João Batista Martiniano Pereira e Carlos Maurício Soares de Andrade, pelas importantes críticas na revisão de alguns capítulos.

Às colegas Suely Moreira de Melo e Claudia Carvalho Sena, cuja paciência e contribuição foram fundamentais para viabilizar os trâmites do trabalho e pela revisão final.

Finalmente, um agradecimento especial ao professor Víctor Hugo Alvarez Venena, pela oportunidade de poder contar com seus comentários e críticas, os quais foram fundamentais no desenvolvimento de tabelas de recomendação de nutrientes integrando análises de solos e foliares em um único sistema de recomendação de adubação.

Apresentação

A biodiversidade da Região Amazônica é alvo de constantes debates pela importância de sua flora, fauna e recursos hídricos. Por outro lado, seus solos por muito tempo foram considerados como sendo pedologicamente velhos e de baixa fertilidade natural, significando que a cobertura florestal seria a única depositária das reservas nutricionais dos diferentes ecossistemas. Esta visão, entretanto, não representa adequadamente as propriedades naturais e gênese dos solos da Formação Solimões, onde, particularmente no Estado do Acre, suas características diferenciais se expressam com toda a magnitude.

No Estado do Acre coexistem ambientes com solos envelhecidos, como Argissolos e Latossolos, ao lado de ambientes com solos jovens de alta fertilidade, como Vertissolos e Luvisolos. Este complexo edáfico tem se mostrado distinto dos demais solos da Amazônia em termos de resiliência, o que denota que esse ecossistema deve ser tratado de forma diferenciada em termos de manejo, utilização e recuperação ou reabilitação. Os solos mais velhos, como Latossolos e Argissolos, dado a sua natureza, são mais profundos, ocorrem em relevo plano a suave ondulado e, em sua maioria, são pobres quimicamente, mas resistem às atividades de mecanização e revolvimento do solo.

Ao passo que no segundo ambiente, com predomínio de Cambissolos, Vertissolos e Luvisolos, em sua maioria em relevo movimentado, são mais propensos aos processos erosivos, são rasos, com impedimento de drenagem interna, o que reduz a infiltração e sua capacidade de armazenamento de água, comprometendo inclusive a capacidade de recarga de rios e igarapés da região.

Assim, o propósito desta obra foi aproveitar a experiência de diversos especialistas da área de Ciência do Solo, consolidando suas informações e os principais resultados da pesquisa em solos obtidos nos últimos anos, em um único livro que possa ser útil para subsidiar a formação profissional de estudantes de agronomia, biologia, engenharia florestal e áreas correlatas, como também orientar a atuação profissional de técnicos da extensão e de produtores rurais.

Marcus Vinicio Neves d'Oliveira
Chefe-Geral da Embrapa Acre

Prefácio

Esta obra foi organizada com o propósito de fundamentar três questões básicas para o uso sustentável dos solos no Estado do Acre: Quais e como as propriedades químicas, físicas e biológicas destes solos afetam seu manejo racional? Quais as técnicas de manejo indicadas para os principais sistemas de produção agrícola e florestal no Estado? Quais as quantidades necessárias de nutrientes para as principais culturas agrícolas no Estado? Desta forma, especialistas e colaboradores se reuniram e elaboraram os capítulos necessários para abordar os assuntos que responderiam as três perguntas básicas.

Neste sentido, os capítulos 1 a 5 tratam das propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos, atualizando o conhecimento em face dos recentes estudos sobre a natureza dos solos da Formação Solimões, onde se insere o Estado do Acre.

O capítulo “Aspectos Gerais dos Solos do Acre com Ênfase ao Manejo Sustentável” realiza uma abordagem geral sobre os solos do Estado do Acre, relatando questões referentes a sua gênese, distribuição espacial e indicadores de uso.

O capítulo “Minerais da Fração Argila de Relevância para os Solos do Estado do Acre” orienta o leitor para a importância dos minerais de argilas de alta atividade, incomuns em outras regiões na Amazônia, e trata da ocorrência destes minerais no Estado do Acre.

Os capítulos “Matéria Orgânica do Solo” e “A Biota do Solo e Processos Relevantes num Novo Contexto da Agricultura” procuram resgatar para essa região a importância destes dois temas, que têm sido objeto de pouca pesquisa. Assim, apresentam uma visão geral sobre os processos relacionados à matéria orgânica e à biologia do solo.

Finalmente, o capítulo “Dinâmica de Nutrientes com Ênfase para as Condições de Solos do Estado do Acre” discute a dinâmica química dos nutrientes num ambiente tropical úmido e com predomínio de argilas de alta atividade, trazendo ao leitor uma visão pouco comum nos livros de fertilidade do solo editados no Brasil, que foram idealizados para o manejo de solos de baixa fertilidade natural.

A segunda questão (Quais as técnicas de manejo indicadas para os principais sistemas de produção agrícola e florestal no Estado?) considerou práticas agrícolas em seu sentido lato, ou seja, todas as atividades relacionadas ao plantio e cultivo de espécies vegetais (silvicultura, pastagens e culturas em geral), incluindo o manejo de florestas naturais nos sistemas de produção florestal.

Em função disto, foram selecionados aqueles sistemas de produção de maior expressão na região (manejo florestal madeireiro e pecuária de corte) ou de maior potencial no futuro (sistema de plantio direto para grãos, sistemas agroflorestais e silvicultura) e para cada um destes, foram feitas as recomendações gerais para o manejo de solo, as quais foram analisadas nos capítulos 12 a 16.

Assim, o capítulo “Potencial para o Sistema Plantio Direto no Acre” procura enfatizar as principais possibilidades e limitações para a adoção deste sistema na região da Amazônia.

O capítulo “Manejo da Fertilidade do Solo em Sistemas Agroflorestais” proporcionou uma ampla revisão sobre o manejo do solo em sistemas agroflorestais, indicando suas principais vantagens para o uso sustentável deste recurso natural.

O capítulo “Ciclagem de Nutrientes e Manejo do Solo em Florestas Plantadas” aborda um sistema de uso da terra ainda incipiente na região, porém, com grande possibilidade de desenvolvimento no futuro próximo, seja em função da aptidão agrícola de muitas terras do Estado, seja pelo próprio desenvolvimento do mercado de madeiras tropicais.

Os capítulos seguintes “Fluxo de Nutrientes em Florestas Tropicais Manejadas” e “Manejo do Solo em Pastagens Plantadas” abordaram os dois principais sistemas de produção do Estado do Acre, tendo como objetivo fundamentar a utilização destes sistemas em condições de manejo sustentável, visando à otimização do uso do recurso solo.

Finalmente, a terceira e última questão (Quais as quantidades necessárias de nutrientes para as principais culturas agrícolas no Estado?) foi respondida por meio dos capítulos 6 a 11 e capítulo 17. A preocupação neste sentido não foi somente indicar a quantidade de nutriente necessária, mas também os processos e técnicas relacionados à fertilização das culturas.

Por isso, o capítulo “Amostragem de Solo” trata da técnica mais importante para o monitoramento da fertilidade do solo, que é o processo de amostragem. O capítulo seguinte, “Interpretação de Resultados de Análises de Solos”, propõe a primeira aproximação para a interpretação dos resultados analíticos de fertilidade do solo, necessária para a recomendação de nutrientes.

O capítulo “Nutrição Mineral de Plantas e Diagnose Foliar” aborda as questões clássicas relacionadas à nutrição mineral de plantas, enquanto o capítulo “Monitoramento Nutricional” propõe que técnicas avançadas de monitoramento nutricional sejam adotadas com o intuito de possibilitar o desenvolvimento de uma agricultura efetivamente sustentável nesta região.

O capítulo “Implementação das Recomendações de Adubação” trata do processo de conversão da recomendação de nutrientes em fertilizantes, sejam estes orgânicos ou minerais, enquanto o capítulo “Adubação Orgânica” aborda a utilização de fontes orgânicas (adubos verdes, compostos) na agricultura, resgatando os principais resultados de pesquisa.

Finalmente, o capítulo “Recomendação de Adubação para as Principais Culturas” aborda as especificidades de cada espécie vegetal em relação as suas demandas de nutrientes, possibilitando a elaboração de recomendações de adubação econômicas e ambientalmente equilibradas, por incluir no sistema de recomendação, para aquelas culturas de maior potencial econômico, a integração de duas poderosas

ferramentas de diagnose: análise de solos e análise foliar.

Entretanto, mesmo sendo a obra idealizada para fornecer ao leitor uma visão completa sobre o manejo dos solos e técnicas e recomendações de adubação, cada capítulo foi elaborado de forma independente, facilitando assim sua utilização em questões práticas relacionadas ao uso e manejo destes solos.

Infelizmente, o tempo dedicado à elaboração de uma obra desta magnitude dificulta que os resultados de pesquisa recém-concluídos venham a constar no livro. Mesmo assim, apesar destas dificuldades, o sentimento ao concluir esta obra é que conseguimos trazer para o leitor informações efetivamente inovadoras e atualizadas, capazes de formar profissionais e transformar a região num pólo de bem-estar social e econômico para seus habitantes.

Paulo Guilherme Salvador Wadt
Editor Técnico

Sumário

Capítulo 1

Aspectos Gerais dos Solos do Acre com Ênfase ao Manejo Sustentável.....27

Capítulo 2

Minerais da Fração Argila de Relevância para os Solos do Estado do Acre63

Capítulo 3

Matéria Orgânica do Solo.....93

Capítulo 4

A Biota do Solo e Processos Relevantes num Novo Contexto da Agricultura..... 121

Capítulo 5

Dinâmica de Nutrientes com Ênfase para as Condições de Solos do Estado do Acre.....175

Capítulo 6

Amostragem de Solo.....229

Capítulo 7

Interpretação de Resultados de Análises de Solos.....245

Capítulo 8

Nutrição Mineral de Plantas e Diagnóstico Foliar.....253

Capítulo 9	
Monitoramento Nutricional.....	283
Capítulo 10	
Implementação das Recomendações de Adubação.....	305
Capítulo 11	
Adubação Orgânica.....	325
Capítulo 12	
Potencial para o Sistema Plantio Direto no Acre.....	351
Capítulo 13	
Manejo da Fertilidade do Solo em Sistemas Agroflorestais.....	375
Capítulo 14	
Ciclagem de Nutrientes e Manejo do Solo em Florestas Plantadas.....	413
Capítulo 15	
Fluxo de Nutrientes em Florestas Tropicais Manejadas.....	435
Capítulo 16	
Manejo do Solo em Pastagens Plantadas.....	459
Capítulo 17	
Recomendação de Adubação para as Principais Culturas.....	491

Capítulo 1

Aspectos Gerais dos Solos do Acre com Ênfase ao Manejo Sustentável

Edson Alves de Araújo
Eufra n Ferreira do Amaral
Paulo Guilherme Salvador Wadt
João Luiz Lani

Introdução

A maior parte das terras do Acre é inexplorada. Entretanto, as perspectivas quanto a sua ocupação em curto e médio prazo vêm se constituindo uma grande preocupação, principalmente por estar sendo feita de modo desordenado, desrespeitando-se, muitas vezes, as condições ambientais.

As principais atividades do setor primário da economia no Estado são o extrativismo vegetal, a agricultura de subsistência e a pecuária, sendo esta última a que mais tem crescido nos últimos anos.

O solo exerce um papel muito importante na qualidade de componente chave no processo de sustentação de tais atividades. No entanto, as pesquisas sobre os solos do Acre ainda não atendem quantitativamente às necessidades, para que um número maior de respostas seja dado sobre a sua influência nos ecossistemas naturais e agropastoris em que estão inseridos.

Nos últimos anos, os levantamentos e estudos de solos foram intensificados, e suas contribuições têm elevado significativamente o conhecimento atual no que concerne à gênese, morfologia, física, química, mineralogia e ao manejo. Isso tem permitido estabelecer inferências sobre a melhor utilização de alguns desses solos.

O objetivo do presente capítulo é caracterizar o ambiente em que se insere os solos do Estado do Acre, para que suas potencialidades e restrições

sejam compreendidas de forma mais ampla, inclusive quanto às questões ligadas ao uso sustentável.

O Ambiente de Inserção dos Solos no Estado do Acre

O Estado do Acre possui 152.589 km², o que corresponde a 1,79% do território nacional. Localiza-se e ocupa 3,16% da Região Norte, no sudoeste da Amazônia Brasileira (Acre, 2000).

Os estudos referentes à caracterização e mapeamento dos solos efetuaram-se em levantamentos pedológicos realizados a partir da década de 70. Os principais estudos foram: a) Projeto Radambrasil (Brasil, 1976 e 1977) que envolveu toda a extensão territorial do Estado, originando mapas em escala 1:1.000.000; b) Projeto de Proteção do Meio Ambiente e das Comunidades Indígenas (IBGE, 1990 e 1994), abrangendo o primeiro projeto parte do Estado do Acre, Rondônia e Amazonas e o segundo, as bacias dos Rios Juruá e Javari, nos Municípios de Cruzeiro do Sul, Feijó, Mâncio Lima e Tarauacá; c) Projeto Acre (Embrapa, 1979 e 1989) que levantou solos da área de influência da BR 364, no trecho Rio Branco–Cruzeiro do Sul (estudo não concluído); d) levantamentos exploratórios e detalhados em pólos de assentamento da reforma agrária (Incra, 1977 e 1978; Embrapa, 1990; Amaral & Araújo Neto, 1998) e pólos agroflorestais (Amaral et al., 2000); e) mais recentemente, alguns levantamentos detalhados

realizados pelo programa de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado (Acre, 2000). Novos estudos, incluindo levantamentos de solo mais detalhados ao longo dos principais eixos rodoviários, estão atualmente sendo realizados para a segunda etapa do programa de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre.

Os dados disponíveis sobre geologia, litologia, geomorfologia, clima e vegetação são basicamente aqueles do Projeto Radambrasil, cujas informações essenciais foram revistas quando da elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico para o Estado do Acre (Acre, 2000).

Geologia

No Acre, foram identificadas três regiões geologicamente distintas:

1) Complexo Fisiográfico da Serra do Divisor (serras Rio Branco, Juruá-Mirim, Moa e Jaquirana), formado principalmente por sedimentos do Cretáceo e pequenas ocorrências do Pré-Cambriano e do Paleozóico, localiza-se no extremo sudoeste do Estado, na divisa entre o Brasil e o Peru.

2) Sedimentos das Formações Ramon e Solimões, esta última constituindo-se a deposição continental geologicamente mais recente (Plioceno médio¹ ao Pleistoceno²) e abrangendo a maior parte do Estado.

¹Final do período Terceário.

²Início do período Quaternário.

3) Áreas aluviais, formadas pelos terraços fluviais, e áreas aluvionares (Quaternário).

Essas formações geológicas se inserem na Bacia do Acre, que localiza-se entre a Cordilheira Andina e o limite ocidental da Plataforma Continental Sul-Americana. Essa bacia teve sua evolução afetada pela orogenia andina (levantamento da Cordilheira Andina Oriental), conforme se descreve adiante.

As unidades litoestratigráficas que ocorrem têm idades que vão do Proterozóico até o presente. Na região houve também transgressões marinhas. A primeira ocorreu no Carbonífero, período no qual os sedimentos da Formação Formosa se depositaram em ambiente marinho raso.

Após a deposição da Formação Formosa, ocorreram eventos ígneos de natureza alcalina. Cessada a atividade ígnea, a Bacia do Acre entrou em subsidência com a borda leste positiva, propiciando uma sedimentação clástica regressiva. É, então, depositado o Grupo Acre, inicialmente com os arenitos com estratificação cruzada da Formação Moa, com características típicas de ambientes de deposição rápida de várias fontes não muito distantes.

Ao final da época Campaniana³ ocorreram outras transgressões marinhas originadas a partir do Peru, proporcionando a essa formação caráter cada vez mais marinho. Ao final desse período houve movimentos da crosta provocados pelas orogenias,

³Período Cretácio.

afetando a Bacia do Acre. Esses movimentos resultaram em levantamentos das áreas localizadas a leste, proporcionando uma rápida deposição de arenitos grosseiros que constituem a Formação Divisor, finalizando-se a deposição do Grupo Acre.

A partir do Terciário, iniciou-se um novo ciclo deposicional, predominantemente continental, com incursões marinhas, que constituem a Formação Ramon. Esses sedimentos originaram-se de rochas preexistentes localizadas a leste da área subsidente, que constituíam áreas emersas, fornecendo material removido pela erosão.

Nesse período, a Bacia Subandina esteve sujeita aos eventos diastróficos, responsáveis pelo soerguimento da Cordilheira Andina. Na Bacia do Acre, o Grupo Acre⁴ foi soerguido originando o Complexo Fisiográfico da Serra do Divisor; no final do Terciário Superior, foi dobrado e falhado, originando a Anticlinal do Moa.

Durante essa fase orogênica, na qual se processa o soerguimento da Cordilheira Andina, a Bacia do Acre, que durante todo o Cretáceo e Terciário Inferior tinha sido marginal e pericratônica, torna-se bloqueada pelo soerguimento dos Andes, transformando-se numa bacia intracontinental. Como consequência disso, processa-se uma inversão no sentido da rede de drenagem, que passa a fluir para leste, criando assim um ambiente tipicamente fluvial. Isso proporcionou a deposição de espessos pacotes

⁴Moa, Rio Azul e Divisor, formações do início, meio e final do período Cretáceo.

argilo-arenosos, que passaram a assorear a Bacia do Acre, constituindo, então, a Formação Solimões.

Essa unidade litoestratigráfica teve sua deposição iniciada provavelmente depois do Paroxismo Andino (evento que deu origem à Cordilheira Andina), daí seu posicionamento no Plioceno Médio ao Pleistoceno. Esse fato tem alicerce na deposição das camadas horizontalizadas, jazendo sobre camadas dobradas, marcando o início do seu ciclo deposicional.

A ocorrência de veios de gipsita e material carbonático na Formação Solimões, depositados em ambiente continental de água doce, indica a presença de clima semi-árido. O soerguimento da Cordilheira Oriental Andina teria bloqueado a Bacia do Acre, transformando-a de bacia marginal e aberta durante todo o Cretáceo e Terciário Inferior em uma bacia intracontinental. Associada a esse fato, supõe-se ter havido uma inversão no sentido das correntes fluviais, originando um ambiente tipicamente fluvial, com algumas influências deltaicas e lacustrinas salobras. A origem do material carbonatado deve-se ao fato de que esses sais solúveis foram carregados pelos cursos d'água de fontes situadas à oeste da Bacia do Acre e despejados em lagos instalados, que devem ter sido submetidos a um clima árido capaz de provocar evaporação suficiente para formar esses evaporitos.

Após a deposição da Formação Solimões, houve uma retomada nos movimentos da crosta, porém com

menor intensidade. Esses movimentos reativaram falhamentos e fraturas (refletidos pelos lineamentos Nordeste-Sudoeste e Noroeste-Sudeste) e condicionaram o controle na drenagem. Em seguida, durante o Holoceno foram depositados os aluviões dos terraços e das planícies fluviais relacionadas à atual rede de drenagem.

A Formação Solimões, geologicamente mais recente, é a mais significativa em termos de superfície ocupada, estendendo-se por mais de 80% do Estado. cobre quase toda a região interfluvial, com exceção do extremo oeste do Estado, onde se encontra o Complexo Fisiográfico da Serra do Divisor, geologicamente mais antigo, cujas formações ocorrem apenas dentro do Parque Nacional da Serra do Divisor e do seu entorno (Formação Ramon e Grupo Acre⁵). Outras formações geologicamente recentes constituem-se os Depósitos Aluviais Holocênicos, que têm ampla distribuição no Estado, e a Formação Cruzeiro do Sul, formada por sedimentos mais arenosos e os aluviões da planície fluvial, que ocorre a leste da cidade do mesmo nome.

Litologia

O Complexo Fisiográfico da Serra do Divisor não apresenta, atualmente, interesse do ponto de vista de uso do solo, por situar-se no extremo oeste do Estado em áreas de difícil acesso. Ademais, sua extensão territorial é restrita.

⁵Compreende as formações Complexo Xingu, Formação Formosa e Sienito República, com origem nos períodos pré-Cambriano e Paleozóico.

Por outro lado, os principais solos de uso agrícola do Estado pertencem à Formação Solimões que, por ser bastante diversificada, origina uma grande variedade de classes e tipos de solos.

Na Formação Solimões predominam rochas argilosas com concreções carbonáticas (com carbonato de cálcio) e gipsíferas (com gesso), ocasionalmente com material carbonizado (turfa e linhito), concentrações esparsas de pirita e grande quantidade de fósseis de vertebrados e invertebrados. Subordinadamente, ocorrem siltitos, calcáreos síltico-argilosos, arenitos ferruginosos e conglomerados plomíticos.

Finalmente, os principais Aluviões Holocênicos constituem os sedimentos das planícies fluviais, sobrepondo-se discordantemente à Formação Solimões, e caracterizam-se pelos barrancos e praias em ambas as margens dos rios. A espessura desses depósitos pode variar de um a seis metros.

Geomorfologia

O relevo no Acre varia de plano a montanhoso. Em escala regional, as unidades morfoestruturais do Estado são:

- 1) O Planalto Rebaixado (da Amazônia Ocidental) desenvolvido sobre a Formação Solimões, em área de interflúvios tabulares de relevo plano com altitudes de 250 m. Essa unidade predomina na região de Cruzeiro do Sul, no extremo oeste e no leste e sudeste do Estado do Acre, onde ocorrem

principalmente os Latossolos, Argissolos e Plintossolos.

2) A Planície Amazônica é representada pelas planícies aluviais margeando os rios e pelos níveis de terraços descontínuos, remanescentes de sedimentos recentes, sendo a superfície mais baixa (200 m). Nessa unidade predominam os solos característicos das várzeas dos rios existentes no Estado, cujas principais ocorrências são os Gleissolos e Neossolos Flúvicos.

3) A Depressão Amazônica (constituída no Estado pela depressão Rio Acre⁶/Javari⁷) alcança, em geral, altitudes de no máximo 300 m, sendo representada pelas extensas planícies de idade Terciária desenvolvidas sobre a Formação Solimões e pela área de altitudes mais elevadas (até 580 m) denominada Complexo Fisiográfico da Serra do Divisor. Essa unidade compreende a maior parte do Estado, principalmente em sua região central, na qual se encontram os solos identificados pelo Projeto Radambrasil como Cambissolos e Argissolos. Estudos posteriores indicam que nessa região predominam solos com argilas de alta atividade, alguns com caráter álico, devendo ocorrer além das classes já relacionadas, Vertissolos, Luvisolos, Alissolos e Plintossolos.

⁶O Rio Acre situa-se no extremo leste do Estado do Acre, sendo afluente do Rio Purus no Estado do Amazonas.

⁷O Rio Javari situa-se na divisa entre o Estado do Amazonas no Brasil e o Departamento de Loreto no Peru, sendo afluente do Rio Solimões, próximo às cidades de Tabatinga, AM, e Letícia, na Colômbia.

Clima

O clima no Acre, segundo classificação de Thornthwaite & Mather é úmido (Acre, 2000), subdividido em quatro faixas que se distribuem na direção dos paralelos, no sentido leste-oeste: primeiro úmido (B1); segundo úmido (B2); terceiro úmido (B3); e quarto úmido (B4), cujos totais pluviométricos são, respectivamente, de 1.600 a 2.000 mm, 2.000 a 2.250 mm, 2.250 a 2.500 mm e 2.500 a 2.750 mm.

A temperatura média anual está em torno de 24,5°C, a média máxima próxima de 32°C e a temperatura média mínima em torno de 20°C, as duas últimas aproximadamente uniformes para todo o Estado. Entretanto, a temperatura mínima varia de local para local em função da maior ou menor exposição aos sistemas extratropicais (por exemplo, em Cruzeiro do Sul, 10°C; Brasília, 17,4°C; Rio Branco, 20,2°C e Tarauacá, 19,9°C).

A temperatura não é considerada um fator limitante ao desenvolvimento vegetal. As temperaturas mínimas absolutas durante as friagens, que podem atingir até 4°C, são compensadas pelas máximas que ocorrem durante a tarde, provocando a interrupção do estado de retração metabólica que algumas plantas poderiam sofrer.

Os totais pluviométricos variam entre 1.600 e 2.750 mm anuais e tendem a aumentar no sentido Sudeste-Noroeste. Na maior parte do Estado, as

precipitações são abundantes sem uma nítida estação seca. Os meses menos chuvosos são junho, julho e agosto. A principal característica da pluviosidade no Estado é a diminuição progressiva da intensidade do período seco no sentido Sudeste-Noroeste, com três meses secos no setor Sudeste e menos de um no Noroeste.

A umidade relativa apresenta-se em níveis elevados durante todo o ano, com médias mensais em torno de 80%-90%.

Vegetação

No Acre ocorrem duas grandes regiões fitoecológicas (ou sistemas ecológicos regionais) – o domínio da floresta ombrófila densa (FOD) e o domínio da floresta ombrófila aberta (FOA). Essas duas grandes regiões fitoecológicas estão geralmente associadas às principais feições morfoestruturais presentes na Bacia Amazônica – Depressão Rio Acre-Javari, Planalto Rebaixado e Planície Amazônica (Tabela 1).

Essas feições fitoecológicas regionais da floresta ombrófila densa e da floresta ombrófila aberta estão condicionadas a fatores climáticos, geológicos e pedológicos. Dentro desses dois grandes domínios coexiste uma grande diversidade de formações vegetais, sendo o principal fator nessa diferenciação, provavelmente, o edáfico, determinado pela qualidade dos solos.

Tabela 1. Regiões fitoecológicas e as formações vegetais associadas, segundo as principais unidades morfoestruturais do Estado do Acre.

Região fitoecológica	Formação vegetal
	Depressão Rio Acre-Javari
Floresta ombrófila densa	Floresta densa em relevo dissecado em montanha
	Floresta densa em relevo dissecado em colinas
	Floresta densa em relevo dissecado em cristas
Floresta ombrófila aberta	Floresta aberta de relevo ondulado de depósitos coluviais (1. de palmeiras; 2. de cipós)
	Floresta aberta de interflúvios coluviais (1. de palmeiras; 2. de bambu dominante; 3. de bambu dominado)
	Planalto Rebaixado
Floresta ombrófila densa	Floresta densa em interflúvios tabulares
	Campinarama em áreas de acumulação inundáveis (1. arbórea densa; 2. arbustiva)
	Planície Amazônica
Floresta ombrófila aberta	Floresta aberta em planícies aluviais periodicamente inundáveis
	Floresta aberta em planícies aluviais permanentemente inundáveis
	Floresta aberta da planície aluvial em terraços altos residuais

Fonte: Acre (2000).

Principais Ocorrências de Classes de Solos no Estado do Acre

As principais classes de solos que ocorrem no Acre estão representadas, de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, pelos Alissolos, Argissolos, Nitossolos, Luvisolos, Cambissolos, Gleissolos e Latossolos (Tabela 2). Recentemente, estudos em andamento têm indicado que outros solos, como Plintossolos e Vertissolos podem ter uma expressão territorial muito superior à prevista inicialmente, junto com outros solos de ocorrência mais localizada, como os Neossolos Flúvicos e Espodossolos.

As unidades de mapeamento definidas no Zoneamento Ecológico-Econômico foram obtidas principalmente da compilação de dados realizados em levantamentos anteriores (Brasil, 1976 e 1977; IBGE, 1990 e 1994). Esse processo comprometeu, de certa forma, a caracterização mais precisa das principais classes de solos que ocorrem no Estado (Tabela 2), principalmente porque cada unidade de mapeamento constitui-se pela associação de várias classes de solo. Entretanto, este estudo efetuado pelo Zoneamento Ecológico e Econômico do Acre destaca-se por ter quantificado as áreas ocupadas por cada classe de solo e ter vertido as classes de solo para o atual sistema brasileiro de classificação de solos (Embrapa, 1999).

Adicionalmente, problemas na interpretação de dados compilados dificultaram a reclassificação precisa das classes de solos do Estado, o que gerou algumas distorções:

1) Provavelmente em muitas áreas os Plintossolos foram mapeados como Argissolos.

2) Muitos Argissolos não poderiam ser classificados atualmente como tal, por apresentarem argila de alta atividade (CTC da argila $> 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ solo}$) (Embrapa, 1999). Nesse caso, o mais recomendado seria enquadrá-los na classe dos Luvisolos.

3) Muitos solos classificados como Cambissolos podem tratar-se de Vertissolos ou outras classes de solos em que haja a presença marcante de argilas de alta atividade.

Considerando-se o caso dos solos com horizonte diagnóstico B textural, os dados atuais permitem inferir que em aproximadamente 64% do Estado predominam solos com argilas de baixa atividade (Argissolos) e, em apenas 1,8%, ocorrem solos com argilas de média⁸ à alta atividade (Alissolos e Luvisolos) (Tabela 2), podendo ser essa realidade senão inversa, de certa forma distinta das indicações atuais. Essa afirmativa baseia-se na constatação de estudos recentes não publicados nos quais se verifica que a ocorrência de solos com argilas de alta atividade é bastante ampla no Estado, especialmente quanto aos Luvisolos cuja ocorrência provavelmente é significativamente superior.

Prova disso foi a reclassificação e quantificação dos solos do Acre efetuadas por Melo (2003) e o mapa de

⁸ O termo média atividade usado aqui é uma menção ao fato de que na classificação do Alissolos utiliza-se um limite inferior para a definição de argila de maior atividade.

solos do Brasil na escala de 1:5.000.000, lançado recentemente pelo IBGE/CNPS (2001). Melo (2003) agrupou os principais solos dominantes no Acre em seis grupos: Luvisolos (40%), Cambissolos (24%), Argissolos (14%), Alissolos (11%), Hidromórficos (9%) e Latossolos(2%).

Essa discordância em relação ao trabalho do ZEE/AC deve ser devida ao fato de que boa parte desses Luvisolos foi erroneamente reclassificada como Argissolos Eutróficos. Fato que deve ser explicado pela pouca experiência da equipe em verter esses solos para o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999) à época, uma vez que o mesmo havia sido lançado pouco antes da publicação dos resultados da primeira fase do ZEE/AC (Acre, 2000). Isso evidentemente não invalida o pioneirismo e a força de vontade da equipe.

Estima-se também que a ocorrência de Plintossolos tenha uma expressão territorial mais ampla do que a atualmente indicada (Tabela 2). Como os Plintossolos estão associados na paisagem a solos com horizonte B textural, provavelmente muitos desses solos foram equivocadamente classificados como Argissolos. É necessário, entretanto, estar atento para essas diferenças, já que os Plintossolos apresentam sérias limitações de drenagem de difícil correção, o que torna seu potencial agrícola limitado. Alissolos, Argissolos e Luvisolos podem também apresentar problemas de drenagem, porém, de menor intensidade e correção mais fácil.

Tabela 2. Classes de solos no 1º e 2º nível categórico e percentual da área ocupada em relação ao Estado do Acre, agrupados segundo o horizonte diagnóstico principal.

Classe	Área do Estado ocupada com cada classe de solo %
Solos com B textural (B_t)	
Alissolo	1,4
Argissolo Vermelho	19,0
Argissolo Vermelho-Amarelo	3,0
Argissolo Amarelo	41,9
Luvissolo	0,4
Solos com horizonte plíntico	
Plintossolos	n.d.
Solos com horizonte B incipiente (Bi)	
Cambissolo Háptico	24,2
Solos com horizonte glei	
Gleissolos Hápticos	7,4
Solos com B latossólico (Bw)	
Latossolo Vermelho-Amarelo	0,8
Latossolo Vermelho	c.s.
Latossolo Amarelo	1,1
Solos com horizonte A chernozêmico	
Chernossolos Argilúvicos	c.s.
Solos com B nítico (Bt)	
Nitossolo	0,8
Solos com seqüência de horizontes A, R; A, C; A, C, R; ou sem horizonte diagnóstico subsuperficial	
Neossolos Flúvicos	c.s.
Neossolos Litólicos	c.s.

Onde: c.s. = ocorrem somente como componentes secundários nas unidades de mapeamento; n.d. = área de ocorrência não determinada em função da falta de dados na descrição morfológica para a caracterização precisa dos perfis.

Fonte: Acre (2000).

Os exemplos citados indicam que no estado atual, mesmo a visão generalizada do potencial agrícola dos solos do Acre pode merecer revisão. Isto indica necessidade urgente de levantamentos mais detalhados, principalmente em áreas de maior pressão antrópica. Sob esse aspecto, é fundamental e prioritário que os setores competentes se conscientizem da necessidade de um levantamento de reconhecimento, para que se possa proceder um reordenamento territorial baseado em uma proposta de uso sustentável das terras.

Como conseqüência prática da evolução geológica e pedológica dos solos do Acre, seus indicadores de qualidade necessitam ser reavaliados: os processos pedogenéticos que ocorreram nessa região são muito distintos daqueles apresentados para classes de solos equivalentes de outras regiões do País, resultando em características e propriedades que tornam a interpretação do seu potencial agrícola de maior complexidade.

Indicadores de Qualidade dos Solos do Estado do Acre

Os solos dessa região da Amazônia Brasileira, embora sejam desenvolvidos de material sedimentar, apresentam camadas superpostas de composições mineralógicas diferentes. Evidências apontam que em muitos solos do Estado o material de origem é um composto de argila rico em montmorilonita, com presença variável de illita e de vermiculita e pouca caulinita (Volkoff et al., 1989). Em alguns perfis foi constatado que a montmorilonita presente no

horizonte C não ocorre nos horizontes mais superficiais. As ilitas e vermiculitas dão origem às esmectitas, tipo beidelita (com altas cargas tetraédricas), como observado em Cambissolos do Estado (Volkoff et al., 1989). Em solos com horizonte B textural mais desenvolvido, as esmectitas identificadas no horizonte C, provavelmente por degradação, desaparecem nos horizontes mais superficiais, restando no perfil as ilitas e a caulinita.

No conjunto, essas características conferem aos solos uma alta fertilidade natural e elevada capacidade de troca catiônica. No entanto, as características físicas limitam a atividade agrícola, devido à elevada capacidade de expansão e contração das esmectitas. Outras características importantes desses solos é a quase completa ausência de gibbsita e a presença de médio a altos teores de materiais amorfos de alumínio, altos teores de potássio, de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis. Em solos onde o teor de silte é mais elevado, é comum encontrar teores de magnésio trocável mais elevados que os de cálcio trocável.

Esses solos, embora possuam elevada acidez ativa (baixos valores para pH em água) e elevados teores de alumínio trocável, apresentam baixa fitotoxicidade mesmo para variedades de plantas sensíveis ao alumínio. É possível, contudo, que muito desse alumínio “trocável” origine-se da desestabilização das esmectitas (montmorilonita e beidelita). Do ponto de vista biológico, esse alumínio apresenta baixa atividade iônica na solução do solo e, portanto, não representa uma característica relacionada com a

sua fertilidade (Gama; Kiehl, 1999; Wadt, 2002). Como esses solos possuem altos teores de cálcio e magnésio associados aos altos teores de alumínio trocável, normalmente apresentam baixos valores de pH e elevada saturação de bases.

Do ponto de vista geológico, trata-se portanto de solos jovens, formados a partir de processos geológicos, que ocorreram nessa região da Amazônia: diversas transgressões marinhas do último período interglacial, seguidas por períodos áridos, possibilitaram o acúmulo de carbonatos e sulfatos de cálcio no solo, formando, em algumas áreas, veios com mais de seis metros de largura, e processos erosivos associados à última fase da epirogênese andina, que transportaram para o local materiais vulcânicos, trazidos por processos de erosão hídrica ou eólica (Gama et al., 1992).

Essas características não são observadas com a mesma intensidade nos solos do Planalto Rebaixado, embora, também tenham sido formados sobre a Formação Solimões e suas características predominantes sejam semelhantes aos demais solos amazônicos pertencentes às mesmas categorias taxonômicas. Embora a predominância de caulinitas seja um denominador comum para muitos solos da Região Amazônica, é importante destacar o baixo ou nulo conteúdo de gibbissita (óxido de alumínio) mesmo na fração argila de Latossolos da região.

Essas propriedades diferenciais, ditadas principalmente pela mineralogia, sugerem que os principais indicadores de qualidade do solo não

devem ser interpretados da forma convencional, principalmente no que se refere a sua fertilidade, devendo ser objeto de estudos mais abrangentes e detalhados.

Assim, além das indicações gerais referentes a cada classe de solo, algumas informações adicionais devem ser verificadas para definir sua qualidade ao uso agrícola (Tabela 3). Alguns desses indicadores fazem parte das análises utilizadas em levantamentos de solos, porém, como dito anteriormente, necessitam ser interpretados com a devida cautela. Por exemplo: os parâmetros limites utilizados para definir níveis tóxicos de alumínio trocável em outras regiões são questionáveis para uso nos solos do Acre. O próprio índice de pH em água pode não significar problemas de fertilidade como se fosse em outros tipos de solo. Também, a relação entre os teores de cálcio e magnésio trocáveis deve ser interpretada com cautela.

A interpretação correta do potencial agrícola, ditado por essas propriedades, permite avaliar antecipadamente os impactos ambientais das atividades humanas. Essa medida evita uma sucessão de erros, como os ocorridos em alguns projetos de colonização e assentamento, em que se incentivou o desmatamento de áreas impróprias para exploração agrícola, causando desequilíbrios ambientais irremediáveis na região e importantes prejuízos socioeconômicos.

Assim é que, por exemplo, o alumínio trocável, embora seja um indicador de acidez de solos

amplamente utilizado em outras regiões, pelas razões já expostas, é contra-indicado para os solos do Estado do Acre e, portanto, foi excluído da lista de indicadores químicos recomendados.

Em relação aos indicadores físicos, a granulometria do solo (teor de argila) é fundamental para determinar a atividade das argilas do solo (CTC/teor de argila) e também para auxiliar na interpretação do teor de fósforo disponível, caso não se disponha do índice do P remanescente.

Outros indicadores físicos (teste de infiltração, densidade aparente e estabilidade de agregados) informam sobre as condições físicas do solo capazes de afetar tanto as reações físico-químicas como as biológicas relacionadas à ciclagem dos nutrientes e às condições para o crescimento do sistema radicular.

Os indicadores biológicos (atividade microbiana e fauna de solo) são importantes tanto no que se refere à ciclagem dos nutrientes, como também na estimativa da capacidade do solo para o crescimento vegetal. Solos com maior atividade microbiana são capazes de promover uma ciclagem mais rápida dos nutrientes essenciais (principalmente nitrogênio, fósforo e enxofre), enquanto que a fauna de solo têm importante papel na trituração dos restos vegetais, na infiltração de água no solo e na formação de agregados. Vale destacar também a importância de cupins ou térmitas na formação do solo e como indicador de ambientes degradados, principalmente em áreas de pastagem extensiva.

Quanto aos indicadores químicos, os valores de pH em água e pH em KCl devem ser utilizados para determinar a carga líquida dos solos, pelo valor de ΔpH . Quanto maior o valor de ΔpH , maior a CTC líquida do solo e menor a dependência da CTC do solo por cargas variáveis. A maioria dos solos do Estado apresenta valor de ΔpH negativo, à exceção dos horizontes superficiais com elevados teores de matéria orgânica ou de solos de baixa CTC. É importante lembrar, contudo, que devido à intensa hidrólise de alumínio nesses solos, o valor de pH em água ou do pH em KCl, por si só, não se constitui um indicador muito útil.

O valor de saturação de bases é o mais importante indicador para determinar a necessidade de correção da acidez do solo, definindo a necessidade de calagem (Wadt, 2002). Os teores de cátions alcalinos e alcalinos terrosos trocáveis (soma de bases) podem também ser adotados como um parâmetro adicional para avaliar a fertilidade desses solos, porém, face à adoção da saturação de bases como referência, os teores de cátions alcalinos e alcalinos terrosos trocáveis somente terão importância caso o solo apresente baixa CTC. Nesse caso, recomenda-se que o valor crítico adotado para o teor de cálcio seja de 2 a 3 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ solo, dependendo das exigências culturais, sendo a acidez potencial um indicador que deve ser usado concomitantemente com a soma de bases para determinar a CTC do solo.

A CTC da argila é outro importante indicador da densidade de cargas no material coloidal do solo e serve para indicar os prováveis constituintes da

fração argila, quando interpretada simultaneamente com informações sobre ΔpH , teor de carbono orgânico e granulometria. Pelo valor da CTC da argila, ao mesmo tempo com as demais variáveis, é possível prever se há predomínio de óxidos, argilas do tipo 1:1 ou argilas do tipo 2:1.

Por sua vez, o teor de potássio trocável isoladamente é um importante indicador sobre a capacidade do solo de fornecer esse nutriente para o desenvolvimento vegetal.

O teor de carbono orgânico no solo é resultante das taxas de adição e decomposição e um dos indicadores químicos mais sensíveis ao uso e manejo dos solos, principalmente nas frações mais lábeis e predispostas à ação de microorganismos.

Deve-se salientar que a escolha de indicadores de qualidade de solo deve seguir alguns critérios, quais sejam: correlacionar-se bem com os processos naturais do ecossistema; ser de fácil determinação e interpretação para técnicos, especialistas e produtores de modo geral; ser suscetível às variações climáticas e de manejo; e se possível componente de uma base de dados existente (Doran e Parkin, 1996).

Finalmente, cada classe de solo apresenta, genericamente, um conjunto de propriedades que necessita ser interpretado ao mesmo tempo com o tipo de solo onde ocorre, para que possa ser avaliada corretamente quanto ao seu potencial agrícola.

Tabela 3. Indicadores de qualidade do solo para o Estado do Acre.

Importância para solos do Estado do Acre	
Indicadores físicos	
1. Infiltração	Drenagem
2. Textura do solo (proporção de areia, silte e argila)	Retenção e transporte de água e nutrientes; erosão do solo
3. Granulometria	Determinação da facilidade ou não do ajuste de partículas que irá influenciar nos processos de compactação e adensamento do solo
4. Densidade aparente	Determinação do grau de compactação do solo (comportamento do sistema radicular)
5. Estabilidade dos agregados	Determinação do grau de estabilidade dos agregados do solo
Indicadores biológicos	
1. Quociente microbiano	Determinação da atividade microbiana do solo
2. Fauna de solo (minhocas, formigas, cupins e outros)	Fragmentação de restos de vegetais; modificação da estrutura do solo por meio de escavação e produção de coprólito; indicadora de degradação ambiental

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Importância para solos do Estado do Acre	
Indicador	Indicadores químicos
1. pH em água ou em $\text{CaCl}_2, 0,01\text{M}$	Estimativa do pH do solo
2. pH em KCl	Estimativa do pH do solo em solução salina
3. Saturação de bases	Estimativa da proporção de cátions alcalinos e alcalinos terrosos no complexo de troca
4. Teores de cátions alcalinos e alcalinos terrosos trocáveis	Determinação do teor de cálcio, potássio e magnésio trocáveis. Não há indicações da necessidade de determinar o teor de sódio trocável
5. Acidez potencial	Determinação da acidez total do solo ($\text{H} + \text{Al}^{+3}$)
6. C-orgânico	Determinação do teor de matéria orgânica oxidável do solo
7. CTC do solo	Determinação da capacidade de troca catiônica do solo
8. CTC da argila	Estimativa da atividade da argila e da mineralogia
9. P disponível	Determinação da disponibilidade de fósforo no solo
10. P remanescente	Determinação da capacidade de adsorção de fosfato
Indicadores morfológicos	
1. Profundidade do horizonte A	Riqueza de matéria orgânica e fauna do solo
2. Profundidade do solum (horizonte A + B)	Capacidade produtiva para cultivo de plantas com sistema radicular profundo; pedogênese do solo
3. Presença e profundidade de ocorrência de plintita, mosqueado ou cores acinzentadas	Condições de drenagem e propensão aos processos de encharcamento e secagem do solo
4. Presença de material de solo fendilhado	Indicativo de solo de argila de atividade alta

Limitações de Uso Relevantes para os Argissolos

Os Argissolos são solos que apresentam drenagem deficiente e baixa a média fertilidade natural, em razão do predomínio de minerais de argila de baixa atividade. Por estarem muitas vezes associados a condições de relevo mais movimentado, são também bastante susceptíveis à erosão. Nesses solos, além dos indicadores de qualidade (Tabela 3) é conveniente avaliar o gradiente textural entre o horizonte A e o horizonte Bt, já que se o gradiente for muito elevado, os problemas de drenagem poderão ser mais pronunciados. Argissolos com horizonte A mais espesso ou estrutura mais desenvolvida normalmente serão mais aptos ao uso agrícola.

É importante lembrar que muitos solos, classificados como Argissolos no Zoneamento Ecológico-Econômico (Acre, 2000), podem ser provavelmente Plintossolos, Alissolos ou Luvisolos, de forma que os indicadores de qualidade devem ser avaliados à luz dessa informação. A presença de caráter plíntico em alguns Argissolos deve também ser considerada como um importante indício de má drenagem.

Limitações de Uso Relevantes para os Cambissolos

Os Cambissolos do Estado são solos normalmente rasos ou pouco profundos, apresentam restrição de drenagem, principalmente em função da presença de minerais de argila expansíveis (argilas 2:1). Por causa dessa característica, esses solos costumam expandir-se quando umedecidos e contrair-se quando

secos, ocasionando o aparecimento de fendas que podem vir a danificar o sistema radicular de plantas. Devido a esse comportamento, tornam-se solos de difícil manejo, principalmente no tocante à mecanização agrícola, conforme enfatizado por Araújo et al. (2001). Alguns solos classificados como Cambissolos no Zoneamento Ecológico-Econômico (Acre, 2000) podem apresentar horizonte com caráter plíntico ou horizontes diagnósticos de Vertissolos ou Luvisolos, devendo essa possibilidade ser avaliada acuradamente, já que isso afetará seu potencial agrícola. Normalmente, ocorrem em relevo mais movimentado (ondulado a forte ondulado), o que os torna, associados às suas características físicas, altamente susceptíveis à erosão.

Quanto à fertilidade, normalmente não possuem limitações, principalmente quando apresentam altos teores de cálcio e magnésio trocáveis ou alta CTC.

Limitações de Uso Relevantes para os Plintossolos

Embora os Plintossolos não possuam representação cartográfica nos mapas de solos elaborados até a presente data no Estado (Acre, 2000), são relevantes visto a constatação de sua ocorrência principalmente nos Municípios de Rio Branco, Porto Acre, Xapuri e Brasiléia. Além dessas áreas, constata-se sua presença no eixo rodoviário da BR 364 entre Rio Branco–Sena Madureira e Rio Branco–Porto Velho (RO).

Os Plintossolos apresentam séria restrição de drenagem, fato agravado por estarem associados normalmente à presença de argilas de atividade alta. Se drenados excessivamente, há o endurecimento do horizonte plíntico, limitando ainda mais o uso agrícola, e quando sujeitos a ciclos alternados de secagem e umedecimento, seu uso torna-se mais restrito.

Limitações de Uso Relevantes para os Gleissolos

Os Gleissolos normalmente apresentam argilas de alta atividade e elevados teores de alumínio trocável e também demonstram elevada capacidade de fixação do fósforo, possivelmente por reações de precipitação. Não apresentam grandes problemas de fertilidade (são normalmente ricos em cálcio, magnésio e potássio), embora não existam informações confiáveis sobre a dinâmica do alumínio em condições de hidromorfismo aliada às condições de elevada CTC.

Por serem solos hidromórficos apresentam drenagem muito deficiente, com severa deficiência de oxigênio. Possuem, portanto, uso agrícola limitado, além de ocorrerem em sua maioria próximo à margem de rios e igarapés.

Limitações de Uso Relevantes para os Neossolos Flúvicos

Os Neossolos Flúvicos do Estado podem estar associados também à presença de argilas de alta atividade em ambiente ácido. Nesse caso, podem

apresentar uma maior capacidade de fixação de fosfato, superior à esperada em solos dessa classe de outras regiões. De modo geral, apresentam menores restrições à drenagem e à fertilidade que os Gleissolos e são normalmente de alto potencial agrícola para culturas anuais, embora, sujeitos a inundações periódicas. Os indicadores biológicos são mais recomendados para avaliar a qualidade desses solos.

Indicadores de Qualidade Relevantes para os Latossolos

Os Latossolos no Estado do Acre apresentam uma pequena distribuição territorial e ocorrem em locais de relevo plano a suave ondulado. São solos caulíníticos, com baixos teores de óxido de ferro e ausência de gibbsita, indicando que sofreram um processo de pedogênese de menor intensidade do que Latossolos de outras regiões. Esse fato é importante no tocante ao uso de mecanização agrícola intensiva: a ausência de gibbsita e os baixos teores de ferro, agentes considerados agregantes do solo, fatalmente propiciarão a compactação e ao adensamento natural, decorrentes do ajuste face a face da caulinita (Araújo, 2001; Araújo et al., 2001; Resende et al., 2002;). Em razão do predomínio de caulinita na fração argila, apresentam também baixa capacidade de fixação de fósforo. Assim, recomenda-se a analisar o P remanescente na avaliação da fertilidade desses solos, o que poderá reduzir a necessidade de adubações fosfatadas.

São solos susceptíveis à compactação, quando apresentam maior proporção de argila na fração terra fina seca ao ar, e à erosão quando em relevo mais movimentado (suave ondulado) ou quando apresentam textura média. Por isso, recomenda-se atenção ao avaliar seus indicadores físicos (textura, estabilidade de agregados, densidade do solo).

Possuem acidez elevada e baixos teores de cálcio, magnésio e potássio. O alumínio nesses solos pode apresentar-se mais tóxico que nos demais grupos de solo do Estado, principalmente pelo fato de que os altos teores de alumínio trocável estarão sempre associados a baixos teores de cálcio e magnésio trocáveis.

Limitações de Uso Relevantes para outras Classes de Solos

Os Chernossolos do Estado normalmente estão associados a solos pouco desenvolvidos, à presença de argila de atividade alta e a relevos mais movimentados. Associados aos Cambissolos, são de melhor fertilidade por apresentarem um horizonte A bem desenvolvido rico em cátions alcalinos e alcalinos terrosos trocáveis. Devem ser testados quanto à taxa de infiltração como forma de certificar-se de seu potencial agrícola, já que a drenagem deficiente pode comprometer seu potencial de uso.

Os Neossolos Litólicos estão associados à presença de relevo ondulado a forte ondulado, que condiciona

pouca atividade pedogenética. Suas principais limitações decorrem da pequena profundidade efetiva associada ao relevo movimentado, fato pelo qual apresentam potencial agrícola muito restrito.

Os Luvissolos no Estado estão normalmente associados a relevo mais movimentado e a solos pouco profundos, conferindo-lhes relativo grau de susceptibilidade à erosão, o que, aliado ao fato de apresentarem drenagem deficiente, restringe seu uso agrícola, apesar da elevada fertilidade natural.

Considerações Finais

Para a maioria dos solos do Estado, os principais problemas, em termos de utilização racional, estão na baixa drenagem e disponibilidade das reservas de fósforo (limitação comum à maioria dos solos brasileiros) e na elevada erosão.

Contudo, a utilização racional desses solos requer a verificação, *in loco*, dos principais indicadores de qualidade, de modo que possam ser tomadas medidas corretivas ou conservacionistas adequadas para cada situação, permitindo seu uso de forma sustentável.

A segunda fase do Zoneamento Ecológico-Econômico no Estado do Acre estará produzindo novas informações, para uma melhor interpretação do potencial agrícola desses solos, as quais serão de muita utilidade. A correta interpretação do potencial agrícola desses solos dependerá, ainda, de estudos que propiciem uma avaliação mais precisa dos seus diversos indicadores de qualidade,

principalmente frente as várias formas de uso (florestas manejadas, florestas plantadas, agricultura itinerante, pastagens plantadas, agricultura comercial).

Referências Bibliográficas

ACRE. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento ecológico-econômico: recursos naturais e meio ambiente - documento final.** Rio Branco: 2000. v. 1, p. 37-42.

AMARAL, E. F. do; ARAUJO NETO, S. E. **Levantamento de reconhecimento dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do projeto de assentamento Favo de Mel, município de Sena Madureira, Estado do Acre.** Rio Branco: Embrapa Acre; ASB, 1998. 77 p. (Embrapa Acre. Documentos, 36).

AMARAL, E. F. do; MELO, A. W. F.; LUNZ, A. M. P.; ANDRADE, E. P.; ARAÚJO, E. A.; FRANKE, I. L. **Metodologia simplificada de zoneamento agroflorestal.** Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 19 p. (Embrapa Acre. Circular Técnica, 35).

ARAÚJO, E. A.; PACHECO, E. P.; AMARAL, E. F.; PINHEIRO, C. L. S.; PARIZZI NETTO, A. **Aptidão natural para mecanização agrícola dos solos do Estado do Acre.** Rio Branco: SECTMA; Embrapa Acre, 2001a. 14 p. (Informativo Técnico ZEE/AC; 10).

ARAÚJO, E. A. **Caracterização de solos e modificações provocadas pelo uso agrícola no assentamento Favo de Mel, na Região do Purus – Acre.** Viçosa, MG: UFV, 2001. 122 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radambrasil.** Folha SC. 19 Rio Branco; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. 458 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 12).

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radambrasil.** Folha SC. 18 Javari/Contamana; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1977. 420 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 13).

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality.** Wisconsin, USA: Soil Science Society America, 1996. Cap. 2, p. 25-37. (Special Publication, 49).

EMBRAPA. **Levantamento de solos e zoneamento agroecológico preliminar de área de influência da Rodovia BR-364 no Estado do Acre.** EMBRAPA/SNLCS-SEPLAN/AC. Belém: 1979. 16 p. (Primeiro relatório parcial).

EMBRAPA. **Levantamento de solos e zoneamento agroecológico preliminar da área de influência da BR-364 no Estado do Acre.** Belém: 1989. 8 p. (Segundo relatório parcial).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos, avaliação da aptidão agrícola das terras e zoneamento agropedoclimático do Antimari:** Rio Branco Estado do Acre. Belém: 1990. 3 v.

GAMA, J. R. N. F. ; KIEHL, J. C. Influência do alumínio de um podzólico vermelho-amarelo do Acre sobre o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 475-482, 1999.

GAMA, J. R. N. F.; KUSUBA, T.; OTA, T.; AMANO, Y. Influência de material vulcânico em alguns solos do estado do Acre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 1, p. 103-106, 1992.

IBGE. **Projeto de proteção do meio ambiente e das comunidades indígenas: diagnóstico geoambiental e sócio econômico. Área de influência da BR-364 trecho Porto Velho/Rio Branco.** Rio de Janeiro: IPEAN, 1990. 144 p.

IBGE. Projeto de proteção do meio ambiente e das comunidades indígenas: diagnóstico geoambiental e sócio econômico. Área de influência do Vale do Juruá. Rio de Janeiro: IPEAN, 1994. 144 p.

IBGE/EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. **Mapa de Solos do Brasil; 1:5.000.000.** Rio de Janeiro: 2001. mapa e legenda.

INCRA. Projeto de assentamento dirigido Boa Esperança. Rio Branco: 1977. 261 p.

INCRA. Projeto Pedro Peixoto. **Levantamento de reconhecimento detalhado de solos e classificação da aptidão agrícola dos solos.** Rio Branco: 1978. 358 p.

MELO, A. W. F. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre.** Piracicaba: ESALQ, 2003. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2003.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia:** base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338 p.

VOLKOFF, B.; MELFI, A. J.; CERRI, C. C. Solos podzólicos e cambissolos eutróficos do alto rio Purus (Estado do Acre). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, n. 3, p. 363-372, 1989.

WADT, P. G. S. **Manejo de solos ácidos do Estado do Acre.** Rio Branco: Embrapa Acre. 2002. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 79).

Capítulo 2

Minerais da Fração Argila de Relevância para os Solos do Estado do Acre

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Introdução

“As argilas dos solos do Acre” é uma expressão popular usada por leigos para difundir a idéia de que neste Estado existem solos cujas propriedades (argilas) são diferentes daquelas normalmente encontradas em outros locais do País.

Essas propriedades peculiares resultam numa série de comportamentos diferenciais, observados com maior freqüência nos solos do Estado do Acre. Espera-se que ocorra também ao sul do Amazonas, na depressão Rio Acre-Javari pelo tipo de minerais presentes na fração argila desses solos.

Entre o público leigo já está bastante difundida a idéia de que nessa região os solos apresentam propriedades e características diferenciadas. Apesar disso, muitas práticas relacionadas ao uso e manejo desses solos são planejadas e executadas tomando-se como referência os demais tipos de solos amazônicos. Isso significa que não há uma compreensão das implicações práticas sobre o uso e manejo das principais propriedades desses solos.

O objetivo deste capítulo é discutir as propriedades das argilas dos solos do Acre, fornecendo subsídios para aqueles que necessitam manejá-los de forma sustentável.

A Composição dos Solos

Os solos em geral são formados por três frações: gasosa, líquida e sólida.

A fração gasosa consiste no ar ou atmosfera do solo e, em termos genéricos, ocupa cerca de 25% do seu volume total.

A fração líquida consiste na água do solo e abrange tanto a água afetada por forças gravitacionais como contida por forças não-gravitacionais (água adsorvida na superfície dos minerais ou aquela contida por forças capilares, por exemplo). A solução do solo, contida na fração não-gravitacional, é o principal meio onde os nutrientes são solubilizados e disponibilizados a todos os vegetais e organismos do solo. Em termos genéricos, a água do solo ocupa cerca de 25% do seu volume.

O somatório do volume ocupado pela água e ar do solo é de aproximadamente 50% e consiste no volume de espaço de poros do solo. Importante salientar, contudo, que esse volume, bem como a proporção entre o volume ocupado pela água e o ar do solo, pode variar em função do tipo de solo, da vegetação, da forma de uso do solo e das condições climáticas (Brady, 1983).

O volume não-poroso consiste na fração sólida, que se divide entre a fração orgânica e a mineral. A primeira ocupa aproximadamente 5% do volume total do solo, sendo o restante ocupado pela fração mineral.

Grande parte do comportamento do solo é governada pela fração orgânica e, portanto, bastante susceptível a mudanças em função do seu uso e manejo ou outras pressões, naturais ou artificiais. Dada sua relevância, o papel da fração orgânica nas propriedades do solo foi tratado no capítulo 3.

Quanto à fração mineral, divide-se em quatro frações granulométricas: pedras e cascalhos, areia, silte, argila.

Cada uma dessas frações apresenta sua importância relativa. Areia, silte e argila, por exemplo, são as frações granulométricas contidas na “terra fina seca ao ar”, porção do solo que depois de seca ao ar passa em peneira de 2 mm de diâmetro e é utilizada na análise da fertilidade do solo¹. Em muitos solos, as frações areia, silte e argila corresponderão a todo o volume de sólidos, pela ausência de grânulos maiores que 2 mm.

Pedras e cascalhos são partículas de tamanho superior a 2 mm e normalmente não estão presentes nos solos do Estado do Acre, à exceção daqueles localizados no Complexo Fisiográfico da Serra do Divisor.

¹Na prática, não se separa fisicamente a fração orgânica da fração mineral, de forma que a terra fina seca ao ar é composta pelos minerais e estruturas orgânicas do solo.

A fração areia é composta principalmente pelos grãos de areia, que se apresentam arredondados ou irregulares, dependendo da abrasão a que foram submetidos. Quando não estão revestidos por argila ou silte, os grãos de areia não revelam plasticidade ou viscosidade e seu comportamento é, portanto, pouco afetado por oscilações na umidade do solo. Além disso, apresentam reduzida capacidade de retenção de água e solos com predominância dessas partículas, normalmente, são bem drenados e aerados.

Na fração areia dos solos do Estado do Acre verificou-se a ocorrência de vidros vulcânicos² (Gama et al., 1992) o que não seria esperado ocorrer em material de origem sedimentar (Formação Solimões)³. Esta constatação é importante do ponto de vista da evolução pedogenética desses solos.

Na fração silte predominam partículas de tamanho de 2 µm a 2 mm de diâmetro. Normalmente, consistem de micropartículas de areia em que o quartzo é o mineral predominante. Possuem alguma plasticidade e viscosidade, porém, em grau muito inferior ao apresentado pelas partículas de argila. A influência dessas partículas no solo torna-o fisicamente insatisfatório para o uso agrícola, a menos que seja complementado com partículas de outros tamanhos (areia e argila).

²Partículas de silício do tamanho da fração areia originárias de cinzas vulcânicas.

³Ver capítulo 1 para maiores detalhes sobre a geologia desses solos.

A fração argila é formada por partículas com tamanho inferior a 2 μm de diâmetro, mas que apresentam grande importância para a definição das propriedades dos solos e no comportamento desses frente ao diferentes tipos de manejo.

A maior parte das reações de natureza física, química e físico-química do solo, com ou sem a interação da matéria orgânica, ocorre nas superfícies dos minerais de argila. Essas reações são responsáveis pelas propriedades dos solos, o que determina em última análise sua aptidão ao uso agrícola, florestal ou para obras de engenharia, entre outros usos.

Assim, as diferenças observadas nos solos do Estado do Acre, frente aos de outras regiões do País, explicam-se pela natureza da argila desses solos. Nos solos do Acre predominam, na fração argila, minerais do tipo das caulinitas, associadas ou não a argilas dos grupos 2:1 ou 2:2, enquanto na grande maioria dos demais solos brasileiros, há a predominância de caulinita e óxidos de ferro e alumínio na fração argila.

A Fração Argila: Importância Prática

A importância das argilas do solo reside no fato de grande parte delas encontrar-se no estado coloidal⁴.

⁴O estado coloidal abrange duas fases, a primeira consistindo de um ou mais materiais em estado de divisão muito refinada (diâmetro menor que 1 μm), dispersos em outra substância, normalmente em meio líquido. São exemplos do estado coloidal as partículas do leite, a nuvem, a bruma, o amido, a gelatina, o sangue, as proteínas e, naturalmente, as partículas argilosas do solo.

Do ponto de vista prático, as parcelas mais ativas do solo são aquelas em estado coloidal (matéria orgânica e minerais de argila menores que 1 μm) que coexistem em uma mistura íntima no estado natural.

De maneira geral, são reconhecidos dois grupos de argilas – as silicatadas e as de óxidos hidratados de ferro ou alumínio⁵. O primeiro grupo é característico das regiões temperadas, enquanto o segundo é encontrado em regiões equatoriais, tropicais e subtropicais.

As argilas silicatadas são importantes para a formação de solos férteis e sustentam parte da agricultura nas regiões mais desenvolvidas do mundo. À exceção da caulinita, que é uma argila desse grupo, não seria esperada a ocorrência de outros tipos de argilas silicatadas no Estado do Acre uma vez que as condições de temperatura e umidade predominantes tornam esses materiais instáveis, levando à formação de óxidos hidratados de ferro ou alumínio. Essa aparente incoerência deve-se ao passado geológico da região (capítulo 1).

Os óxidos de ferro ou alumínio são importantes constituintes da grande maioria dos solos brasileiros, porém, de menor importância nos solos do Estado do Acre.

Constituição Geral das Argilas Silicatadas

As argilas silicatadas são constituídas de camadas de placas, bastões ou flocos, cujo tamanho e forma

⁵Neste capítulo, o termo óxidos será usado genericamente para definir minerais oxídicos de diferentes graus de hidratação.

são variáveis em função da composição mineral e das condições de sua formação. Ao microscópio eletrônico, a aparência das argilas silicatadas pode ser hexagonal ou irregular e suas arestas podem apresentar contorno definido ou na forma de farpas. Em todos os casos, entretanto, sua extensão horizontal excede em muito as dimensões verticais.

As argilas silicatadas caracterizam-se também por apresentar grande superfície específica (área de superfície exposta por unidade de massa), que se divide em externa (comum a todas as argilas) e interna (presente em algumas argilas) (Fig. 1).

A superfície externa das argilas é função principalmente do tamanho da partícula de argila⁶, enquanto a superfície interna é função de sua estrutura cristalográfica⁷.

Para se ter uma idéia da dimensão da superfície interna e externa das argilas silicatadas, estima-se que as superfícies expostas na fração argila de um hectare de terra arável do Município de Sena Madureira excedem toda a superfície do Estado do Acre, em pelo menos 40 a 50 vezes. A área de exposição externa de um grama de argila coloidal é, pelo menos, mil vezes maior do que a de um grama de areia grossa. Essa área de exposição é importante porque na superfície das argilas ocorrem muitas reações que controlam o comportamento e a fertilidade dos solos.

⁶Quanto menor a partícula, maior sua superfície específica.

⁷A superfície interna ocorre no permeio das unidades cristalográficas em forma de lâmina, que compõem cada partícula.

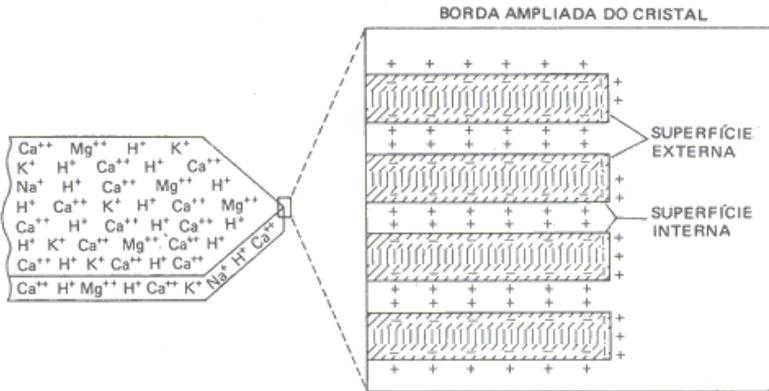


Fig. 1. Representação esquemática em forma de diagrama de um cristal de argila silicatada, suas inumeráveis cargas negativas e os cátions adsorvidos a sua superfície.

Fonte: Brady (1983).

As argilas silicatadas apresentam cargas elétricas negativas e os óxidos hidróxidos de ferro ou alumínio podem apresentar, dependendo das condições do meio, cargas elétricas negativas ou positivas, razão pela qual são denominados de anfóteros.

A presença de cargas elétricas negativas nas argilas, aliada à extensa área de exposição superficial, faz com que milhares de íons positivamente carregados (cátions) sejam atraídos para os cristais do colóide⁸,

⁸O termo colóide está sendo usado para se referir às argilas do solo com propriedades coloidais e tamanho menor que 1 μm .

formando o que é conhecido como dupla camada iônica⁹. Na prática, a partícula coloidal constitui a camada iônica interior, formando em essência um enorme ânion, cujas superfícies possuem poderosa carga negativa. A camada iônica exterior é formada pelos cátions fracamente retidos que circundam e, em alguns casos, penetram na partícula coloidal. Assim, uma partícula de argila é acompanhada por um grande número de cátions adsorvidos.

Associada à camada de cátions, existe uma grande e indefinida quantidade de moléculas de água. Parte dessa água é carregada pelos cátions adsorvidos pela superfície eletronegativa, enquanto outra parte é adsorvida diretamente e acondicionada entre as lâminas de argila, denominando-se água de hidratação.

Os cátions adsorvidos na superfície das argilas são compostos principalmente por íons de hidrogênio e alguns cátions metálicos, com predominância do alumínio e alcalinos e alcalinos terrosos. A ordem de preferência com que esses cátions são adsorvidos aumenta em função da maior carga iônica e da diminuição de seu raio iônico hidratado. Em condições naturais, para solos com predominância de argilas silicatadas, a ordem de preferência de adsorção é: $H^+ > Al^{+3} > Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ > Na^+$.

⁹Para melhor compreensão do papel da dupla camada iônica na reação dos solos do Estado do Acre, recomenda-se a leitura de Wadt (2002).

A ordem de preferência faz com que os cátions, os quais são menos atraídos para a superfície eletronegativa das argilas (superfície adsorvente), sejam mais facilmente lixiviados, sendo esse mecanismo um dos processos pedogenéticos que levam à formação dos Latossolos, solos profundos e bem drenados, onde houve a remoção de cátions alcalinos e alcalinos terrosos por lixiviação e o acúmulo de alumínio e ferro na forma de óxidos.

Se houver restrições à drenagem ou condições em que a evapotranspiração é superior à precipitação, como ocorre em regiões áridas, o mecanismo de lixiviação não irá prevalecer, conduzindo ao acúmulo de cálcio, magnésio e até mesmo de sódio, como se observa em solos salinos ou salino-sódicos de muitas regiões áridas do mundo. No Estado do Acre, por ter ocorrido um passado geológico mais árido, intercalado com transgressões marinhas, houve o acúmulo de sais de cálcio e magnésio em muitos solos.

Estrutura das Argilas Silicatadas

As argilas silicatadas são consideradas cristalinas por apresentarem estruturas definidas e organização mineralógica conhecida. Em contrapartida, aqueles minerais sem estrutura cristalina definida são denominados materiais amorfos.

A maioria das argilas silicatadas é alumino-silicato, ou seja, formada por duas estruturas moleculares: sílica tetraédrica e alumínio octaédrico.

A sílica tetraédrica consiste em um átomo de silício rodeado por quatro átomos de oxigênio, em

configuração quadrilateral. O alumínio octaédrico é um bloco estrutural de oito lados, formado por um átomo central de alumínio rodeado por seis hidroxilas ou oxigênios.

A camada tetraédrica é interligada por uma série de tetraedros de silício, fixada entre si por átomos de oxigênio compartilhados. A camada octaédrica é interligada por uma série de octaedros de alumínio fixada entre si por átomos de oxigênio compartilhados. Essas duas camadas básicas, em diferentes combinações e arranjos, constituem as unidades estruturais das argilas silicatadas, sendo ligadas entre si por átomos de oxigênio compartilhados.

Os alumino-silicatos, assim formados, apresentam carga elétrica nula. Na estrutura tetraédrica, a valência de cada átomo central de silício (+4) é contrabalanceada pela valência de cada um dos quatro átomos de oxigênio compartilhados (carga - 2 compartilhada entre dois átomos de silício). De forma semelhante, a valência de cada átomo central de alumínio (+3) é contrabalanceada pela valência de cada um dos átomos de oxigênio e hidroxilas compartilhados (dois átomos de oxigênio e quatro hidroxilas compartilhados).

Contudo, tanto o silício como o alumínio dessas estruturas estão sujeitos à substituição isomórfica (substituição do elemento químico, sem alteração da forma cristalina da estrutura). Esse tipo de substituição é possível em razão da semelhança entre o tamanho do raio iônico desses elementos.

Assim, como o raio iônico do alumínio (0,50 Å) é ligeiramente superior ao do silício (0,45 Å), o alumínio pode ajustar-se no centro do tetraedro em substituição ao átomo de silício. Essa substituição de um íon tetravalente (silício) por outro trivalente (alumínio) gera um déficit de carga na estrutura, resultando na formação de uma carga negativa por cada substituição desse tipo.

De forma semelhante, os íons ferro trivalente (0,64 Å), de magnésio (0,65 Å) e de zinco (0,70 Å) podem substituir o alumínio na camada octaédrica, gerando um déficit de carga quando a substituição ocorrer com o magnésio ou o zinco. Se a substituição for pelo ferro divalente, não haverá geração do déficit de carga.

Organização Mineralógica das Argilas Silicatadas

Com base no número e na arrumação das camadas tetraédricas e octaédricas contidas nas unidades cristalográficas, as argilas silicatadas podem ser classificadas em quatro diferentes grupos: minerais do tipo 1:1; minerais do tipo 2:1 não expansíveis; minerais do tipo 2:1 expansíveis; e minerais do tipo 2:2.

Os minerais do tipo 1:1 são aqueles constituídos por uma camada tetraédrica alternada com uma camada octaédrica, sendo entre os minerais do solo mais amplamente representados pela caulinita.

As duas lâminas de cada unidade cristalográfica da caulinita são retidas em conjunto por átomos de

oxigênio, compartilhados por ambos os átomos de silício e alumínio. Essas unidades são, por sua vez, retidas em conjunto, com muita rigidez, mediante a vinculação do hidrogênio. Por consequência, o reticulado está fixado e geralmente não ocorre expansão entre suas unidades, quando a argila é umedecida, impedindo a penetração de cátions ou água no entremeio das camadas estruturais. Seus cristais são hexagonais, com arestas de contorno nítido e, normalmente, são partículas grandes (0,1 a 5 μm , sendo a maioria situada entre 0,5 a 2 μm), portanto, de menor superfície específica em relação a outros tipos de argila silicatada.

Desse modo, a área de exposição da caulinita fica restrita à área de suas faces exteriores. Além disso, os minerais desse tipo apresentam pouca substituição isomórfica, o que explica o fato de apresentarem reduzida capacidade de adsorção de cátions. Em contraste com outros grupos silicatados, nas caulinitas são reduzidas as características de plasticidade, coesão, contração e dilatação; apresentam ainda propriedades coloidais com reduzido grau de intensidade.

Os minerais do tipo 2:1 apresentam uma lâmina octaédrica intercalada com duas camadas tetraédricas e são representados por dois grupos: as montmorilonitas (montmorilonitas propriamente ditas, beidelita, saponita) e as vermiculitas. Esses minerais são considerados expansíveis.

A montmorilonita é o mineral mais importante desse grupo. Suas unidades cristalográficas são

fracamente retidas entre si por pontes de oxigênio, o que possibilita a adsorção de moléculas de água e outros cátions por entre essas unidades, fato que permite sua expansão. Além disso, os cristais de montmorilonita são facilmente fragmentados, produzindo cristais de tamanhos próximos a suas unidades cristalográficas (0,01 a 1 μm).

O movimento da água e de cátions no permeio das unidades cristalográficas expõe sua superfície interna, que excede em muito a externa, cuja extensão por si só já é bastante superior à da caulinita.

Esse mineral também se caracteriza pelo elevado grau de substituição isomórfica do alumínio pelo magnésio na camada octaédrica e, em menor extensão, do silício pelo alumínio na camada tetraédrica. Isso proporciona um elevado déficit de carga, que passa a ser neutralizado pelos cátions adsorvidos, quer para a superfície interna, quer para a externa. A montmorilonita apresenta uma capacidade de adsorção de cátions 10 a 15 vezes superior à da caulinita.

Em razão de suas propriedades coloidais, a montmorilonita é notável pelo grau de plasticidade e coesão e por sua marcante contração ao secar, chegando a causar longas fendas nos solos onde predomina.

A vermiculita possui características estruturais semelhantes às da montmorilonita (uma camada

octaédrica intercalada com duas unidades tetraédricas). Entretanto, em algumas vermiculitas, a camada octaédrica é dominada por magnésio em vez de alumínio, com três íons de magnésio substituindo dois íons de alumínio (nesse caso, não se trata de substituição isomórfica de um íon de magnésio por um íon de alumínio). Em outras vermiculitas, o alumínio domina o octaedro com substituição mínima por magnésio. Assim, o déficit de carga observado nas vermiculitas está associado, principalmente, à intensa substituição do silício pelo alumínio na camada tetraédrica.

Moléculas de água, assim como íons magnésio, são fortemente adsorvidas no permeio das unidades cristalográficas. Entretanto, elas agem mais como pontes ligando essas unidades, do que como cunhas, separando-as. Por esse motivo, as vermiculitas são consideradas minerais de expansão limitada, apresentando alguma superfície interna, porém, em menor grau que a montmorilonita.

Os cristais das vermiculitas são maiores que os da caulinita, porém, menores do que os da montmorilonita. Destacam-se, entretanto, por apresentarem uma capacidade de adsorção de cátions superior até mesmo à da montmorilonita, o que se explica pelo elevado grau de substituição isomórfica em sua camada tetraédrica.

O terceiro grupo consiste dos minerais não expansíveis do tipo 2:1. Esse grupo é composto por

minerais pouco definidos, os quais são denominados micas hidratadas, ocorrendo freqüentemente associados à montmorilonita. Seu representante mais importante é a illita, na qual aproximadamente 16% dos átomos de silício da camada tetraédrica foram substituídos pelo alumínio, resultando em grande déficit de carga nessa camada. Na camada octaédrica há pouca substituição isomórfica.

Para satisfazer o grande déficit de carga observado na camada tetraédrica, íons potássio são absorvidos fortemente na interface interna das unidades estruturais. Esses íons possuem o tamanho exato para se ajustarem precisamente a certos espaços das camadas tetraédricas adjacentes, de forma que o potássio atua como um agente aglutinador, evitando assim a maior parte da expansão do cristal. Por esse motivo, a illita é tida como não expansível.

Devido a essas características, certas propriedades, como adsorção de cátions, expansão, contração e plasticidade, são menos desenvolvidas na illita que na montmorilonita. Com relação ao tamanho de seus cristais e a outras características, os minerais como a illita são intermediários entre a caulinita e a montmorilonita (Tabela 1).

O quarto e último grupo de argilas silicatadas são os minerais do tipo 2:2, representados pelas cloritas, abundantes em alguns solos. Basicamente, as cloritas consistem de silicatos de magnésio com a presença de ferro ou de alumínio. Uma unidade cristalográfica típica da clorita é composta de talco

(similar à unidade cristalográfica da montmorilonita) com camadas de brucita (óxido de magnésio). O magnésio domina a posição octaédrica nas camadas de talco; assim, a unidade cristalográfica contém duas lâminas tetraédricas de silício e duas lâminas octaédricas de magnésio, dando lugar ao termo estrutural “2:2”. Suas propriedades (capacidade de adsorção de cátions, capacidade de expansão, tamanho da partícula e área de exposição superficial) são bastante semelhantes as da illita.

Na natureza, geralmente os grupos específicos de argilas silicatadas não ocorrem independentemente, sendo possível encontrar vários minerais de argila em íntima mistura. É comum também a ocorrência de minerais de composição e propriedades intermediárias, que por sua vez são denominados minerais de camada misturada ou interestratificados, já que suas unidades cristalográficas podem perfeitamente ser de mais de um tipo.

Tabela 1. Caracterização de quatro tipos principais de argilas silicatadas.

Característica	Tipos de argila			Caulinita
	Clorita	Montmorilonita	Ilita	
Tipo de estrutura	2:2	2:1 expansível	2:1 não expansível	1:1
Tamanho (μm)	0,1 a 2,0	0,01 a 1,0	0,1 a 2,0	0,1 a 5,0
Forma	Flocos irregulares	Flocos irregulares	Flocos irregulares	Cristais hexagonais
Superfície específica (m^2g^{-1})	100-120	700-800	100-120	5-20
Face externa	Média	Grande	Média	Pequena
Face interna	Média	Muito grande	Média	Nenhuma
Coesão e plasticidade	Média	Grande	Média	Pequena
Capacidade de dilatação	Média	Grande	Média	Pequena
Capacidade de troca de cátions – CTC ($\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$)	15-40	80-100	15-40	3-15

Fonte: Brady (1983).

Óxidos e Hidróxidos de Ferro e Alumínio e Minerais Amorfos

Além das argilas silicatadas ocorrem no solo dois outros importantes grupos de minerais: óxidos hidratados de ferro ou alumínio e os minerais amorfos.

Os óxidos hidratados de ferro ou alumínio são comuns em solos de regiões temperadas, estando presentes misturados com argilas silicatadas. Contudo, em muitos solos de regiões subtropicais, tropicais e equatoriais, tanto no Brasil como em outras partes do mundo, esses minerais predominam na fração argila, sendo os responsáveis pela determinação das cores amareladas ou avermelhadas da maioria dos solos em que ocorrem.

Os óxidos hidratados são óxidos que contêm moléculas de água associadas em quantidades variáveis. Genericamente, por simplificação da fórmula química, são representados como $\text{Al}(\text{OH})_3$ e $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Os minerais mais comuns são a gibbsita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), boehmita (AlOOH), goethita (FeOOH), hematita (Fe_2O_3), lepidocrocita (FeOOH), maghemita (Fe_2O_3) e quartzo (SiO_2).

Os óxidos hidratados de ferro ou alumínio possuem característica anfótera, podendo desenvolver cargas superficiais negativas ou positivas, o que dependerá das condições do meio. Contudo, as cargas desenvolvidas são muito reduzidas, mesmo em comparação à caulinita. A maioria das argilas constituídas de óxidos hidratados, apesar de formada por cristais pequenos e de elevada superfície

específica, não tem tanta viscosidade, plasticidade e coesão quanto as argilas silicatadas, proporcionando aos solos, onde há predomínio desses materiais, excelentes condições físicas.

Os materiais amorfos compreendem todos os minerais coloidais encontrados nos solos que não possuem uma estrutura cristalina. Nos solos formados com cinzas vulcânicas é comum a presença de materiais amorfos de óxidos de alumínio, ferro e mesmo sílica. Por exemplo, a alofana, que é um mineral constituído por partes variadas de óxido de silício e de alumínio, é comum em solos derivados de cinzas vulcânicas.

De um modo geral, as propriedades dos materiais amorfos não diferem muito das dos óxidos cristalinos a que estão relacionados. Contudo, em razão de sua natureza amorfa, apresentam uma superfície específica muito maior que a dos óxidos hidratados e também maior capacidade de adsorção de cátions e de ânions, dependendo do pH de equilíbrio do solo.

Capacidade de Troca de Íons

Existem fundamentalmente quatro mecanismos responsáveis pela geração de cargas nas argilas: a) substituição isomórfica nas unidades cristalográficas das argilas silicatadas; b) valência não atendida das bordas das argilas silicatadas; c) ionização ou protonação das hidroxilas e íons hidrogênio das bordas dos óxidos hidratados; e d) permuta das hidroxilas por outros ânions, como os fosfatos, na superfície dos óxidos hidratados.

O primeiro mecanismo (substituição isomórfica) independe do pH e, portanto, é tido como característica de superfícies que desenvolvem carga constante. Esta é a principal responsável pela formação das cargas negativas nas argilas silicatadas (Tabela 1), principalmente naquelas do tipo 2:1 e 2:2.

Os outros três tipos de carga são pH dependente e, portanto, característicos de superfícies que desenvolvem potencial constante. Podem apresentar cargas negativas e, em alguns casos, cargas positivas. As valências não atendidas nas bordas das argilas silicatadas podem, a valores de pH acima de 6, fazer com que o hidrogênio das hidroxilas ligado aos íons de alumínio ou silício se dissocie, gerando cargas negativas nessas superfícies que podem então reter cátions. Esse tipo de carga varia com o colóide, sendo responsável pela maioria das cargas observadas nas argilas silicatadas do tipo 1:1 e por até um quarto da carga observada nas argilas 2:1.

Dependendo do pH, os óxidos podem apresentar cargas negativas, positivas ou ser neutros. A carga líquida de um óxido dependerá do pH de equilíbrio estar acima, abaixo ou igual ao ponto de carga zero (PCZ), esse último sendo o pH no qual a carga do mineral é zero. Embora as argilas silicatadas também apresentem cargas dependentes de pH e alguma capacidade de adsorção de ânions (desenvolvimento de cargas positivas), são os óxidos e os materiais orgânicos que apresentam maior proporção de cargas variáveis. Os óxidos podem ainda desenvolver cargas

devido à substituição de hidroxilas por outros ânions, como fosfatos e boratos, por meio de mecanismos de adsorção específica (capítulo 5).

As cargas negativas e positivas que se desenvolvem na superfície das argilas são capazes de adsorver íons de forma trocável. Por essa razão diz-se que esses materiais podem apresentar capacidade de troca de cátions (CTC), quando a superfície eletronegativa adsorve cátions, e capacidade de troca de ânions (CTA), quando a superfície eletropositiva adsorve ânions (Tabela 2). Além das argilas minerais, as substâncias orgânicas presentes no solo também são capazes de adsorver cátions ou ânions (capítulo 3).

Muitos fatores afetam a disponibilidade dos cátions trocáveis para as plantas, tais como a proporção entre os diferentes cátions na superfície adsorvente, o tipo de colóide e os íons associados.

Normalmente, solos com elevada CTC são tidos como férteis, sobretudo se a maior parte da CTC desses solos estiver ocupada por cátions alcalinos (potássio, principalmente) ou alcalinos terrosos (cálcio e magnésio). Isso decorre do fato de serem esses cátions importantes para a nutrição das plantas e demais organismos do solo. Entretanto, se a CTC for baixa e ocupada principalmente por hidrogênio ou alumínio, os solos são tidos como inférteis, como ocorre com os do Cerrado brasileiro. No Estado do Acre, existem solos de baixa a alta CTC, saturados com cátions alcalinos e alcalinos terrosos ou com alumínio e hidrogênio (Wadt, 2002).

Quando o alumínio é o principal cátion presente no complexo de troca, apresenta efeitos fitotóxicos capazes de inibir o desenvolvimento radicular das culturas. No entanto, naqueles solos de alta CTC do Estado do Acre, não se tem registro de que o alumínio trocável seja tóxico para o crescimento das culturas (Gama & Kiehl, 1999; Wadt, 2002).

Tabela 2. Características de carga de alguns materiais da fração argila de solos, em $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$ solo.

Material	CTC*		CTA**	
	Permanente	Variável	Total	Total
Montmorilonita	112	6	118	1
Vermiculita	85	0	85	0
Ilita	11	3	19	3
Haloisita	6	12	18	15
Caulinita	1	3	4	2
Gibbsita	0	5	5	5
Goethita	0	4	4	4
Alofana	10	41	51	17
Turfa	38	98	136	6

*CTC: capacidade de troca de cátions; **CTA: capacidade de troca de ânions.

Fonte: Demattê (1988).

Outras Propriedades Importantes das Argilas do Solo

Além da capacidade de troca de íons do solo, outras propriedades dos colóides devem ser avaliadas na definição de seu potencial produtivo, como as que se seguem (Brady, 1983).

Solos que contêm mais de 15% de argila revelam plasticidade, isto é, maleabilidade e capacidade de moldagem. Essa propriedade decorre principalmente da natureza da conformação achatada das partículas de argila e da influência lubrificadora e retentora da água adsorvida. Isso faz com que as partículas escorreguem uma sobre as outras, porém, mantendo-se aderidas entre si.

A plasticidade se revela ao molhar-se ou umedecer-se o solo. A faixa de teor de umidade, em que se evidencia a plasticidade, é estabelecida por dois limites: inferior e superior. O limite inferior é o teor de umidade abaixo do qual o solo não pode ser moldado. A teores de umidade acima do limite superior o solo passa a escorrer à semelhança de um líquido, cessando sua plasticidade. Os limites de plasticidade de um solo variam em função do tipo de argila e do cátion de saturação. Em geral, solos que possuem amplas faixas entre esses dois limites (solos com predomínio de montmorilonitas) são de difícil manuseio.

Solos com limites amplos de plasticidade são, portanto, de difícil mecanização, pois se cultivados molhados em demasia, resultarão em encharcamento que é prejudicial à aeração e

drenagem; a mecanização pode ainda prejudicar sua estrutura e granulação.

Uma segunda característica normalmente associada à plasticidade é a coesão. À medida que se reduz a água de massa gelatinosa da argila, aumenta a atração mútua entre as partículas coloidais, provavelmente por meio de pontes de hidrogênio formadas pelas moléculas de água. Quanto maior a coesão das partículas, mais difícil de trabalhar torna-se o solo, e solos com presença de montmorilonita e illita apresentam maior intensidade de coesão que aqueles caulíníficos, os quais, por sua vez, possuem maior coesão que os oxídicos.

Outras duas importantes características das argilas silicatadas são a dilatação e a contração associadas à presença de unidades cristalográficas expansíveis. Devido a essa característica, solos com predomínio de argilas expansíveis são mal drenados quando úmidos, o que é um fator limitante para a utilização agrícola de muitos solos de alta CTC do Estado do Acre, principalmente daqueles em que tem sido constatada a predominância de argilas do tipo da montmorilonita.

As Argilas dos Solos do Acre

A composição mineralógica dos solos da Amazônia Brasileira é relativamente simples. Como constituintes principais aparecem os óxidos de ferro, de alumínio e a caulinita. Como minerais acessórios ocorrem a muscovita, a vermiculita e a vermiculita-clorotizada.

Esse cenário, entretanto, não é o que ocorre no Estado do Acre, notadamente na região da depressão Rio Acre-Javari, em cujos solos poucos intemperizados, junto com a caulinita, ocorrem outros minerais, como aqueles do grupo das argilas silicatadas do tipo 2:1. Nos solos aluviais dessa região, a composição mineralógica chega a ser mais complexa, podendo ocorrer associações de diversos tipos de minerais.

Outra característica importante dos solos do Acre é a presença pouco expressiva de óxidos de alumínio, mesmo nos solos mais intemperizados da região leste do Estado, o que provavelmente explica a sua menor capacidade de adsorção de fósforo (capítulo 5).

Nos solos do Acre tem-se constatado o predomínio da caulinita ou de minerais do tipo 2:1/2:2. A maior parte dos estudos aponta também para a ausência de gibbsita, havendo a presença, em diferentes proporções, de minerais primários ricos em nutrientes, como os feldspatos e as micas, e a presença quase constante de minerais com hidróxi entre camadas (Tabela 3).

Em geral, pode-se dizer que nos Latossolos e Argissolos predomina a caulinita, associada com goethita e minerais com hidróxi entre camadas; nos demais solos (Gleissolos, Alissolos, Luvisolos, Vertissolos) prevalecem os minerais do tipo 2:1 ou 2:2.

Tabela 3. Caracterização geral da fração argila de alguns solos do Estado do Acre.

Principais minerais da fração argila	Fonte bibliográfica
Montmorilonita e vermiculita associada com hidroxi entre camadas (minerais do tipo 2:1 e 2:2), com presença de caulinitas, micas, feldspato em menores proporções. Ausência de gibbsita	Möller & Katagawa (1982); Möller et al. (1982)
Caulinita associada com minerais do tipo 2:1 e 2:2, mica, quartzo, feldspato e goethita. Ausência de gibbsita	Möller & Katagawa (1982); Möller et al. (1982)
Caulinita associada com illita e/ou muscovita e, em menores proporções, a provável presença de gibbsita	Martins (1993)
Montmorilonita, montmorilonita com hidroxi entre camadas, associada com illita e/ou muscovita	Martins (1993)
Caulinita associada com illita, quartzo e vermiculita com hidroxi entre camadas	Ribeiro et al. (1997)
Caulinita associada com goethita, vermiculita, vermiculita com hidroxi entre camadas e illita. Ausência de gibbsita	Silva (1999)
Montmorilonita e illitas associadas a menores proporções de caulinita. Ausência de gibbsita	Silva (1999)

Referências Bibliográficas

BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1983. 647 p.

DEMATTÊ, J. L. I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos** – região amazônica. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 215 p.

GAMA, J. R. N. F.; KUSUBA, T.; AMANO, Y. Influência de material vulcânico em alguns solos do estado do Acre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 1, p. 103-106, 1992.

GAMA, J. R. N. F.; KIEHL, J. C. Influência do alumínio de um podzólico vermelho-amarelo do Acre sobre o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 475-482, 1999.

MARTINS, J. S. **Pedogênese de podzólicos vermelho-amarelos do estado do Acre, Brasil**. Belém: Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 1993. 101 p. Dissertação de Mestrado.

MÖLLER, M. R. F.; KITAGAWA, Y. **Mineralogia de argilas em cambissolos do sudoeste da Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa - CPATU, 1982. 19 p. (Embrapa-CPATU. Boletim de Pesquisa, 34).

MÖLLER, M. R. F.; KITAGAWA, Y.; COSTA, M. P. da. Distribuição aproximada de minerais argilosos na folha SC-19- Rio. In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DE QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 3., 1982, Manaus. **Anais...** Manaus: 1982. p. 291-306.

RIBEIRO, M.; KER, J. C.; AMARAL, E. F. do; SILVA, J. R. T.; DUARTE, M. A. Características químicas e mineralógicas de alguns solos do estado do Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997. **Anais...** 3 p. 1 CD-ROM.

SILVA, J. R. T. **Solos do Acre**: caracterização física, química e mineralógica e adsorção de fosfato. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 117 p. Tese de Doutorado.

WADT, P. G. S. **Manejo de solos ácidos do Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre. 2002. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 79).

Capítulo 3

Matéria Orgânica do Solo

Vinícius de Melo Benites

Beáta Madari

Alberto Carlos Campos Bernardi

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado

Introdução

Matéria orgânica é toda substância própria dos compostos de carbono, contrapondo-se à matéria inorgânica, que é relativa aos compostos de qualquer elemento, exceto carbono. Assim, para ilustrar, a carne de boi, como tem carbono na sua constituição, é matéria orgânica. Já o sal de cozinha, que se constitui de sódio (Na) e cloro (Cl), é uma substância inorgânica. A matéria orgânica do solo (MOS), por sua vez, refere-se a todas as matérias ou substâncias vivas e mortas do solo que contenham compostos de carbono. Logo, tudo o que não for mineral no solo é orgânico e, portanto, constitui a MOS.

A matéria orgânica do solo é um componente chave em qualquer ecossistema terrestre, e uma variação em sua quantidade e nas suas características pode causar importante efeito sobre muitos processos que ocorrem nesse sistema. A MOS apresenta um importante papel na retenção de nutrientes, estruturação e retenção de umidade em solos tropicais, além de representar um importante papel de fixação de CO_2 atmosférico, reduzindo os problemas de mudança climática. Em suma, nenhum solo funciona sem matéria orgânica, principalmente nos trópicos onde a porção mineral é de baixa qualidade quando comparada aos minerais encontrados em regiões temperadas. No sudoeste da Amazônia, naqueles solos onde predominam minerais de alta atividade de argila, a matéria orgânica pode desempenhar ainda importantes

papéis na ciclagem de nutrientes, cuja dinâmica ainda é pouco conhecida. Portanto o manejo da matéria orgânica, visando à conservação e melhorando sua qualidade, é fundamental para a manutenção de sistemas produtivos sustentáveis em ambientes tropicais.

Neste capítulo serão tratados os conhecimentos básicos sobre a matéria orgânica do solo como: origem e composição, importância para o funcionamento do solo e como a prática agrícola pode modificar suas características. Pretende-se, dessa forma, aumentar o conhecimento de técnicos e produtores sobre a MOS, visando a um melhor manejo do solo e assim tornar a agricultura mais sustentável na Amazônia.

Origem e Transformações da Matéria Orgânica do Solo

A MOS tem sua origem a partir de resíduos vegetais e animais que chegam ao solo. Essa entrada pode ser natural, como a queda de folhas e galhos das árvores, a morte de insetos e seres microscópicos que habitam o solo, a decomposição de raízes mortas, a liberação de exudados radiculares, e ainda pela adição de compostos orgânicos solúveis dissolvidos na água que lava as copas e os troncos das árvores após uma chuva. A entrada de MOS pode também ser feita pelo homem, ao adicionar um esterco, um composto, um resíduo orgânico existente em sua propriedade, como lixo doméstico, ou também pela incorporação de adubos verdes ou plantas de cobertura para a formação de palhada.

Nesse caso trata-se de adubação orgânica, tema que será abordado em um capítulo específico deste livro.

Dependendo do tipo de vegetação existente sobre o terreno (floresta, pastagem, cultura) e até mesmo da época do ano (inverno, verão), ocorrem diferentes aportes de matéria orgânica no solo. Embora existam resíduos animais e vegetais, a grande maioria é de origem vegetal, sendo composta principalmente por lignina e celulose. A MOS é formada predominantemente por formas de lignina e celulose, que se encontram no solo em diferentes graus de decomposição. Inúmeros organismos se alimentam desses compostos e produzem outros, tornando o solo vivo e dinâmico. Assim, a MOS tem entre seus compostos a fonte de energia para os organismos vivos do solo e também os resíduos da decomposição causada por esses organismos.

Entre as reações que ocorrem com os resíduos orgânicos, os quais chegam ao solo, há o processo de mineralização, de imobilização e de humificação. Os três processos estão interligados e ocorrem ao mesmo tempo. A mineralização é a transformação de matéria orgânica em gás carbônico, por meio da respiração microbiana, processo no qual há a liberação dos nutrientes contidos na MOS. A mineralização é a principal fonte de nutrientes e energia para a reprodução e o crescimento da comunidade microbiana do solo, a qual é importante visto o seu papel na produção de enzimas e nas transformações químicas que ocorrem no solo,

resultando em associações benéficas com as plantas. Estas plantas também podem absorver nutrientes oriundos da mineralização da MOS (como nitrato, fosfato, cálcio, magnésio, etc.), mas as quantidades são muito variáveis, podendo não atender integralmente à necessidade da planta para seu crescimento.

Durante a mineralização da MOS, parte dos compostos orgânicos degradados e alguns nutrientes inorgânicos são incorporados pelos microorganismos para formação de suas células. Deve-se lembrar que esse é um processo dinâmico porque os microorganismos têm vida curta e logo morrerão e terão seus corpos degradados por outros microorganismos, continuando o ciclo dinâmico da MOS.

Finalmente, parte dos compostos que chega ao solo, sobretudo uma porção significativa da lignina, é formada por estruturas químicas resistentes ao ataque dos organismos. Pode-se fazer uma analogia com um animal que morre no pasto: a pele e a carne são consumidas pelos decompositores, restando os ossos que permanecem sobre o solo. Nesse caso, a pele e a carne são a celulose e outras substâncias facilmente degradadas que se encontram em resíduos vegetais; o osso é uma parte da lignina formada por estruturas aromáticas de alta resistência. Essas estruturas deixadas pelos organismos vão se acumulando e se ligando a outros compostos orgânicos de maior resistência no solo, formando as substâncias húmicas. Este processo

chama-se humificação e é responsável pela maior parte da MOS encontrada em todos os solos do planeta, sobretudo os tropicais.

Composição da Matéria Orgânica do Solo

No solo, a matéria orgânica constitui-se um conjunto complexo de formas químicas, vivas ou mortas (Fig. 1) (Theng et al., 1989). Neste capítulo será tratada em maior detalhe a porção “morta” que representa a maior parte da MOS. A porção “viva”, que trata da biodiversidade do solo, será apresentada em outro capítulo.

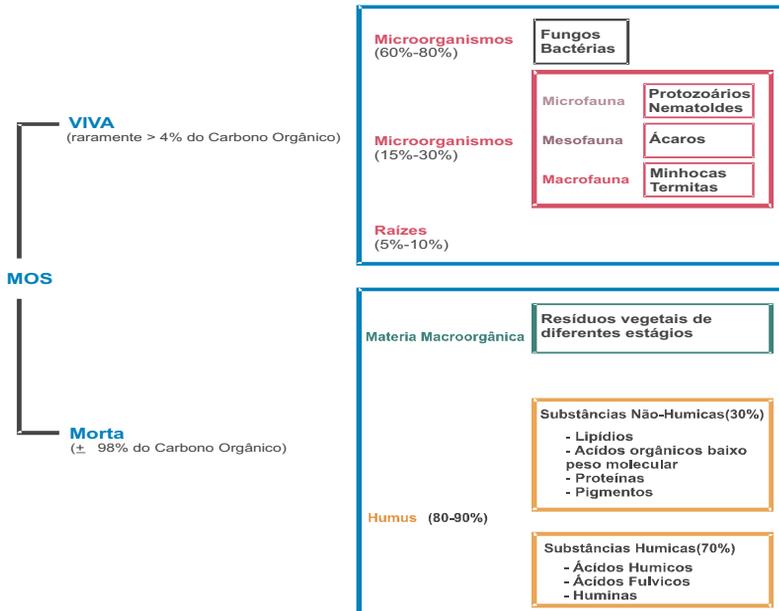


Fig. 1. Diagrama demonstrando os componentes da matéria orgânica do solo (MOS).

Para ter uma idéia da importância da MOS, alguns trabalhos estimam que no planeta exista três vezes mais carbono na forma de MOS que na forma de biomassa viva (Hayes & Clapp, 2001), ou seja, animais, florestas, algas marinhas, etc.

Embora se atribua uma distribuição percentual média para cada um desses compartimentos (Fig. 1), deve-se considerar que essa distribuição varia de acordo com o tipo de solo, as condições ambientais, o tipo de cobertura vegetal e outros aspectos.

Matéria Macroorgânica ou Matéria Orgânica Leve

A matéria orgânica leve (MOL) é formada por resíduos vegetais na sua forma original ou semidecompostos, ou seja, fragmentos de folhas, galhos, cascas e raízes que se misturam aos solos. O termo “leve” refere-se à baixa densidade desse material que flutua quando se coloca o solo na água. A matéria orgânica leve é composta basicamente de lignina e celulose e é uma importante fonte de energia para organismos do solo. Por tratar-se de restos de vegetais ainda não decompostos, essa fração contém quantidades significativas de cálcio, magnésio, nitrogênio e fósforo, constituindo-se uma fonte desses nutrientes para as plantas.

Formas conservacionistas de agricultura, como sistemas agroflorestais e também sistemas de plantio direto, promovem um aumento da MOL e com isso melhoram a qualidade do solo.

Substâncias Húmicas

As substâncias húmicas são o principal compartimento da MOS (Fig. 1). Esses compostos são resultantes da humificação, que é um dos processos naturais mais importantes para a sustentabilidade da vida na Terra. O processo de humificação na realidade é um somatório de reações que ocorrem no solo, as quais estão diretamente relacionadas as suas características, como fertilidade, aeração, temperatura e umidade. Esses fatores controlam a atividade microbiana e, conseqüentemente, o processo de humificação.

Compreendendo essas reações e como elas são afetadas pelas condições do solo, pode-se determinar qual a melhor forma de manejá-lo visando ao aumento do processo de humificação.

As principais reações do processo de humificação em solos tropicais são relacionadas a transformações oxidativas das ligninas. Ou seja, a lignina, principal componente dos resíduos vegetais, sofre alterações por efeito dos microorganismos e das substâncias por eles produzidas, havendo a formação de grupos contendo oxigênio na molécula, que são responsáveis pela reatividade das substâncias húmicas. Portanto, para promover a humificação, é necessário que sejam mantidas condições do solo favoráveis à atividade dos microorganismos, como boa aeração e umidade adequada.

As cargas presentes na estrutura das substâncias húmicas, produzidas pela atividade microbiana, são

responsáveis pela capacidade de troca catiônica (CTC) e pela interação com as argilas, promovendo a estruturação do solo. Na maioria dos solos brasileiros, de regiões tropicais, onde as argilas apresentam baixa CTC, as cargas de origem orgânica são fundamentais para manter a fertilidade. Em solos arenosos esse papel é ainda mais importante. Daí a preocupação em manejar a MOS promovendo a humificação. No Estado do Acre, principalmente em sua região central e oeste, predominam minerais de argila do tipo 2:1, com elevada CTC. Provavelmente, nesse caso, a matéria orgânica desempenhe papéis ainda pouco conhecidos e que precisam ser esclarecidos para que esses ambientes sejam manejados de forma sustentável.

Por exemplo, estudos têm mostrado que além do importante papel no fornecimento de cargas ao solo, as substâncias húmicas apresentam efeitos fisiológicos sobre plantas e microorganismos. Algumas porções da estrutura destas moléculas participam de reações bioquímicas que favorecem, por exemplo, a germinação de sementes e o crescimento de raízes (Chen & Aviad, 1990). As substâncias húmicas também exercem um importante papel na complexação do alumínio do solo, amenizando os efeitos tóxicos desse elemento sobre as plantas e microorganismos. Esse papel pode influenciar no controle da atividade química do alumínio nos solos do Estado do Acre, pelo fato da elevada acidez tornar instáveis as argilas e liberar grandes quantidades desse elemento na solução do solo.

As substâncias húmicas podem também ser classificadas segundo a sua solubilidade e reatividade, o que de certo modo depende do tamanho de suas moléculas. As moléculas mais solúveis, que normalmente são menores e mais reativas são chamadas de ácidos fúlvicos. As moléculas menos solúveis e relativamente menos reativas, são chamadas de ácidos húmicos e apresentam maior persistência no solo. Existem ainda as huminas, que são moléculas grandes com baixa densidade de cargas e, portanto, pouco solúveis, mas que apresentam um importante papel na formação de agregados no solo.

Substâncias Não-húmicas

Além das substâncias húmicas, uma série de substâncias, dos mais diferentes grupos, pode ser encontrada nos solos. São gorduras, ceras, açúcares, enzimas, ácidos solúveis, mucilagens (polissacarídeos), etc. Essas substâncias são produzidas por microorganismos que vivem no solo ou ainda pelas plantas, na forma de exsudados radiculares ou compostos que se encontravam no interior das folhas em decomposição. Muitos deles são bastante instáveis, de fácil decomposição, como os açúcares e alguns ácidos solúveis. Logo, estes compostos participam da nutrição dos microorganismos, sendo mineralizados e em parte imobilizados. Outras substâncias como mucilagens apresentam um importante papel na estruturação do solo, pois agem como verdadeiros cimentos ligando pequenas partículas de argila, formando os agregados do solo.

Nos solos sob florestas, em virtude da grande quantidade de folhas em decomposição (serrapilheira), ocorrem quantidades relativamente altas de substâncias não-húmicas. Algumas dessas substâncias, como os ácidos solúveis, são responsáveis por carregar nutrientes contidos na serrapilheira para o solo, favorecendo a nutrição da floresta e a ciclagem biogeoquímica. Quando se utiliza um sistema agroflorestal, as culturas anuais podem se beneficiar desse processo, mostrando uma das vantagens do consórcio entre floresta e culturas agrícolas.

As enzimas existentes no solo, sejam elas produzidas por microorganismos ou pelas plantas, apresentam um importante papel na sua fertilidade, pois são capazes de solubilizar nutrientes em formas bastante estáveis, tornando-os disponíveis para a assimilação pelas raízes. No caso específico do fósforo, fortemente adsorvido em solos tropicais com predomínio de óxidos de ferro e alumínio na fração argila, a ação das enzimas faz a diferença. No futuro, provavelmente será feito o manejo das enzimas do solo em vez de adicionar fertilizantes solúveis como atualmente se faz.

Carvões

Na maioria dos solos tropicais podem-se observar pequenos fragmentos de carvão resultantes de queimas naturais ou feitas pelo homem. Esses carvões são matéria orgânica, pois se compõem de carbono e são uma forma bastante estável de MOS.

Quando estão na forma de fragmentos muito pequenos, os carvões apresentam alguma atividade no sentido de absorver compostos orgânicos solúveis, reter umidade e servem como abrigo para alguns microorganismos do solo. Na Amazônia é muito comum a prática da queima da vegetação, que embora apresente uma série de problemas como a poluição, a destruição da microbiota do solo e de alguns elementos da fauna e flora apresenta o efeito benéfico da incorporação de carvões ao solo. Em alguns países como o Japão, a prática dessa incorporação é tradicional. Estudos mais recentes têm avaliado o efeito da adubação com carvão sobre as propriedades físico-hídricas e químicas do solo (Glasser, 2002).

Funções da Matéria Orgânica do Solo

Como mostrado anteriormente, a MOS apresenta uma série de propriedades que contribui para a melhoria da estrutura e para a manutenção da fertilidade do solo, interagindo com a biota e com a fração mineral (Tabela 1).

Efeitos da Matéria Orgânica sobre a Fertilidade do Solo

A determinação do teor de MOS geralmente é feita de forma indireta, ou seja, os métodos usados determinam o teor de carbono no solo que é multiplicado por um fator para se obter o teor de MOS. Em média, os limites e as classes de interpretação dos teores de matéria orgânica nos solos estão expressos na Tabela 2.

Tabela 1. As propriedades e funções da matéria orgânica e seus efeitos sobre as características do solo.

Propriedade	Aparência	Efeito no solo
Retenção de água	A matéria orgânica absorve até 20 vezes o seu peso em forma de água	Prevenção de secagem e contração do solo
Combinação com argilas	Formação de agregados	Estabilização da estrutura do solo, respiração, permeabilidade
Formação de quelatos	Complexos estáveis com cátions polivalentes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+}	Disponibilidade de micronutrientes para as plantas e redução do efeito tóxico do alumínio
Solubilidade em água	Moléculas grandes (ácidos húmicos) e seus complexos são insolúveis em água em solos ácidos	Uma parte razoável da matéria orgânica fica retida no solo não sendo perdida por efeito das chuvas
Capacidade tampão	Mostra atividade tampão em ambientes neutros, pouco ácidos e pouco alcalinos	Manutenção de um pH constante no solo

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Propriedade	Aparência	Efeito no solo
Troca de cátions	A acidez total das frações isoladas da matéria orgânica do solo varia entre 300 e 1.400 cmol kg ⁻¹ , no solo se manifesta em torno de 200 cmol kg ⁻¹	Aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (isto é altamente relevante em solos dos trópicos com argilas de baixa atividade onde a matéria orgânica exerce aproximadamente 80% da CTC do solo)
Mineralização	A decomposição da matéria orgânica do solo produz CO ₂ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ e SO ₄ ²⁻	Fonte de nutrientes para crescimento de plantas, emissão de gases de estufa na atmosfera
Reação com agrotóxicos	Afeta bioatividade, persistência e biodegradabilidade de pesticidas	Modifica as taxas de aplicação de pesticidas para o controle efetivo

Fonte: Adaptada de Stevenson (1994).

Tabela 2. Classes de interpretação de teores de MOS.

Classe de teores (g kg ⁻¹)		
Baixa	Média	Alta
< 16	16 a 37	> 37

O teor de MOS também revela a textura do solo. Os arenosos normalmente apresentam valores de até 15 g kg⁻¹, solos com textura média, entre 16 e 30 g kg⁻¹, e solos argilosos apresentam valores acima de 31 g kg⁻¹. Valores maiores que 60 g kg⁻¹ podem indicar situações localizadas de acúmulo, em função de má drenagem ou acidez elevada, que interferem no processo de decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos.

Entre os componentes do solo, a matéria orgânica é a principal responsável pelo desenvolvimento das cargas negativas que retêm temporariamente os cátions como potássio, cálcio e magnésio. Esse processo, conhecido como capacidade de troca de cátions, é muito importante pois protege esses nutrientes contra a lixiviação, liberando-os lentamente para a utilização pelas plantas. O principal responsável pela CTC é o húmus, o produto final da decomposição da matéria orgânica, pois possui mais cargas elétricas em sua superfície externa que os minerais de argila. Os diferentes tipos de substâncias húmicas apresentam valores de CTC entre 300 e 1.400 cmol/kg. Já minerais de argila apresentam valores sempre menores e variam em função de sua natureza (Tabela 3).

As cargas elétricas negativas da MOS dependem do pH, pois se originam da ionização dos grupamentos funcionais dos ácidos orgânicos (carboxílicos e fenólicos), e são maiores à medida que diminui a acidez dos solos. Em outras palavras, pode-se dizer que quanto maior o pH do solo maior o número de cargas originadas na matéria orgânica. Porém, mesmo em pH baixo (solos ácidos) as cargas originadas da matéria orgânica estão presentes, ao contrário do que ocorre com as cargas de origem mineral.

Tabela 3. Capacidade de troca catiônica (CTC) dos minerais de argila e da matéria orgânica do solo.

Argila	CTC (cmol_c/kg)
Vermiculita	100 a 150
Montmorilonita	80 a 150
Ilita	10 a 40
Caulinita	3 a 15
Óxidos de ferro e alumínio (goetita, hematita)	~ 4
Matéria orgânica do solo (fração leve, substâncias húmicas, substâncias não-húmicas)	~ 200
Substâncias húmicas (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, húmica)	300 a 1.400

A MOS, seja dos resíduos orgânicos, das substâncias húmicas ou de outros materiais, como esterco, tem também grande influência sobre os teores de nutrientes no solo. Nutrientes como nitrogênio e enxofre e, em menor proporção, fósforo e micronutrientes, estão retidos na forma de compostos orgânicos. Para que esses nutrientes se tornem disponíveis às plantas, é preciso reduzi-los a sua forma inorgânica, pelo processo de mineralização.

A disponibilização natural do nitrogênio na MOS para as plantas se dá principalmente por meio dessa mineralização. Ocorrem basicamente dois processos: a amonificação, que produz amônia a partir da quebra dos compostos nitrogenados presentes na MOS, e a nitrificação, que transforma essa amônia em nitrato. Esta última forma de nitrogênio é a que normalmente prevalece nos solos em condições de aeração e drenagem adequadas. Apesar dessa estreita relação, na maioria dos estados o teor de matéria orgânica não se revelou como um índice adequado para avaliar a disponibilidade desse nutriente em solos, e por isso não tem sido ainda utilizado para essa finalidade. Apenas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina a disponibilidade de nitrogênio é avaliada indiretamente com base no teor de MOS.

O enxofre no solo tem comportamento similar ao do nitrogênio, e cerca da metade do teor desse nutriente está ligada à matéria orgânica, sendo liberada também pela mineralização.

Em solos ácidos, com pH menor que 5,6, a maior parte do fósforo está adsorvida ou fixada pelos hidróxidos de ferro e alumínio e por caulinita, sendo portanto indisponível para as plantas. A reversão dessa indisponibilidade pode ocorrer, adicionando-se calcário associado à matéria orgânica.

O papel da MOS na nutrição de fósforo ocorre devido ao retorno do nutriente ao solo por meio da mineralização dos restos culturais. Também pode ocorrer uma ocupação dos sítios de adsorção dos argilo-minerais pelos ácidos orgânicos e, com isso,

uma diminuição da fixação do fosfato. Outra possibilidade ainda é que esses ácidos orgânicos podem transformar as formas pouco solúveis, como os fosfatos de cálcio e magnésio, para formas mais solúveis e disponíveis às plantas.

A MOS é também fonte de micronutrientes, que são retidos por complexas combinações com os colóides orgânicos. Existem evidências de correlações entre a matéria orgânica e a presença de cobre, molibdênio e zinco nos solos. A ocorrência de teores maiores desses nutrientes nas camadas superficiais dos solos reforça a indicação de que eles estão ligados à matéria orgânica.

Efeito da Matéria Orgânica na Agregação do Solo

A formação e manutenção de macroagregação no solo são os objetivos mais importantes do manejo de solo visando combater a erosão. Para o uso agrícola do solo, é desejável que se tenha uma baixa densidade aparente.

A densidade aparente é a massa do solo intacto, não destorreado, por unidade de volume. Conseqüentemente, quanto mais poroso for um solo, menor será sua densidade aparente. O ideal é que 50% do volume do solo seja ocupado por poros distribuídos em macro, meso e microporos. Os poros maiores ou macroporos (0,08-5 mm) (Brady & Weil, 1999) se formam entre os agregados e são importantes por favorecer a infiltração de água das chuvas, por permitir as trocas gasosas e por serem suficientemente grandes para acomodar as raízes das plantas.

Os poros intermediários ou mesoporos (0,03-0,08 mm) retêm água no solo depois de secados os macroporos e fornecem habitat para fungos e raízes finas. Os poros pequenos ou microporos (0,005-0,03 mm) geralmente ficam dentro dos agregados, retêm água disponível para as plantas, como uma esponja, e fornecem abrigo às bactérias. No caso do uso agrícola do solo, a formação e manutenção de macroporos são altamente desejáveis.

No solo existem diferentes tamanhos ou classes de agregados. A formação e a estabilidade de cada classe de agregados são influenciadas por fatores biológicos, físicos e químicos. Os agregados menores são formados principalmente pelos fatores físico-químicos (abióticos) e os agregados maiores pelos fatores biológicos. Geralmente nos solos argilosos os processos físico-químicos são mais importantes na formação dos agregados, enquanto nos solos arenosos a agregação depende principalmente dos processos biológicos.

Todos os componentes da matéria orgânica do solo (Fig. 1) afetam a formação dos agregados, principalmente, dos maiores. Os animais do solo (macroorganismos), como por exemplo, as minhocas e os cupins, ingerem partículas do solo contendo fragmentos vegetais. Como o solo avança no intestino do animal, as partículas ficam coladas e finalmente deixam o intestino na forma de agregados. Raízes finas de plantas e filamentos de fungos (raízes e microorganismos) segregam e exudam mucilagens que colam as partículas do solo e os agregados menores, formando agregados

maiores. As bactérias também segregam essas “colas orgânicas”. Muitas dessas substâncias resistem à dissolução em água e, assim, além de promover a formação de agregados, ajudam a mantê-los estáveis no solo durante vários anos.

Entretanto, o principal agente que permite a formação e estabilização de agregados é a matéria orgânica morta. Seus diferentes componentes, especialmente a MOL, constituem a fonte de energia para os organismos do solo, possibilitando suas atividades vitais. As substâncias húmicas, como são moléculas grandes, funcionam como fios em cuja superfície estão as cargas reativas, que agem como pontes ligando as partículas do solo, formando agregados estáveis em água.

A formação de agregados e a decomposição ou acumulação da matéria orgânica do solo são processos interligados. A taxa de decomposição da matéria orgânica depende da sua localização no solo (Fig. 2). A matéria orgânica localizada entre agregados está sujeita a uma rápida decomposição, o que resulta em perda de nutrientes. Por outro lado, a matéria orgânica localizada no interior das estruturas dos agregados fica protegida contra o ataque dos microorganismos e decompõe-se mais lentamente (Sohi et al., 2001).

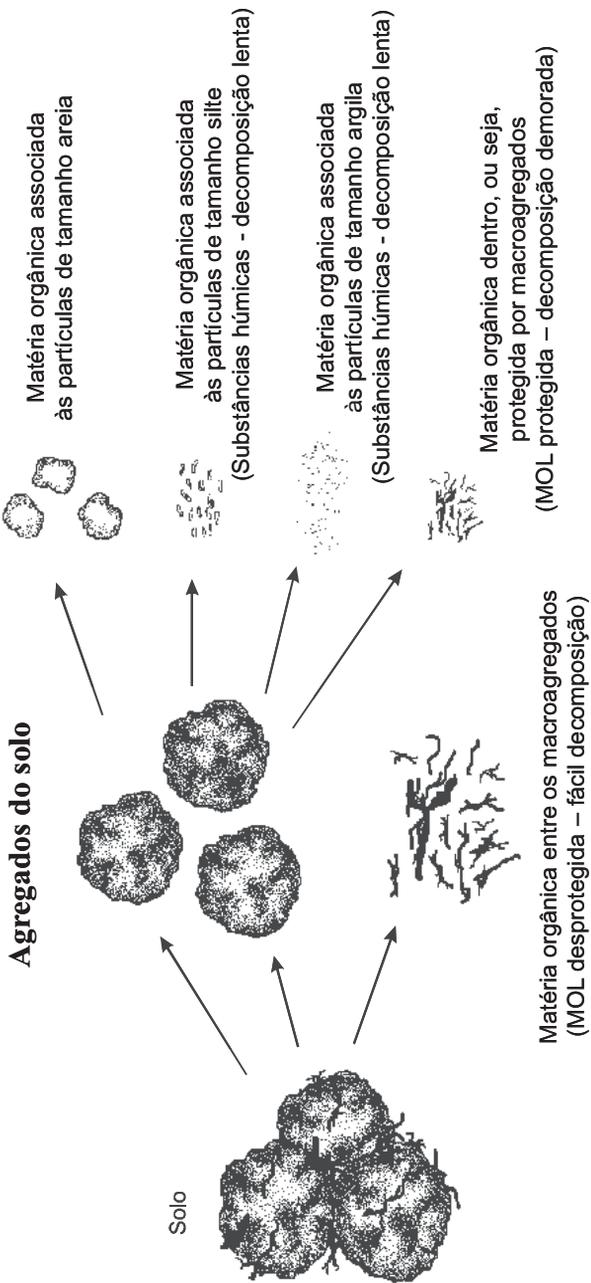


Fig. 2. Localização da matéria orgânica no solo.
 Fonte: Roscoe (2002).

Efeito do Manejo sobre as Características e Propriedades da Matéria Orgânica do Solo

O melhor equilíbrio entre os diversos componentes do solo e a matéria orgânica encontra-se normalmente nos sistemas naturais. Assim, geralmente, aqueles sistemas que reproduzem condições no solo mais próximas aos sistemas naturais são os mais sustentáveis e, portanto, mais apropriados para a produção vegetal. Nesse contexto, o manejo adequado da matéria orgânica do solo é fundamental, porque qualquer alteração sofrida pela MOS irá refletir nas propriedades físicas e químicas do solo, desequilibrando o sistema e afetando sua capacidade de sustentar a produção agrícola. Diferentes sistemas de preparo do solo para o plantio, como por exemplo, o plantio convencional (aração seguida de gradagem) ou o plantio direto, afetam diferentemente as características da matéria orgânica e, conseqüentemente, a fertilidade e a qualidade do solo.

Manejos conservacionistas do solo favorecem a acumulação da MOL na superfície do solo quando comparados aos cultivos tradicionais nos quais se fazem a aração e gradagem, revolvendo o solo e rompendo seus agregados, o que promove uma rápida decomposição da MOL, resultando na perda de nutrientes.

Quando os agregados são mantidos, ou seja, não há o revolvimento do solo, a decomposição da MOL é mais lenta, liberando nutrientes gradualmente, durante um período mais longo, de acordo com a

demanda das culturas em suas fases de crescimento e frutificação.

O manejo do solo também afeta os teores de substâncias húmicas. A porção mais estável das substâncias húmicas (formadas por estruturas aromáticas policondensadas) é bastante estável e persistente, sendo pouco afetada por efeito do manejo, pelo menos durante um período até 20-25 anos. Por outro lado, a parte mais reativa dessa molécula (formada por grupos ácidos contendo oxigênio, principalmente ácidos carboxílicos) parece ser favorecida pelas técnicas de preparo convencional do solo, em que há o revolvimento e oxidação do solo e, por conseqüência, a formação dos grupos reativos. Uma terceira porção das substâncias húmicas (formadas por estruturas alifáticas) é facilmente mineralizada pelos microorganismos do solo que a utilizam como fonte de energia, quando o solo é revolvido, contribuindo para uma rápida perda de nutrientes (Michéli et al., 2002).

Comparando com os sistemas naturais (por exemplo floresta), nos sistemas mais intensos de cultivo ocorre uma perda relativa de ácidos fúlvicos, enquanto em sistemas mais conservacionistas (como plantio direto e agroflorestas), essa perda é minimizada.

Para conservar a matéria orgânica do solo e assim atingir níveis satisfatórios de produtividade, além do manejo da fertilidade, o manejo físico (manejo das propriedades físicas do solo) também é fundamental. Por esse motivo é importante a escolha

de sistemas de produção que sejam capazes de conciliar a preservação ambiental com as necessidades de produção de alimentos. Daí a ênfase atualmente no desenvolvimento de sistemas de cultivo mais conservacionistas, entre os quais se destaca o plantio direto, que será tratado em um capítulo à parte.

É preciso ter clareza, contudo, que o tipo de sistema adotado afetará as propriedades mais elementares do solo sob o ponto de vista de manejo e, portanto, a capacidade de se manter sustentável por períodos maiores de tempo, como se exemplifica para a relação entre o estado de agregação do solo, a taxa de decomposição da matéria orgânica e diferentes tipos de plantio (Fig. 3).

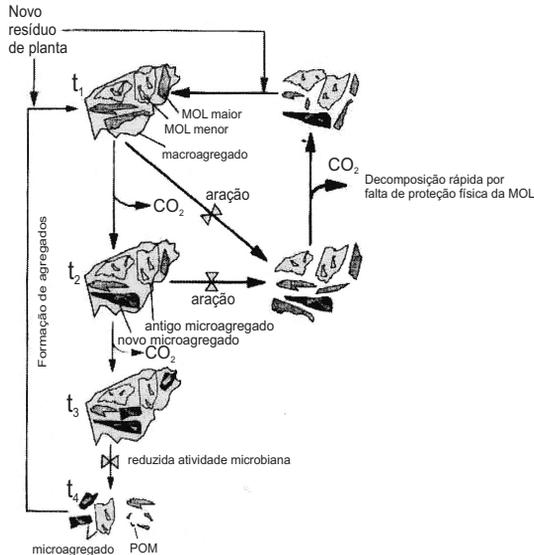


Fig. 3. Modelo de transformação de macroagregados e da formação de microagregados.

Fonte: Six et al. (2000).

No plantio convencional, a aração quebra os agregados maiores, liberando matéria orgânica, principalmente MOL, que estava protegida da ação dos microorganismos dentro da estrutura dos agregados, ficando assim disponível ao ataque microbiano. Ao contrário, sob plantio direto, no qual o solo não é movimentado e revolvido, a transformação de agregados é mais lenta e a MOL permanece protegida dentro da estrutura dos agregados, ficando sujeita a uma taxa de decomposição mais lenta, podendo evoluir para formas mais estáveis e de maior reatividade (substâncias húmicas). Simultaneamente ainda se observa, relacionada a este processo, maior acumulação de carbono orgânico na superfície do solo sob plantio direto, o que contribui também para um controle mais eficiente da erosão.

Conclusões

Uma vez demonstrada a importância da matéria orgânica sobre as diversas propriedades do solo, torna-se fundamental seu manejo adequado visando à conservação da MOS e, conseqüentemente, a manutenção da qualidade do solo e sustentabilidade dos sistemas de produção. Nas análises de solo feitas em rotina apenas os teores de carbono no solo são analisados, não havendo informações sobre a qualidade da MOS. Cabe, portanto, aos técnicos e ao produtor monitorarem a qualidade do solo na área de cultivo, observando o seu grau de compactação, a existência de raízes em profundidade e a atividade de organismos (como minhocas), fatores que estão relacionados à MOS. A redução do teor de carbono

no solo após sucessivos plantios pode anteceder um declínio na produtividade das culturas e, portanto, deve servir como alerta para a necessidade de uma mudança na forma de manejo ou de se utilizar algum meio de adubação orgânica visando restabelecer os níveis de matéria orgânica e o reequilíbrio das propriedades do solo.

Referências Bibliográficas

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. New Jersey: Prentice-Hall, 1999. 423 p.

CHEN, Y.; AVIAD, T. Effects of humic substances on plant growth. In: McCARTHY, P. (Ed.) **Humic substances in soil and crop science**: selected readings. Madison, p. 161-186, 1990.

GLASSER, B. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review. **Biol. Fertil. Soils**, v. 35, p. 219-230, 2002.

HAYES, M. H. B.; CLAPP, C. E. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, n. 11, p. 723-727, 2001.

MICHÉLI, E.; MADARI, B.; TOMBÁ CZ, E.; JOHNSTON, C. T. Tillage-soil organic matter relationships in long-term experiments in Hungary and Indiana. In: KIMBLE, J. M.; LAL, R.; FOLLETT, R. F. **Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil**. Boca Raton: CRC Press, 2002. 289 p.

RAIJ, B. VAN. Capacidade de troca de frações orgânicas e minerais dos solos. **Bragantia**, v. 28, p. 85-112, 1969.

ROSCOE, R. **Soil organic matter dynamics in a Cerrado Oxisol**. Wageningen: Wageningen University, 2002. 156 p. Tese de Doutorado.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 2099-2103, 2000.

SOHI, S. P.; MAHIEU, N.; ARAH, J. R. M.; POWLSON, D. S.; MADARI, B.; GAUNT, J. L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 4, p. 1121-1128, 2001.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry**. 2. ed. New York: John Wiley, 1994. 496 p.

THENG, B. K. G.; TATE, K. R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D. C.; OADES, M.; UEHARA, G. (Ed.) **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. NifTAL Project, Honolulu, USA: University of Hawaii Press. p. 5-32, 1989.

Capítulo 4

A Biota do Solo e Processos Relevantes num Novo Contexto da Agricultura

Adriana Maria de Aquino
Eliane Maria Ribeiro da Silva
Orivaldo Saggin Junior
Norma Rumjanek
Helvécio De-Polli
Veronica Massena Reis

Introdução

A biota do solo compreende os microrganismos (bactérias, fungos, actinomicetos) e todos os invertebrados (insetos, minhocas, etc.) que são componentes permanentes do solo, junto com aqueles que regularmente passam uma ou mais fase ativa do seu ciclo de vida no solo ou na serapilheira. O papel desses organismos em sistemas agrícolas está relacionado com a decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos, transformação de nutrientes inorgânicos, destoxicação e degradação de agrotóxicos, estruturação do solo, supressão de pragas e doenças, produção de substâncias estimuladoras do crescimento e estabelecimento de relações simbióticas.

O grau em que a biota do solo opera na agricultura depende da intensidade das práticas agrícolas. Quanto mais simplificado o sistema, menos diverso, maior a entrada de insumos externos e maior a dependência pelos processos biológicos específicos, como por exemplo, a fixação biológica de nitrogênio atmosférico (FBN). Nesse caso, interessa otimizar as relações entre o organismo específico e determinada planta para aumentar a eficiência do processo e, conseqüentemente, a produtividade. É muito comum entre os cientistas discussões relacionadas com biodiversidade e estabilidade, mas que na realidade não se aplicam a esses sistemas e sim aos sistemas naturais e agrícolas mais complexos.

Entende-se por sistemas agrícolas mais complexos, os sistemas agroflorestais e os agroecológicos, incluindo aqui o manejo orgânico e o plantio direto, que se caracterizam pela menor perturbação física do ambiente solo, pela maior biodiversidade, por meio da rotação de culturas, pela menor entrada de insumos externos e, principalmente, pelo incremento da matéria orgânica no solo. Essas mudanças no cenário da agricultura alteram a comunidade dos organismos que vivem no solo, criando melhores condições para o seu estabelecimento e desenvolvimento, o que é muito importante, pois os sistemas mais complexos são mais dependentes dos processos biológicos.

Nesse novo cenário da agricultura, além dos desafios que antes existiam relacionados com a eficiência simbiótica tanto de fungos micorrízicos, quanto de bactérias fixadoras de nitrogênio, existe o desafio de realizar estudos multidisciplinares para entendimento dos processos mais complexos, e que agora ocorrem em nível de comunidade e não somente de indivíduos específicos. Um dos exemplos bem característicos refere-se ao controle de pragas e doenças em sistemas de produção orgânica, em que esse controle não pode ser relacionado somente ao organismo alvo e sim ao manejo que determinou o desequilíbrio das comunidades acarretando o declínio dos predadores e o desequilíbrio nutricional das plantas, tornando-as mais vulneráveis.

Os novos modelos de produção agrícola mais complexos são fonte de inspiração para uma

agricultura sustentável, mas, ainda são necessários muitos estudos para entender o funcionamento desses sistemas e o melhor aproveitamento dos serviços ecológicos prestados pelos organismos do solo.

Procurou-se neste capítulo realizar uma abordagem ampla de alguns componentes da biota do solo, processos associados e aplicação prática, sem contudo esgotar o assunto.

A Biomassa Microbiana e sua Implicação no Manejo do Solo

Os microrganismos que habitam o solo são relevantes em vários aspectos e estão relacionados à formação do solo, ciclagem de nutrientes e de gases do efeito estufa, biorremediação, ao controle biológico da proteção vegetal, à produção de substâncias que favorecem o desenvolvimento vegetal (fatores de crescimento) e de substâncias com aplicação industrial como os antibióticos.

O solo abriga um número imenso de microrganismos, podendo ser encontrados 3×10^8 bactérias e 200 m de hifas de fungos por grama de solo, por exemplo. A diversidade desses microrganismos é muito grande e mais recentemente os métodos moleculares aplicados à ecologia microbiana têm ajudado a compreender as dimensões dessa grandeza, pois indicam que somente 1%-3% dos microrganismos do solo são conhecidos, ou seja, já foram isolados em meio de cultura e classificados, estando passível de manipulação em cultura pura.

No grupo das bactérias estão incluídas as cianobactérias (algas verde-azuladas) e os actinomicetos. Esses organismos são procarióticos, ou seja, possuem célula sem núcleo organizado, o material nuclear (cromossomo) encontra-se difuso no citoplasma e ausência de membrana nuclear. Todos os demais grupos possuem célula eucariótica, ou seja, com núcleo contendo membrana nuclear. As bactérias, fungos, algas e protozoários pertencem ao reino protistas.

Embora os métodos clássicos pautem pelo aspecto do isolamento do microrganismo em meio de cultura, parte da aplicação do estudo da microbiologia do solo pode ser realizada por meio do entendimento da atividade bioquímica desses microrganismos e interpretações a partir dos produtos do metabolismo. Nesse contexto, a microbiologia do solo pode ser vista como o estudo dos organismos dos processos a eles relacionados e suas aplicações agroindustriais e ambientais.

Uma abordagem para medições dos microrganismos do solo é o seu estudo em uma forma agregada, ou seja, considerando-se todo o conjunto como uma “caixa preta” que é chamada de biomassa microbiana do solo (BMS). Esta biomassa é a parte viva da matéria orgânica do solo com dimensão individual de aproximadamente $5 \cdot 10^3 \mu\text{m}^3$. Em princípio estão excluídas as raízes, parte da microfauna, a meso e a macrofauna. A BMS é um compartimento importante na transformação da matéria orgânica, no ciclo de nutrientes e no fluxo

de energia (Jenkinson & Powlson, 1976; De-Polli et al., 2000). A quantificação da biomassa microbiana é uma metodologia auxiliar para estudos da dinâmica dos microrganismos e ciclagem de nutrientes. A diversidade microbiana encontrada na vida do solo estaria supergeneralizada nesse componente e naturalmente deve ser estudada por outras metodologias.

Carbono e vários dos nutrientes importantes para a produção vegetal como N, P, S, Fe participam de transformações mediadas por microrganismos do solo. A matéria orgânica do solo tem sua constituição e durabilidade governadas fortemente por processos da microbiota. São três as situações que ilustram a entrada ou saída de nutrientes, com as caixas simbolizando a biomassa microbiana (Fig. 1).

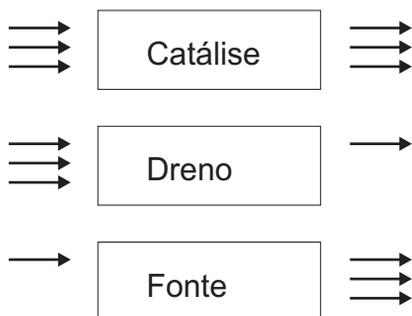


Fig. 1. Representação esquemática dos processos de transformação da matéria orgânica pela biomassa microbiana.

Na situação de catálise a biomassa microbiana transforma o material que recebe e libera substâncias transformadas, porém a quantidade de massa total recebida é igual a liberada, não havendo imobilização de nutrientes e substâncias na biomassa microbiana, ou seja, a biomassa microbiana não ganha nem perde massa nesse caso. Quando a BMS atua como dreno recebe mais massa do que fornece ao ambiente, assim ela aumenta, imobilizando nutrientes. Quando atua como fonte, parte do material acumulado no corpo microbiano é liberada ao ambiente, sendo o caso típico desse evento a mineralização de nutrientes que é benéfica ao crescimento vegetal. Além do acúmulo de nutrientes no corpo dos microrganismos vivos, a matéria orgânica morta é um grande reservatório de nutrientes sobre o qual atua a BMS e outros componentes da biota do solo no sentido da imobilização ou mineralização (Fig. 2).

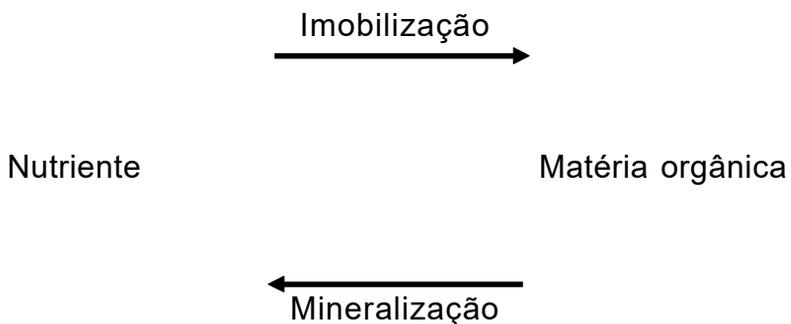


Fig. 2. Ciclagem de nutrientes a partir da matéria orgânica.

Os resultados desses processos interessam à produção agrícola, à conservação do solo e ao controle dos principais gases do efeito estufa (CO_2 , N_2O , CH_4) responsáveis pelo aquecimento da atmosfera. A agricultura tem potencial no processo de mitigação do efeito estufa, se boas práticas de manejo forem empregadas, caso contrário se mantém como fonte de gases promotores do aquecimento global.

A BMS não é uma estimativa da atividade dos microrganismos, mas sim da massa microbiana viva total do solo, com base na concentração de algum elemento ou de alguma substância celular ou diretamente por mensurações microscópicas (De-Polli & Guerra, 1999). Naturalmente, essa biomassa pode ser medida e expressa em diferentes formas, sendo a respiração microbiana a atividade da biomassa mais comumente mensurada. A BMS tem sido largamente referenciada em termos do conteúdo de carbono da biomassa microbiana (C_{BMS}) por massa de solo (Jenkinson & Powlson, 1976; Tate et al., 1988; Vance et al., 1987). Embora sejam comuns valores de BMS correlacionando-se bem com valores de C orgânico total do solo, a vantagem de se medir também a BMS é decorrente de sua maior sensibilidade às mudanças no conteúdo de matéria orgânica do solo em curto prazo do que a determinação de C orgânico total (C_{org}) (Jenkinson & Rayner, 1977; Powlson et al., 1987). Uma relação simples de ser obtida é a relação $C_{\text{BMS}}/C_{\text{org}}$, em geral expressa em porcentagem, que pode indicar alterações em ecossistemas com interferência

antrópica (Insam & Domsch, 1988) e quanto maior essa relação dentro de um mesmo solo, mais intensa é a dinâmica da matéria orgânica (Garcia et al., 1997). A relação C_{BMS}/C_{org} também pode ser maior em solos com maiores teores de N total (Gama-Rodrigues, 1992), mesmo em solos sob diferentes práticas de cultivo (cultivos sucessivos e pousios de diferentes idades). A relação C/N da própria biomassa microbiana também pode ser um indicativo da eficiência dessa biomassa em imobilizar C ou N.

O solo tem um largo número de enzimas relacionadas ou não a sua microbiota. As enzimas livres que ocorrem no solo estão freqüentemente imobilizadas às partículas orgânicas e inorgânicas do solo, sendo incerta a correlação dos valores da atividade enzimática com a biota total do solo (Paul & Clark, 1996). A atividade enzimática mostra a dinâmica de uma enzima específica, porém oferece uma visão em mais detalhe do que a respiração do solo, que é abrangente para todos os microrganismos. As enzimas mais utilizadas como indicadores têm sido a urease, fosfatase, desidrogenase e a celulase. A atividade da desidrogenase e a respiração microbiana mostram boa correlação quando fontes externas de C são adicionadas ao solo (Tabatabai, 1994). A perda de massa de celulose adicionada (papel de filtro, algodão) é uma técnica extremamente simples indicativa de atividade celulolítica que pode ser usada para monitoramento de manejo do solo (Bezerra, 2002). Devido a sua alta variabilidade, um maior número de repetições deve ser utilizado.

Medidas da respiração têm ganho maior atenção devido à importância das trocas de CO₂ do solo com a atmosfera nos estudos de mudança climática. A respiração do solo pode ser medida tanto em condição de campo (Ferreira, 2000) como em amostras de solo incubadas em laboratório (Gonçalves et al., 2002; Stoyan et al., 2000). Embora menos padronizada entre os diferentes laboratórios, a determinação da respiração do solo *in situ* é possível com metodologia relativamente simples, oferecendo informações importantes para avaliar a atividade geral da biomassa microbiana do solo e o efeito do clima e manejo. As medidas de respiração do solo caracterizam-se por serem rapidamente responsivas a alterações no ambiente, porém, devido à alta variabilidade espacial (Stoyan et al., 2000) e dificuldades de interpretação, têm sido menos usadas em estudo relacionado com manejo. Quando relacionadas à biomassa microbiana e ao tempo de incubação, denominando-se respiração específica ou quociente metabólico qCO₂ (Anderson, J. P. E. & Domsch, 1985; Anderson, T. H. & Domsch, 1990), apresentam interpretação mais tangível com situações de manejo agrícola.

$$qCO_2 = \text{respiração} / \text{biomassa microbiana} \cdot \text{tempo}$$

ou

$$qCO_2 = \frac{C - CO_2}{C_{BMS}} \cdot \text{tempo}$$

Muitas dessas medidas objetivam compreender os processos de formação e mineralização dos vários compartimentos da matéria orgânica do solo,

possibilitando um melhor entendimento da sua dinâmica (Parkinson & Coleman, 1991). O qCO_2 diminui com a proximidade do estado de equilíbrio do ambiente solo, podendo ser usado para definir e quantificar mais claramente a atividade microbiana (Insam & Domsch, 1988) e para caracterizar os riscos de empobrecimento dos solos em termos de matéria orgânica. Assim, à medida que uma determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos C é perdido como CO_2 pela respiração e uma fração significativa é incorporada ao tecido microbiano. Dessa forma, uma biomassa microbiana “eficiente” teria menor taxa de respiração em relação a uma biomassa “ineficiente” e, de um modo geral, solos com qCO_2 baixo ($qCO_2 = 4 \text{ mgC-CO}_2/\text{gC}_{\text{BMS}} \cdot \text{h}$ para Argissolo Vermelho-Amarelo, por exemplo) estão próximos do estado de equilíbrio (Gama-Rodrigues & De-Polli, 2000). Os cálculos do qCO_2 associados aos de biomassa microbiana, C orgânico, N mineral e qualidade da serrapilheira mostram ser indicadores sensíveis para aferir a dinâmica do C e N em diferentes coberturas (Gama-Rodrigues et al., 1997), embora outros autores (Anderson & Domsch, 1993; Wardle, 1993) proponham a utilização do qCO_2 como um índice metabólico para avaliar o efeito das condições de estresse (diminuição da quantidade de matéria orgânica, redução dos níveis de nutrientes e aumento nos teores de C orgânico recalcitrante) sobre a atividade e biomassa microbiana.

O qCO_2 oferece uma possibilidade de interpretação atual do estado do uso de substrato pela BMS e

eventual prognóstico sobre o destino da conservação da matéria orgânica do solo. Esse é um aspecto que interessa muito ao manejo conservacionista do solo, principalmente com a possibilidade, em tese, de prognóstico. Embora a comunidade científica ainda não tenha estabelecido qual seria a calibração para essa variável, com base na experiência e extrapolando dados de Pimentel (2001), pode-se entender essa relação na seguinte escala de referência para um Argissolo Vermelho-Amarelo da região centro-sul brasileira, em condição de equilíbrio (cobertura floresta nativa ou solo agrícola com manejo orgânico):

$$\text{Respiração} = 1 \text{ mgC-CO}_2/\text{kg solo.h}$$

$$\text{BMS} = 250 \text{ mgC/kg solo}$$

$$q\text{CO}_2 = 4 \text{ mgC-CO}_2/\text{gC}_{\text{BMS}}\cdot\text{h}$$

Esse mesmo solo em processo inicial de degradação devido ao manejo agrícola pode ter valores de respiração mais elevados, menor biomassa e, conseqüentemente, maior $q\text{CO}_2$, ocasionando desequilíbrio com perda de matéria orgânica:

$$\text{Respiração} = 3 \text{ mgC-CO}_2/\text{kg solo.h}$$

$$\text{BMS} = 150 \text{ mgC/kg solo}$$

$$q\text{CO}_2 = 20 \text{ mgC-CO}_2/\text{gC}_{\text{BMS}}\cdot\text{h}$$

Propõem-se valores de $q\text{CO}_2 = 4 \text{ mgC-CO}_2/\text{gC}_{\text{BMS}}\cdot\text{h}$, para uma situação considerada sustentável, e $q\text{CO}_2 = 20 \text{ mgC-CO}_2/\text{gC}_{\text{BMS}}\cdot\text{h}$, para uma situação de solo em início de degradação, como uma referência ou balizador na comparação com dados de futuras investigações em condições diversas.

Micorrizas

A elevada acidez associada à alta saturação de alumínio, baixa disponibilidade de nutrientes e elevada capacidade de adsorção de fósforo são limitações que ocorrem em muitos dos solos tropicais. Assim, quantidades relativamente elevadas de fertilizantes fosfáticos são requeridas para o cultivo desses solos.

Devido à baixa fertilidade natural dos solos e aos altos preços dos fertilizantes industrializados, tem se dado ênfase ao estudo das associações de plantas com microrganismos que favoreçam o aproveitamento de nutrientes em meio com baixa disponibilidade dos mesmos. Pesquisas agrônômicas na última década têm mostrado que as limitações à produção na região tropical são melhor evitadas por meio de tecnologias baseadas em processos biológicos (Sieverding, 1991). Nesse contexto, serão evidenciadas as associações simbióticas mutualistas denominadas micorrizas.

Micorrizas, palavra composta pelos radicais gregos “mykes”, fungo, e “rhizae”, raízes, designa associações simbióticas mutualistas entre fungos do solo e raízes de plantas, que surgiram com plantas terrestres há cerca de 400 milhões de anos.

Essas associações ocorrem praticamente em todos os ecossistemas terrestres e a condição de raiz não associada é exceção na natureza (Harley, 1989). A ausência dessa simbiose é considerada um evento de evolução recente entre os vegetais, pois está restrito a poucas famílias ou divisões taxonômicas de nível inferior à família (Trappe, 1987). Entre essas exceções estão as famílias Brassicaceae, Caryophyllaceae e Chenopodiaceae e alguns representantes das famílias Commelinaceae, Juncaceae, Proteaceae, Cuprecaceae, Cyperaceae, Polygonaceae, Resedaceae, Urticaceae, Amaranthaceae e Portulacaceae (Harley & Smith, 1983).

A maioria das angiospermas, gymnospermas e pteridófitas e numerosas briófitas formam micorrizas, entretanto, as micorrizas formadas por combinações de diferentes filos de fungos com diferentes grupos de plantas hospedeiras são distinguíveis morfológicamente, originando tipos anatômicos e funcionais de micorrizas conhecidas como micorrizas arbusculares, ectomicorrizas, ectendomicorrizas, micorrizas arbutóides, micorrizas ericóides e micorrizas orquidóides. Neste capítulo, serão consideradas apenas as micorrizas arbusculares, pertencentes ao filo Glomeromycota (Schübler et al., 2001) devido a sua grande importância para os ecossistemas tropicais, nos quais são as mais comuns, e também por serem as mais comuns entre as plantas com uso agrícola ou entre as plantas de forma geral.

Os efeitos dos fungos que formam as micorrizas arbusculares (MAs) na utilização de fósforo e crescimento das plantas têm sido avaliados em algumas culturas de interesse econômico, visando minimizar os seus custos e maximizar a eficiência de utilização dos fosfatos.

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) aumentam a área explorada pelo sistema radicular, favorecendo o melhor uso do fósforo presente no solo. Plantas não micorrizadas ou mesmo colonizadas por FMAs ineficientes, crescendo em condições de baixa disponibilidade de fósforo, em geral, necessitam de mais fertilizante fosfático do que plantas eficientemente micorrizadas.

As leguminosas associam-se com bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos, e estes, ao favorecerem um melhor aproveitamento de fósforo do sistema, indiretamente contribuem para aumentar a eficiência na fixação de nitrogênio pelas bactérias (Moreira & Siqueira, 2002).

A aplicação de MA, em larga escala, na agricultura é ainda restrita, por esses microrganismos serem biotróficos obrigatórios, o que limita a produção de inóculo. Porém, sua utilização em culturas que passam pela fase de viveiros é viável. Nas culturas que não possuem essa característica, é importante conhecer a influência das diversas práticas agrícolas na população de fungos nativos, visando manejá-los adequadamente.

A Embrapa Agrobiologia tem utilizado a técnica de recuperação de áreas degradadas com leguminosas noduladas com rizóbio e colonizadas com fungos micorrízicos. A técnica consiste em produzir mudas bem noduladas e micorrizadas que são transplantadas para o campo com altura entre 20 e 30 cm. A inoculação com rizóbio é feita com estirpes previamente selecionadas e com inoculante à base de turfa; para fungos MAs, as mudas recebem um grama de inóculo misto contendo substrato, esporos, micélio e raízes colonizadas. As etapas para a formação dessas mudas são mostradas em Franco et al. (1992). Em geral, em áreas a serem recuperadas, a população de fungos micorrízicos nativos é baixa devido à remoção dos horizontes superficiais, o que facilita o estabelecimento do fungo inoculado na fase de formação das mudas, favorecendo a fase inicial das plantas no campo. Vários aspectos estão envolvidos na inoculação de fungos micorrízicos em espécies usadas para a recuperação de áreas degradadas, destacando o efeito benéfico da associação micorrízica na fixação biológica de nitrogênio em espécies de leguminosas arbóreas (Souza & Silva, 1996).

Outra área de aplicação de MA é a que envolve a micropropagação de plantas que constitui importante componente da biotecnologia agrícola. As espécies micropropagadas têm usos diversos, variando de flores a porta-enxerto de fruteiras, ou como espécies florestais. Tem-se verificado maior crescimento de porta-enxertos de videira inoculados na fase pós-

vitro (Ravolanirina et al., 1989), mesmo sendo a porcentagem de colonização equivalente à inoculação precoce realizada in vitro.

A inoculação com MA no início da fase de enraizamento tem sido válida para grande número de plantas de importância econômica como a macieira (Branzanti et al., 1992), a pereira (Gianinazzi et al., 1985) e a bananeira (Declerck et al., 1995). O efeito benéfico da colonização com MA foi observado no campo com abacaxizeiro (Matos & Silva, 1996), videira (Ravolanirina et al., 1989) e morangueiro (Vestberg, 1992).

O conhecimento e a experiência acumulados demonstraram que a associação micorrízica deve ser usada na produção de plantas micropropagadas sadias que sejam capazes de superar estresses e que assegurem crescimento adequado mesmo diante de condições adversas (Lovato et al., 1996).

Um exemplo de sucesso da inoculação com MAs, viável em solos de baixa fertilidade, refere-se ao cafeeiro (Saggin-Júnior & Siqueira, 1996). Mudas dessa cultura devem ser inoculadas com isolados regionais de *Glomus etunicatum* selecionados ou com *Gigaspora margarita* que também ocorre em cafeeiros da região de Lavras-MG, cuja eficiência simbiótica foi demonstrada para essa cultura (Lopes, 1980).

A inoculação de mudas de cafeeiro resultou em aumento médio de produtividade de 60% nos três primeiros anos em diversos estudos de campo em áreas de cerrado em Minas Gerais, o que equivale a

7 sacas de 60 kg de café beneficiado ha⁻¹ ano⁻¹. Embora não se conheçam os custos exatos da inoculação nas condições brasileiras, o processo é economicamente viável (Moreira & Siqueira, 2002), pois considerando custos da ordem de US\$ 5,00 para cada mil mudas, as despesas com a inoculação representariam cerca de US\$ 12,50 ha⁻¹, no caso do cafeeiro no Brasil. Saggin-Júnior & Siqueira (1996) fornecem maiores informações sobre MAs em cafeeiro.

Independente da planta ser inoculada, o desempenho de diversos isolados fúngicos selecionados para inoculação deve ser avaliado sob diferentes níveis de fósforo porque quanto mais ampla for a faixa de fósforo no solo em que o fungo mantém a simbiose mutualista, maior é sua eficiência e seu potencial de uso. Essa eficiência pode ser estimada relacionando-se o benefício que o isolado promove à planta (benefício micorrízico) com o benefício que a planta não inoculada obtém da adição de fósforo (benefício do P). Os valores desses benefícios podem ser estimados pelo cálculo diferencial entre a curva de resposta ao P da planta com e sem o fungo (Saggin-Júnior & Siqueira, 1996).

Para culturas que não passam pelo viveiro, é importante considerar as práticas de consorciação de espécies (Osonubi et al., 1995) e rotação de culturas, nas quais espécies que não formam associações com FMA não devem preceder culturas altamente dependentes da associação e que não passam pela fase de viveiro, necessitando portanto dos propágulos nativos do solo para a colonização e produção.

Fixação Biológica de Nitrogênio em Leguminosas

Bactérias do grupo rizóbio são capazes de induzir a formação de nódulos nas raízes ou nos caules de grande parte das leguminosas nas quais se encontram colonizando as células dessas estruturas. Essa simbiose é resultado de uma intensa troca de sinais moleculares entre os dois parceiros caracterizando diferentes níveis de especificidade, ou seja, algumas leguminosas são noduladas por uma gama ampla de grupos de rizóbio e outras por poucos grupos (Schultze, 1994). O rizóbio possui um complexo enzimático, a nitrogenase, que é capaz de fixar o nitrogênio atmosférico (FBN). Normalmente só está plenamente ativo quando a bactéria se encontra dentro das células do nódulo, onde recebe esqueletos de carbono provenientes da fotossíntese. Em contrapartida, parte do nitrogênio fixado que se encontra sob a forma de amônia é disponibilizada para a planta, sendo inicialmente assimilada pela glutamina sintetase. Existem outras vias de assimilação da amônia, mas a maioria dos estudos tem mostrado que essa é a via mais freqüente.

Por causa da atividade de FBN efetuada pelo rizóbio, os tecidos da leguminosa costumam apresentar um maior teor de N em compostos do tipo aminoácidos e proteínas do que os de outras espécies vegetais (Watanabe et al., 1990). Graças a isso, as leguminosas configuram um recurso importante para a alimentação humana e animal. A produção de

grãos, como soja e feijão, é capaz de fornecer uma dieta adequada em proteínas para uma parte significativa da população mundial, em especial para aqueles que não têm acesso à proteína animal. As leguminosas representam um recurso importante também para os agroecossistemas, quer sob a forma de adubo verde e cobertura vegetal quer na forma de consórcios, para o enriquecimento de pastagens, por exemplo.

Nos ambientes tropicais, as perdas constantes de N por lixiviação tornam a FBN um processo cada vez mais importante. Talvez como estratégia para otimizar a atividade de FBN nessas regiões, as leguminosas se tornaram menos específicas em relação ao grupo/espécie de rizóbio, formando nódulos com uma grande variedade dessas bactérias e, como consequência, encontra-se nos solos tropicais uma alta diversidade de rizóbio. Nessas condições, nas áreas com solos férteis, regimes hídricos regulares, sem extremos de temperaturas, as populações nativas de rizóbio são geralmente capazes de garantir uma boa nodulação em que os níveis de FBN são suficientes para garantir o bom desenvolvimento vegetal.

Entretanto, existem condições de cultivo nas quais o uso de inoculantes rizobianos pode otimizar a contribuição da FBN para o crescimento vegetal, garantindo o estabelecimento de uma nodulação eficiente.

Espécies exóticas: a seleção de estirpes eficientes adaptadas às condições edafoclimáticas é essencial quando do cultivo de uma espécie exótica para a qual não existe população de rizóbio nativa capaz de garantir uma boa nodulação. Esse foi o caso da soja que ao ser introduzida no Brasil, na década de 50, apresentava uma nodulação pobre, resultando num fraco desempenho da cultura sob condições de FBN. Graças ao empenho dos pesquisadores, naquela época, foram selecionadas estirpes inoculantes da espécie *Bradyrhizobium elkanii*, que garantiram um rendimento elevado da cultura independente da adição de fertilizantes nitrogenados. Desde então, o inoculante rizobiano para a soja é amplamente utilizado no Brasil e, como consequência, as estirpes utilizadas estabeleceram-se nos solos brasileiros e passaram a ser dominantes nas áreas da cultura. Posteriormente, foram identificadas em condições experimentais estirpes de *B. japonicum* que eram mais eficientes do que as de *B. elkanii*, sendo capazes de proporcionar um desenvolvimento ainda melhor da cultura (Evans et al., 1985; Hungria et al., 1989; Neves et al., 1985). Porém, as estirpes eficientes de *B. japonicum*, quando utilizadas em experimentos de campo, não eram capazes de ocupar os sítios de nodulação nas raízes. Observou-se então que as estirpes previamente estabelecidas de *B. elkanii*, que agora estavam bem adaptadas às condições edafoclimáticas, eram fortes competidoras por esses sítios. Novos estudos foram realizados e resultaram na seleção de estirpes competitivas do mesmo sorogrupo daquelas identificadas como mais

eficientes. A formação de nódulos com essas estirpes tem garantido um aumento de produtividade para a cultura. Porém, para que isso seja mantido, torna-se necessário que a cada ano seja aplicado inoculante às sementes, de forma a aumentar a chance de sucesso de formação de nódulos pelas estirpes mais eficientes.

Áreas com baixa população de rizóbio: uma outra situação em que a inoculação anual é fundamental para aumentar os níveis de contribuição da FBN é aquela encontrada em áreas submetidas a períodos longos de estresse hídrico e altas temperaturas. Dentro do grupo do rizóbio tropical, tem sido relatada uma grande variabilidade quanto à habilidade de sobrevivência e crescimento frente a temperaturas adversamente altas (Martins et al., 1997; Hartel & Alexander, 1984; Boonkerd & Weaver, 1982). Ensaio em meio de cultura têm sido comumente utilizados na seleção de estirpes tolerantes a temperaturas elevadas. Em meio de cultura, 25% dos isolados de rizóbio de nódulos de caupi cultivado em solos do Nordeste foram capazes de crescer em temperaturas de até 42°C, o que sugere a adaptação dessas estirpes às condições de estresse térmico características da região (Xavier et al., 1997). Durante esses períodos, a população nativa de rizóbio costuma ser drasticamente reduzida. Esse é o caso do caupi ou feijão-de-corda que é cultivado em áreas de sequeiro de pequenos produtores e em áreas de agricultura de subsistência da região do Semi-Árido brasileiro. Nestas áreas são observados períodos de estiagem de cerca de 9 meses, sendo o

caupi cultivado logo após o início das primeiras chuvas que ocorrem durante os meses de dezembro a fevereiro. Foi observado que nessas condições a inoculação com rizóbios selecionados é capaz de promover aumento na produção de grãos de até 30% em relação aos tratamentos não inoculados (Martins et al., 1999a; 1999b). A inoculação do caupi está sendo testada com sucesso em áreas de pequeno produtor da Região Nordeste, contribuindo para o aumento da produção de grãos e melhoria nutricional da população de baixa renda.

Fixação Biológica de Nitrogênio em Gramíneas

Diferente da associação do rizóbio citado acima, as espécies de bactérias diazotróficas ditas associativas podem interagir de forma benéfica com diversas plantas. Os estudos começaram com a identificação de espécies associadas às plantas da família das gramíneas, especialmente cereais (Döbereiner & Day, 1975; Patriquin et al., 1978). Nessa interação de organismos não ocorre a formação dos nódulos citados anteriormente que são visíveis a olho nu. Essa associação planta/bactéria é considerada uma interação menos evoluída e pode se dar desde a rizosfera da planta até suas folhas. O maior número populacional encontra-se normalmente nas raízes, mas a superfície do tecido vegetal e interior da planta são colonizados por microrganismos que habitam os espaços intercelulares. Nesse caso a sua localização é feita pelo uso de técnicas de microscopia ótica e eletrônica.

Entre outros mecanismos celulares capazes de beneficiar a planta, esse grupo de bactérias também produz uma grande variedade de hormônios de crescimento vegetal e é capaz de aumentar a superfície de absorção das raízes, não só em comprimento mas também no número de pêlos radiculares, responsáveis pela absorção de nutrientes e água (Okon et al., 1988).

Em 1992, a presença desses organismos em amostras de colmos de cana-de-açúcar e sua contagem em números maiores de 10 mil células de tecido coletado deram início aos estudos em que o ponto alvo era a localização interna nas plantas avaliadas. A partir daí foi usado o termo endófito, isto é, bactéria localizada dentro do tecido vegetal. Esse termo baseou-se em trabalhos de outros grupos que não incluem bactérias diazotróficas. Döbereiner foi a primeira a usar esse termo para o caso desses microrganismos. Diversas espécies de bactérias diazotróficas possuem esse caráter. É o caso por exemplo do *Gluconacetobacter diazotrophicus*, do *Herbaspirillum* spp., e alguns isolados de *Azospirillum*, algumas espécies de *Burkholderia* spp. entre outros gêneros como *Azoarcus* spp., *Klebsiella* spp. etc. (maiores detalhes Baldani et al., 1997; Reis et al., 2000). Este grupo de organismos habita o tecido vegetal sem que a planta acione os seus genes de resistência, isto é, não causa sintomas de doenças bacterianas (Reis, 1994; Olivares et al., 1997; James et al., 1997). As principais vantagens que as bactérias diazotróficas teriam ao se beneficiar dessa localização nos espaços intercelulares seriam:

a) menor competitividade que no ambiente rizosférico; b) proteção contra o oxigênio que inativa a enzima responsável pelo processo de redução do N_2 atmosférico; c) íntimo contato com a célula vegetal que se beneficiaria diretamente do N fixado e dos hormônios excretados; d) menor amplitude dos efeitos ditos ambientais tais como estresses hídricos, químicos ou de temperatura.

Nessa interação, embora a diversidade populacional seja maior, a especificidade é menor ou nula. Isso significa que essas bactérias estão distribuídas nos vários ecossistemas. O desafio da pesquisa é buscar entender essa diversidade para obter bactérias mais eficientes e competitivas, visando ao caráter agrícola no qual se buscam alternativas de redução de custos com insumos sem a perda da produtividade. Com base nessa interação planta/bactéria, vários estudos mostraram efeitos positivos resultantes de uma inoculação de isolados de diversas espécies ou estes em mistura de bactérias diazotróficas associativas com fungos micorrízicos e mesmo com o rizóbio (Ferreira et al., 1987; Fallik et al., 1988; Fallik & Okon, 1996; Okon & Labandera-Gonzalez, 1994; Sumner, 1990; Didonet et al., 1996).

Invertebrados do Solo

Por muitos anos, na agricultura, os invertebrados do solo foram indesejáveis pelos efeitos danosos às culturas e pelos prejuízos econômicos que sua presença causava. Assim, eliminá-los era um dos principais objetivos do manejo do solo. Entretanto,

com a necessidade de preservação do meio ambiente e com a demanda da sociedade por alimentos mais saudáveis, os sistemas agrícolas “alternativos” com manejo integrado, como o sistema orgânico, plantio direto, agroflorestal, com baixo subsídio energético e grande enfoque no aumento da matéria orgânica do solo, cada vez mais dependem dos processos naturais e protegem a vida no solo e sua diversidade. Com o grande aporte de matéria orgânica vários grupos de invertebrados encontraram fonte de alimento e abrigo.

Em função disso, mais recentemente tem ocorrido considerável avanço dos estudos enfocando o papel de toda a comunidade de invertebrados no funcionamento do solo (Lavelle, 1996). Esses estudos têm demonstrado que a biodiversidade e a atividade biológica estão diretamente relacionadas às funções e características essenciais para a manutenção da capacidade produtiva dos solos. Assim, a fauna deve ser vista como um “recurso” a ser manejado (Lavelle et al., 1997), sendo necessário conhecer a comunidade de invertebrados do solo, avaliar suas funções e finalmente identificar as opções de manejo que possam otimizar suas atividades.

Microfauna

A microfauna compreende invertebrados de diâmetro do corpo inferior a 100 μm , incluindo os protozoários e nematóides que representam os mais abundantes entre os invertebrados do solo.

Os protozoários são unicelulares eucarióticos e são comumente e caracteristicamente associados com a camada superficial do solo, particularmente com a matéria orgânica em decomposição, sendo os principais consumidores de bactérias no solo (Lousier & Bamforth, 1990).

Os nematóides são organismos multicelulares. Aproximadamente 48% são parasitas de plantas e animais, assim são consumidores primários (fitófagos: herbívoros) e dependem das raízes das plantas de milho, soja e outras para nutrição e reprodução. Alguns trabalhos indicam que os adubos verdes têm ação supressora sobre os nematóides parasitas (Macguidwin & Layne, 1995; Crow et al., 1996). Outros de vida livre se alimentam de bactérias e fungos e são consumidores primários. Os predadores e onívoros são os consumidores terciários. Os microbívoros influenciam importantes processos mediados pelos fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico pelo hábito fungívoro e bacterívoro, respectivamente (Freckman & Baldwin, 1990).

Mesofauna

A mesofauna compreende, principalmente, os microartrópodos ácaros e colêmbolos, que apresentam o diâmetro do corpo menor que 2 mm.

Os ácaros são considerados os mais diversos artrópodos do solo, o que reflete na diversidade de habitat alimentar do grupo (Norton, 1990), e

despertam várias áreas de conhecimento do homem: saúde, agricultura, produtos armazenados, controle biológico e estética. Os ácaros do solo compreendem vários grupos: gamasina é um grupo de ácaros carnívoros, que captura pequenos artrópodos e nematóides; oribatida alimenta-se da matéria orgânica em decomposição e outros se alimentam de bactérias e fungo (Larink, 1998).

Os colêmbolos são predominantemente fungívoros, o que os torna abundantes em sistemas orgânicos, porque os resíduos de plantas e material orgânico são habitados por grandes quantidades de fungos, e também na rizosfera das plantas pela presença dos fungos micorrízicos e pela maior umidade e exudados das plantas (Larink, 1998). Vários autores têm demonstrado o maior aumento da população de colêmbolos em sistemas orgânicos (El Titi & Ipachu, 1989; Bettiol et al., 2002; Badejo et al., 1998).

Uma forma de expressar a dimensão dos invertebrados do solo, que não são facilmente visíveis a olho nu, é dada pela relação entre a cabeça de um alfinete e o esboço desses invertebrados (Fig. 3).

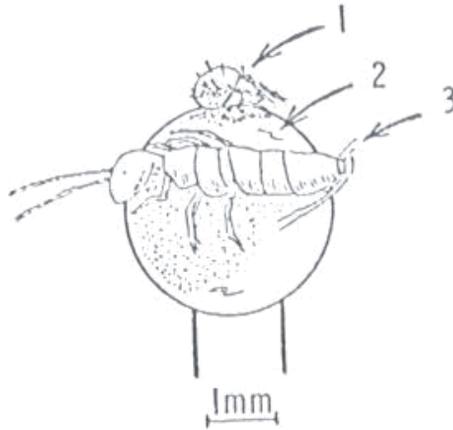


Fig. 3. Esboço de membros da micro e mesofauna do solo: 1) ácaro, 2) nematóide e 3) colêmbolo na cabeça de um alfinete.

Fonte: Adaptada de Hole (1981).

Macrofauna

A macrofauna do solo apresenta o diâmetro do corpo maior que 2 mm, inclui insetos, outros artrópodos e as minhocas (Oligochaeta). Os ácaros e colêmbolos, as formigas (Hymenoptera) e os cupins (Isoptera) estão entre os mais abundantes artrópodos dos trópicos úmidos, sendo importantes componentes detritívoros da cadeia trófica (Martius, 1997).

O desmatamento altera muito a diversidade tanto dos cupins, quanto das formigas: algumas espécies podem ser extintas naquele local, outras podem sequer ser afetadas e algumas podem se afetar e restabelecer suas atividades posteriormente.

Em pastagens os cupins são importantes para remoção das fezes dos animais. Entretanto, em pastagens degradadas a incidência de cupins de montículo é muito alta, principalmente nos cerrados brasileiros. As causas ainda não estão estabelecidas. Acredita-se que sejam favorecidos pela simbiose com os protozoários flagelados simbiontes em seu trato digestivo que decompõem a celulose. Além disso, têm outras estratégias de sobrevivência e assim competem eficientemente com outros e dominam a população da fauna do solo.

Também tem sido constatada, em sistemas de plantio direto (Aquino et al., 2000) e em sistemas orgânicos (Merlin et al., 2001), a explosão de cupins e formigas entre os componentes da macrofauna. Em sistemas orgânicos, além das formigas cortadeiras, tem sido verificada a ocorrência de outros grupos, mas muitos estudos ainda são necessários para entender a dinâmica desse grupo nesse sistema. Atualmente, as formigas são a única exceção para controle químico em sistema orgânico, o que reforça ainda mais a necessidade de estudar esses grupos.

Os insetos conhecidos como corós ou escarabeídeos da superfamília Scarabaeoidea, especialmente os melolontídeos, constituem um grupo com numerosas espécies, cuja biologia e identificação são pouco conhecidas na América do Sul (Gassen, 2000). Esse é um dos grupos cuja presença causa imediata apreensão aos agricultores, em função da ameaça de danos econômicos, quando ataca as raízes das plantas. A identificação é fundamental, pois esses insetos exercem diversos outros papéis funcionais,

com efeitos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, em função de sua movimentação vertical e horizontal, produção de bioagregados, galerias, bioporos, atuação na decomposição de matéria orgânica, consumo de material vegetal, etc.

Exemplo disso é o coró-da-palha, caracterizado como verdadeiro símbolo do plantio direto, pela adaptação às condições de lavouras, pela frequência elevada em que ocorre, pela ampla distribuição geográfica desde o Sul do Brasil até a Região Amazônica. Esse inseto, sem causar danos às plantas cultivadas, incorpora grande quantidade de palha ao mesmo tempo que deposita excrementos em galerias profundas, que podem variar entre 0,4 e 1,0 m (Gassen, 2002).

Outros artrópodos estão representados pelos Gastropoda (lesmas e caracóis), Chilopoda (centopéias), Isopoda (tatuzinho-de-jardim) e Diplopoda (gongolos), Arachnida (aranhas). Esses artrópodos são pouco abundantes em sistemas agrícolas convencionais e, provavelmente por isso, representam o grupo mais negligenciado da cadeia trófica dos decompositores. Os Gastropodas são herbívoros generalistas, alguns podem consumir fungos e matéria orgânica em decomposição. Os Isopodas são onívoros, mas exibem preferência por matéria vegetal em decomposição que já sofreu alguma degradação microbiana. A maioria dos Diplopodas se alimenta da matéria orgânica em decomposição. Os Chilopodas são predadores e se alimentam de pequenos artrópodos, nematóides, caracóis e minhocas. Esses artrópodos são muito suscetíveis e respondem rapidamente às práticas

agrícolas devido à grande mobilidade. Acredita-se que com o crescente aumento do uso das práticas agrícolas menos impactantes e mais sustentáveis, o conhecimento sobre esses grupos também aumente.

Já as minhocas (*Oligochaeta*) são os animais edáficos mais bem estudados por serem filogeneticamente muito antigos, pela sua ampla ocorrência e por estarem relacionados à fertilidade do solo. As minhocas são animais saprófagos e, de acordo com a sua estratégia alimentar, podem ser diferenciadas em dois grupos: detritófagas ou geófagas (Makeschin, 1998). As detritófagas podem ser epigeicas ou anécicas e se alimentam na ou próximo da superfície do solo. As geófagas são endogeicas, se alimentando de material mineral relativamente rico em matéria orgânica e de raízes em decomposição.

Em sistemas orgânicos as minhocas são os animais mais abundantes, provavelmente pela melhor qualidade e maior oferta de matéria orgânica (Lee, 1985; Edwards & Lofty, 1977; Barros et al., 2002). Entretanto, a espécie mais comumente encontrada tem sido a *Pontoscolex corethrurus*, conhecida como minhoca mansa (Aquino et al., 1998). Essa espécie, mais comum no Brasil de maneira geral, é geófaga e vive preferencialmente nos 15-20 cm superficiais, podendo ser encontrada a até 100 cm de profundidade na época seca (Righi, 1997).

Embora o aumento da densidade das minhocas seja desejável pela influência positiva sobre as

propriedades do solo, existem relatos de que a atividade exclusiva de *P. corethrurus* pode provocar severa compactação, em decorrência do acúmulo de suas fezes com poros de 10^2 a 10^4 nm em diâmetro na superfície do solo (Alegre et al., 1996), devendo o manejo voltar-se para o aumento da diversidade de todos os grupos da fauna do solo.

Papéis Ecológicos Desempenhados pelos Invertebrados do Solo

Decomposição da matéria orgânica: a função dos invertebrados é a fragmentação e o catabolismo primário dos resíduos orgânicos, além de representar também fonte de matéria orgânica secundária, por meio da defecação. As atividades de fragmentação, ingestão e defecação promovem o aumento da área superficial da matéria orgânica, normalmente mais de 15 vezes. A principal adaptação para esse papel parece ser morfológica, fisiológica e características comportamentais da alimentação e sistema digestivo, o que está muito relacionado com o tamanho.

Em contraste aos microrganismos, os animais se alimentam pela ingestão do alimento e por digestão extracelular, mas internamente em seu trato digestivo (Swift, 1979). Muitos invertebrados requerem que os resíduos sejam preparados para ingestão por meio da redução física. Há que considerar a fragmentação como a base para a atividade catabólica dos animais decompositores (Swift, 1979).

A matéria orgânica disponível para os saprófagos é considerada de baixo valor nutritivo, o que é compensado pela alta taxa de consumo (Brussard & Juma, 1996). Como a produção de fezes ocorre na mesma proporção que o consumo, porque a taxa de assimilação é muito baixa, a defecação é considerada quantitativamente a via de maior contribuição direta dos invertebrados no “turnover” da matéria orgânica no solo (Martin & Marinissen, 1993) (Fig. 4).

Considerando que as fezes dos invertebrados do solo têm importante papel na estabilidade da fração leve da matéria orgânica, que representa a matéria orgânica que está entrando no solo, uma hipótese seria a de que o manejo o qual favorece a sua atividade poderia ter uma ação mitigadora do efeito estufa.

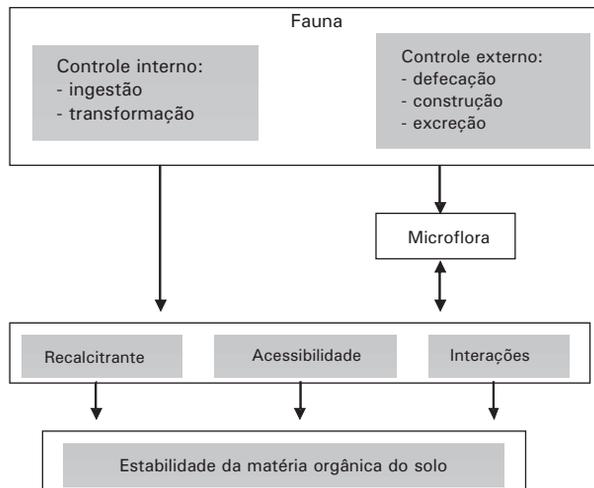


Fig. 4. Representação esquemática do controle direto e indireto da estabilidade da matéria orgânica pelos invertebrados do solo.

Fonte: Adaptada de Wolters (2000).

Predação: consiste na interação entre espécies em que uma população (o predador) afeta adversamente a outra população (a presa) por meio de um ataque direto. Esse processo é fundamental no contexto da agricultura agroecológica em que a ação da fauna predadora regula a biomassa dos organismos do solo e mantém a biodiversidade, prevenindo a dominância de determinados grupos. Participam desse processo: a) os micropredadores, protozoários e nematóides que utilizam as bactérias e fungos como fonte de alimento e assim podem controlar indiretamente o processo de decomposição; b) os macropredadores: aranhas, coleópteros, díptera, formigas e outros que ajudam a manter os insetos herbívoros a uma baixa densidade, de forma que não destroem o seu próprio suprimento de alimentos e habitat.

Bioturbação: esse processo é muito influenciado pelos componentes da macrofauna do solo como as minhocas, cupins e algumas formigas, que são conhecidos como “engenheiros do ecossistema”. As minhocas, por exemplo, podem revirar de 300 kg a 1 t.ha⁻¹ por ano de terra (Lee, 1985). Esses animais criam canais, poros, agregados e montículos, que afetam substancialmente o ambiente para os outros organismos, e influenciam o transporte de água e gases no solo.

Bioindicação: até recentemente existiam poucos relatos sobre o uso de bioindicadores de qualidade do solo (Linden et al., 1999), mas o crescente interesse por agricultura e desenvolvimento sustentáveis tem resultado em recentes estudos da

fauna do solo como bioindicadora. Devido a diferentes funções dos grupos da micro, meso e macrofauna, cada um desses grupos ou organismos dentro de cada grupo pode servir como indicador da qualidade do solo, dependendo do papel funcional de interesse. A importância da fauna do solo como bioindicadora é uma sugestão que ainda está sendo construída. Muito ainda é necessário conhecer para sua efetiva utilização com esse objetivo.

Referências Bibliográficas

ALEGRE, J.; PASHANASI, B.; LAVELLE, P. Dynamics of soil physical properties in a low input agricultural system inoculated with the earthworm *Pontoscolex corethurus* in Peruvian Amazonia. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 1522-1529, 1996.

ANDERSON, J. P. E. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Method of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1982. p. 831-871.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology and Fertility of Soils**, v. 1, p. 81-89, 1985.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.

ANDERSON, T. -H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 251-255, 1990.

AQUINO, A. M.; MERLIM, A. O.; CORREIA, M. E. F.; MERCANTE, F. M. Diversidade da macrofauna do solo como indicadora de sistemas de plantio direto para a região Oeste do Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria. **Biodinâmica do solo: resumos...** Santa Maria: SBCS, SBM, 2000. CD-ROM. FERTBIO 2000.

AQUINO, A. M. de; DE-POLLI, H.; RICCI, M. S. F. Estudos preliminares sobre a população de minhocas (Oligochaeta) e biomassa microbiana do solo na transição de café sob manejo convencional para orgânico. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., 1998, Caxambu. **Resumos...** Lavras: UFLA; SBCS; SBM, 1998. p. 403. FERTBIO 98.

BADEJO, M. A.; AQUINO, A. M. de; ALMEIDA, D. L. de; CORREIA, M. E. F. Preliminary investigations on microarthropods in different agroecosystems under organic management. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., 1998, Caxambu. **Resumos...** Lavras: UFLA / SBCS / SBM, 1998. p. 401. FERTBIO 98.

BALDANI, J. I.; CARUSO, L. V.; BALDANI, V. L. D.; GOI, S. R.; DOBEREINER, J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, p. 911-922, 1997.

BARROS, E.; PASHANASI, B.; CONSTANTINO, R.; LAVELLE, P. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. **Biology and Fertility and Soils**, v. 35, p. 338-347, 2002.

BETTIOL, W.; GHINI, R.; GALVÃO, J. A. H.; LIGO, M. A. V.; MINEIRO, L. de C. Soil organismos in organic and conventional cropping systems. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 3, p. 565-572, 2002.

BEZERRA, F. E. A. Biomassa microbiana, atividade celulolítica e alguns atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob cobertura viva de leguminosa herbáceas perenes. Seropédica: UFRRJ, 2002. 98 p. Tese de Mestrado.

BOONKERD, N.; WEAVER, R. W. Survival of cowpea rhizobia in soil as affected by soil temperature and moisture. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 43, p. 585-589, 1982.

BRANZANTI, B.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. Influence of phosphate fertilization on the growth and nutrient status of micropropagated apple infected with endomycorrhizal fungi during the weaning stage. **Agronomie**, Paris, v. 12, p. 841-845, 1992.

BRUSSARD, L. Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. **Ambio**, v. 26, n. 8, p. 563-570, 1997.

BRUSSARD, L.; JUMA, N. G. Organisms and humus in soils. In: PICCOLO, A. (Ed.). **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 329-359.

CROW, W. T.; GUERTAL, .A.; RODRIGUEZ-KABANA, R. Responses of *Meloydogine arenaria* and *M. incognita* to green manures and supplementatl urea in glasshouse culture. **Journal of Nematology**, v. 28, p. 648-654, 1996.

DECLERCK, S.; PLENCHETTE, C.; STRULLU, D. C. G. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acumiata*, AAA group) cultivar. **Plant and Soil**, v. 176, n. 2, p. 183-87, 1995.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 389-411.

DE-POLLI, H.; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GUERRA, J. G. M. Determinação da biomassa microbiana do solo: avanços e limitações. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria. **Biodinâmica do solo...** Santa Maria: SBCS; SBM, 2000. 14 p. FERTBIO 2000.

DIDONET, A. D.; RODRIGUES, O.; KENNER, M. H. Acúmulo de nitrogênio e de massa seca em plantas de trigo inoculadas com *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 9, p. 645-651, 1996.

DÖBEREINER, J. History and new perspective of diazotrophs in association with non-leguminous plants. **Symbiosis**, v. 13, p. 1-13, 1992a.

DÖBEREINER, J. The genera *Azospirillum* and *Herbaspirillum*. In: BALOWS, A.; TRUPER, H. G.; DWORKIN, M.; HARDER, W.; SCHLEIFER, K. H. (Ed.). **The prokaryotes**. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 1992b. v. 3. p. 2236-2253.

DÖBEREINER, J. M.; DAY, J. M. Nitrogen fixation in the rhizosphere of tropical grasses. In: STEWART, W. D. P. (Ed). Nitrogen fixation by free-living microorganisms. Cambridge: Cambridge University, 1975. p. 39-56. (International Biological Programme, 6).

EDWARDS, C. A.; LOFTY, J. R. **Biology of Earthworms**. New York: John Wiley, 1977. 333 p.

EL TITI, A.; IPACH, U. Soil fauna in sustainable agriculture: results of an integrated farming system at Lautenbach, F. R. G. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 27, p. 561-572, 1989.

EVANS, H. J.; HANUS, F. J.; HAUGLAND, R. A.; CANTRELL, M. A.; XU, L. S.; RUSSEL, F. J.; LAMBERT, G. R.; HARKER, A. R. Hydrogen recycling in nodules affects nitrogen fixation and growth of soybeans. In: SHIBLES, R. (Ed.). **World Soybean Research Conference III**. Boulder: Westview, 1985. p. 935-942.

FALLIK, E.; OKON, Y.; FISHER, M. Growth response of maize roots to *Azospirillum* inoculation: effect of organic matter content, number of rhizosphere bacteria and timing of inoculation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, n. 1, p. 45-49, 1988.

FALLIK, J.; OKON, Y. The response of maize (*Zea mays*) to *Azospirillum* inoculation in various types of soils in the field. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 12, p. 511-515, 1996.

FERREIRA, E. P. B. Impactos de manejo de solo e de rotação de culturas sobre a funcionalidade e a diversidade da microbiota do solo. Seropédica: UFRRJ, 2000. 119 p. Tese de Mestrado.

FERREIRA, M. C. B.; FERNANDES, M. S.; DOBEREINER, J. Role of *Azospirillum brasilense* nitrate reductase in nitrate assimilation by wheat plants. **Biology and Fertility of Soils**, v. 4, n. 1, p. 47-53, 1987.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, E. M. R. da ; FARIA, S. M. de. Revegetação de solos degradados. Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 1992. 8 p. (EMBRAPA-CNPBS. Comunicado Técnico, 9).

FRECKMAN, D.; BALDWIN, J. G. Nematoda. In: DINDAL, D., ed. **Soil biology guide**. New York: John Wiley, 1990. p. 155-200.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da. Biomassa-C microbiana de solos de Itaguaí: comparação entre os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração. Seropédica: UFRRJ, 1992. 108 p. Dissertação de Mestrado.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da; DE-POLLI, H. Biomassa na ciclagem de nutrientes. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria. **Biodinâmica do solo...** Santa Maria: SBCS, SBM, 2000. 14 p. FERTBIO 2000.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. Revista Brasileira de **Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 361-365, 1997.

GARCIA, C.; ROLDAN, A.; HERNANDEZ, T. Changes in microbial activity after abandonment of cultivation in a semiarid Mediterranean environment. **Journal of Environmental Quality**, v. 26, p. 285-291, 1997.

GASSEN, D. N. **Identificação de larvas de corós encontradas em plantio direto**. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/pragas/coro.htm>. Acesso em: 17 dez. 2002.

GASSEN, D. N. Os escarabeídeos na fertilidade de solo sob plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria. **Biodinâmica do solo: palestra...** Santa Maria: SBCS, SBM, 2000. 1 CD-ROM. FERTBIO 2000.

GIANINAZZI, S.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; TROUVELOT, A. Que peut on attendre des mycorhizes dans la production des arbres fruitiers. **Fruits**, v. 41, p. 553-556, 1985.

GONÇALVES, A. S.; MONTEIRO, M. T.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana em amostras de solos secadas ao ar e reumedecidas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 651-658, 2002.

GUERRA, J. G. M.; FONSECA, M. C. da; ALMEIDA, D. L. de; DE-POLLI, H.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens* Stapf. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 543-551, 1995.

HARLEY, J. L.; SMITH, S. E. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic, 1983. 483 p.

HARLEY, J. L. The significance of mycorrhiza. **Mycologia**, v. 92, n. 2 , p. 129-139, 1989.

HARTEL, P. G.; ALEXANDER, M. Temperature and desiccation tolerance of cowpea rhizobia. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 30, p. 820-823, 1984.

HOLE, F. D. Effects of animals on soil. **Geoderma**, v. 25, p. 75-112, 1981.

HUNGRIA, M.; NEVES, M. C. P.; DÖBEREINER, J. Relative efficiency, ureide transport and harvest index in soybeans inoculated with isogenic HUP mutants of *Bradyrhizobium japonicum*. **Biology and Fertility of Soils**, v. 7, n. 4, p. 325-329, 1989.

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, v. 15, p. 177-188, 1988.

JAMES, E. K.; OLIVARES, F. L.; BALDANI, J. I.; DÖBEREINER, J. *Herbaspirillum*, an endophytic diazotroph colonizing vascular tissue in leaves of *Sorghum bicolor* L. Moench. **Journal of Experimental Botany**, v. 48, n. 308, p. 785-797, 1997.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: Measurement and Turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N., ed. **Soil Biochemistry**, Marcel Dekker, 1981. v. 5, p. 415-471.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. Method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 209-213, 1976.

JENKINSON, D. S.; RAYNER, J. H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. **Soil Science**, v. 123, n. 4, p. 298-305, 1977.

LARINK, O. Springtails and Mites: important knots in the food web of soils. In: BENCKISER, G. (Ed.). **Fauna in soil Ecosystems: recycling processes, nutrient fluxes, and agriculture production**. New York: Marcel Dekker, 1998. p. 225-263.

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**, v. 33, p. 3-16, 1996.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O. W.; DHILLION, S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, v. 33, n. 4, p. 159-193, 1997.

LEE, K. E. **Earthworms their ecology and relationships with soils and land use**. Canberra: Academic, 1985. 411 p.

LINDEN, D.; HENDRIX, P. F.; COLEMNA, D. C.; VAN VLIET, P. C. J. Faunal Indicators of Soil Quality. **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment**, 1999.

LOPES, E. S. **Eficiência e especificidade das associações micorrízicas do tipo vesicular-arbuscular em gramíneas e leguminosas forrageiras e no cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. Piracicaba: ESALQ, USP, 1980. 111 p. Tese de Doutorado.

LOUSIER, J. D.; BAMFORTH, S. S. Soil Protozoa. In: DINDAL, D. (Ed.). **Soil Biology Guide**. New York: John Wiley, 1990. p. 97-136.

LOVATO, P. E.; TROUVELOT, A.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. Micorrização de plantas micropropagadas. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1996. p. 175-201.

MACGUIDWIN, A. E; LAYNE, T. L. Response of nematoda communities to sudangrass and sorghum-sudangrass hybrids grown as green manure crops. **Journal of Nematology**, v. 27, p. 609-616, 1995.

MAKESCHIN, F. Earthworms (Lumbricidade: Oligochaeta): important promoters of soil development and soil fertility. In: BENCKISER, G. (Ed.). **Fauna in soil Ecosystems: Recycling Processes, Nutrient Fluxes, and Agriculture Production**. New York: Marcel Dekker, 1998. p. 173-223.

MARTIN, A.; MARINISSEN, J. C. Y. Biological and physico-chemical process in excrements of soil animals. **Geoderma**, v. 56, p. 331-347, 1993.

MARTINS, L. M. V.; NEVES, M. C. P.; RUMJANEK, N. G. Growth characteristics and symbiotic efficiency of rhizobia isolated from cowpea nodules of the north-east region of Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5/6, p. 1005-1010, 1997.

MARTINS, L. M. V.; RIBEIRO, J. R. A.; XAVIER, G. R.; MORGADO, L. B.; RUMJANEK, N. G. Identificação de nódulos de feijão caupi (*Vigna unguiculata*) pelo método de ELISA em área dependente de chuva do nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA, 20., 1999, Salvador. **Resumos...** Salvador: Sociedade Brasileira de Microbiologia, 1999a. p. 301. Resumo MS-073.

MARTINS, L. M. V.; RIBEIRO, J. R. A.; XAVIER, G. R.; MORGADO, L. B.; RUMJANEK, N. G. Estudo da ocupação de nódulos de caupi (*Vigna unguiculata*) inoculado com a estirpe 8-a-5 em área irrigada do sertão de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA, 20., 1999, Salvador. **Resumos...** Salvador: Sociedade Brasileira de Microbiologia, 1999b. p. 304. Resumo MS-085.

MARTIUS, C. The Termites. **Ecological Studies**, v. 126, p. 362-371, 1997.

MATOS, R. M. B.; SILVA, E. M. R. Plants of pineapple arbuscular mycorrhizal fungi in micropropagated pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) Cultivar Pérola. **Fruits**, v. 51, p. 115-119, 1996.

MERLIN, A. de O.; AQUINO, A. M. de; GUERRA, J. G. M. Fauna do solo em diferentes coberturas vivas no cultivo de figo orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Ciência do solo: fator de produtividade competitiva com sustentabilidade. Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2001. 1 CD-ROM.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 625 p.

NEVES, M. C. P.; DIDONET, A. D.; DUQUE, F. F.; DÖBEREINER, J. *Rhizobium* strain effects on nitrogen transport and distribution in soybeans. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 36, n. 169, p. 1179-1192, 1985.

NORTON, R. Acarina. In: DINDAL, D., ed. **Soil biology guide**. New York: John Wiley, 1990. p. 779-803.

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C. A. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, p. 1591-1601, 1994.

OKON, Y.; FALLIK, E.; SARIG, S.; YAHALOM, E.; TAL, S. Plant growth promoting effects of *Azospirillum*. In: BOTHE, H.; DE BRUIJN, F. J.; NEWTON, W. E., ed. **Nitrogen fixation: hundred years after**. Stuttgart: Gustav Fischer, 1988. p. 741-748.

OLIVARES, F. L.; JAMES, E. K.; BALDANI, J. I.; DOBEREINER, J. Infection of mottled stripe disease-susceptible and resistant varieties of sugar cane by endophytic diazotroph *Herbaspirillum*. **New Phytologist**, Oxford, v. 135, p. 723-737, 1997.

OSONUBI, O.; ATAYESE, M. O.; MULONGOY, K. The effect of vesicular- arbuscular mycorrhizal inoculation on nutrient uptake and yield of alley cropped cassava in a degraded Alfisol of Southwestern Nigeria. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 20, p. 70-76, 1995.

PARKINSON, D.; COLEMAN, D. C. Methods for assessing soil microbial populations, activity and biomass-Microbial communities, activity and biomass. *Agriculture Ecosystems and Environmental*, Amsterdam, v. 34, p. 3-33, 1991.

PATRIQUIN, D. G.; MACKINNON, J. C.; WILKE, K. I. Seasonal patterns of denitrification and leaf nitrate reductase activity a corn field. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 58, p. 283-285, 1978.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. *Soil microbiology and biochemistry*. 2. ed. San Diego: Academic, 1996. 340 p.

PIMENTEL, M. S. Atributos microbianos e edáficos em produção orgânica de olerícolas comparado com pasto e fragmento de mata secundária. Seropédica, RJ: UFRRJ, 2001. 142 p. Dissertação de Mestrado.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 2, p. 159-164, 1987.

RAVOLANIRINA, F.; GIANINAZZI, S.; TROUVELOT, A.; CARRÉ, M. Production of endomycorrhizal explants of micropropagated grapevine rootstocks. *Agriculture Ecosystems and Environmental*, Amsterdam, v. 29, n. 1, p. 323-327, 1989.

REIS, V. M. Estudos de infecção e métodos de detecção da bactéria endófito *Acetobacter diazotrophicans* em associação com a cana-de-açúcar. Itaguaí, RJ: UFRRJ, 1994. 213 p. Tese de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo.

REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D.; DÖBEREINER, J. Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm trees. **Critical Review in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 19, p. 227-247, 2000.

RIGHI, G. Minhocas da América Latina: diversidade, função e valor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais: palestra**. Rio de Janeiro, RJ: 1997. 1 CD-ROM.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J. O., ed. *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras, MG: UFLA/DCS/DCF, 1996. p. 203-254.

SCHULTZE, M.; KONDOROSI, E.; RATET, P.; BUIRÉ, M.; KONDOROSI, A. Cell and molecular biology of *Rhizobium* – plant interactions. **International Review Cytology**, New York, v. 156, p. 1-75, 1994.

SCHÜßLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. **Mycological Research**, Cambridge, v. 105, p. 1413-1421, 2001.

SIEVERDING, E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Eschborn: GTZ, 1991. 371 p.

SOUZA, F. A.; SILVA, E. M. R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J. O., ed. **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, 1996. p. 175-201.

STOYAN, H.; DE-POLLI, H.; BOHM, S.; ROBERTSON, G. P.; PAUL, E. A. Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at the plant scale. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 222, p. 203-214, 2000.

SUMNER, M. E. Crop responses to *Azospirillum* inoculation. **Advances in Soil Science**, New York, v. 12, p. 54-123, 1990.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford: Blackwell, 1979. 372 p. (Studies in Ecology, 5).

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A., ed. **Methods of soil analysis**: microbiological and biochemical properties. Madison: SSSA, 1994. p. 775-883. (Soil Science Society of America. Series, 5).

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 329-335, 1988.

TRAPPE, J. M. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. In: SAFIR, G. R., ed. *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants*. Boca Raton: CRC, 1987. p. 6-25.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VESTBERG, M. Arbuscular mycorrhizal inoculation of micropropagated strawberry and field observations in Finland. **Agronomie**, v. 12, p. 865-867, 1992.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Reviews**, Cambridge, v. 67, p. 321-358, 1992.

WARDLE, D. A. Changes in the microbial biomass and metabolic quotient during leaf litter succession in some New Zealand forest and scrubland ecosystem. **Functionally Ecology**, v. 7, n. 3, p. 346-355, 1993.

WATANABE, I.; CHIU, C.; YOSHIDA, T. Estimation of N₂ fixation in soybean and cowpea by using soil residual ¹⁵N. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 36, n. 3, p. 375-381, 1990.

WOLTERS, V. Invertebrate control of soil organic matter stability. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 31, p. 1-19, 2000.

XAVIER, G. R.; MARTINS, L. M. V.; NEVES, M. C. P.; RUMJANEK, N. G. Heat tolerant strains of cowpea rhizobia isolated from the North-East region of Brazil. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE BIOQUÍMICA E BIOLOGIA MOLECULAR, 26., 1997, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: Sociedade Brasileira de Bioquímica e Biologia Molecular, 1997. p. 49.

Capítulo 5

Dinâmica de Nutrientes com Ênfase para as Condições de Solos do Estado do Acre

Paulo Guilherme Salvador Wadt
José Ribamar Torres da Silva
Sérvulo Casas Furtado

Nitrogênio

Os ciclos do nitrogênio, do carbono e do oxigênio constituem os processos químicos mais importantes para a sustentação da vida no planeta. Embora represente somente uma fração do ciclo total do nitrogênio na natureza, o nitrogênio do solo é o responsável pelo controle da disponibilidade deste elemento, tão necessário ao crescimento vegetal.

O ciclo do nitrogênio é governado por numerosos processos, a maioria de caráter biológico, sendo a fixação biológica uma das principais responsáveis pelo aporte de nitrogênio em formas disponíveis às plantas e outros organismos autotróficos. As plantas absorvem nitrogênio do solo nas formas químicas de nitrato (NO_3^-) e de amônio (NH_4^+), os quais são utilizados na síntese protéica e de outros compostos orgânicos.

Existem poucos estudos sobre o conteúdo de nitrogênio nos solos acreanos. Contudo, com base em informações derivadas de outras regiões semelhantes na América Latina, podem-se estabelecer modelos que expressem a dinâmica desse elemento.

Em regiões tropicais de alta precipitação pluviométrica e sujeitas a um grande número de descargas elétricas, o aporte de nitrogênio adicionado ao solo por meio das chuvas pode variar de 10 a 70 kg ha⁻¹ ano⁻¹, em condições favoráveis.

Da mesma forma, temperaturas elevadas (25°C a 35°C), aliadas à ausência de déficit hídrico e à presença de formações florestais com alta diversidade, podem favorecer os processos biológicos de fixação de nitrogênio, tanto por meio de bactérias simbióticas como por aquelas de vida livre. A capacidade de fixação simbiótica de nitrogênio pelas muitas leguminosas, em monocultivo, pode alcançar valores que variam entre 20 a 250 kg ha⁻¹. Nas condições de solo e clima do Estado do Acre, o excesso de umidade em alguns locais, devido à conjunção de má drenagem natural do solo com elevada precipitação, pode contribuir para inibir esse processo. Entretanto, o processo de fixação biológica de nitrogênio associado aos microorganismos de vida livre pode ainda contribuir, em casos especiais, para uma fixação de nitrogênio da ordem de até 100 kg ha⁻¹. Esses processos não ocorrem simultaneamente e de forma aditiva, podendo haver antagonismo ou concorrência entre eles. Assim, é de se esperar, no cômputo geral, que as entradas de nitrogênio no sistema sejam da ordem de 70 a 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Os maiores valores são esperados nas áreas de cobertura florestal nativa, embora possam também ser obtidos em áreas de pastagens consorciadas com leguminosas ou em sistemas de rotação de culturas com leguminosas cultivadas como adubação verde. Nas áreas agrícolas, manejadas de forma convencional e nas pastagens solteiras, provavelmente estes processos sejam menos intensos, o que poderia inclusive contribuir para agravar o saldo negativo do balanço de nitrogênio no sistema.

Naqueles solos do Estado do Acre que apresentam elevada capacidade de troca catiônica e drenagem deficiente, provavelmente, as perdas de nitrogênio por lixiviação serão pequenas e, haverá ainda maior facilidade de retenção do nitrogênio, principalmente daquele presente na forma amoniacal.

Infelizmente, os estudos visando compreender a dinâmica do ciclo do nitrogênio nos solos do sudoeste amazônico ainda são escassos e inferências mais precisas não podem ser realizadas. É possível, por exemplo, que os solos dessa região apresentem uma importante reserva de nitrogênio amoniacal trocável.

De forma prática, porém, prevê-se para o manejo desses solos maior oferta de nitrogênio nos sistemas recém-desmatados, quando o solo apresenta valores para a CTC elevados e, principalmente, nos locais de maior precipitação. A presença de leguminosas, em rotação ou consórcio, também pode contribuir de forma significativa para a oferta de nitrogênio no sistema.

Formas de Nitrogênio nos Solos

Nos solos da América Latina tem sido comum encontrar maiores teores de nitrogênio nas regiões andinas e seu entorno, já que as cinzas vulcânicas favorecem o rejuvenescimento destes solos e possibilitam a formação de complexos organominerais que estabilizam o nitrogênio e protegem as substâncias nitrogenadas da mineralização e da

solubilização. Além disso, esses solos tendem a apresentar maior capacidade de troca catiônica (CTC), favorecendo a retenção das formas amoniacais de nitrogênio. Por outro lado, nos solos intemperizados da região central do Brasil, a acumulação de matéria orgânica e nitrogênio tende a ser muito superficial, com as árvores apresentando um sistema radicular pouco profundo. Os solos do Estado do Acre são conhecidos por apresentarem uma condição intermediária, sendo formados sobre material de origem sedimentar, porém, com indícios de influência de material vulcânico.

No solo, o nitrogênio pode se apresentar sob a forma de compostos orgânicos (proteínas, ácidos nucleicos, açúcares aminados, complexos lignina-amônia) e inorgânicos (amônia fixado, amônia trocável, nitrato e outras formas inorgânicas). As formas orgânicas constituem de 85% a 95% do nitrogênio do solo e entre elas os aminoácidos e proteínas destacam-se como a principal fração desse nutriente.

Nas formas inorgânicas o nitrogênio encontra-se como óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2), amônia (NH_3), amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), e normalmente compreende entre 5% e 15% do total de nitrogênio do solo, sendo menor a proporção das formas inorgânicas em solos de regiões úmidas ou sobre solos de origem vulcânica. O amônio pode estar na solução do solo, em equilíbrio com a amônia em quantidades mínimas e quase não-detectáveis, fixado pelos minerais de argila ou na forma trocável,

que normalmente não ultrapassa 2% do total de nitrogênio do solo. Em solos de maior capacidade de troca catiônica (CTC), contudo, essa quantidade pode implicar numa reserva de nitrogênio de aproximadamente 120 kg ha^{-1} , possibilitando a liberação lenta desse nutriente para as plantas e minimizando as perdas por lixiviação.

Dada a grande contribuição das formas orgânicas para determinar o estoque de nitrogênio no solo, a relação carbono/nitrogênio (C/N) do solo é utilizada para caracterizar as relações no nitrogênio com a matéria orgânica. A grande maioria dos solos apresenta relações C/N entre 8 e 14, sendo os menores valores nos solos onde a contribuição do nitrogênio inorgânico para o total de nitrogênio é maior.

Processos de Mineralização e Imobilização

O nitrogênio orgânico ocupa uma posição chave dentro do ciclo de nitrogênio na natureza (Fig. 1).

O nitrogênio acumula-se no solo por meio de dois processos principais: pela deposição de restos animais e de vegetais e pela fixação microbiana. Outros processos de adição de nitrogênio ao solo são a fixação industrial e a atmosférica.

A mineralização do nitrogênio consiste em uma série de processos pelos quais os componentes orgânicos (restos de animais e vegetais) recém-incorporados ao solo transformam-se pela atividade microbiana

em formas inorgânicas nitrogenadas, tais como NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^- . Os principais processos da mineralização consistem na amonificação (transformação dos compostos orgânicos nitrogenados até a forma de NH_4^+) e na nitrificação (transformação do NH_4^+ em nitratos, passando previamente pela forma de nitrito). O processo inverso à mineralização é a imobilização, que consiste em incorporar ou imobilizar as formas inorgânicas do nitrogênio em compostos orgânicos nitrogenados.

A amonificação consiste na depolimerização, por ação de enzimas proteolíticas, das proteínas, ácidos nucléicos e outros compostos orgânicos nitrogenados, os quais são decompostos em peptonas, polipeptídios e aminoácidos.

Os aminoácidos resultantes podem ser: a) metabolizados por organismos (imobilização); b) adsorvidos por argilas, formando complexos organo-minerais; c) incorporados na fração húmica do solo; d) utilizados pelas plantas; e) mineralizados até se transformarem em amônio, no processo denominado amonificação dos aminoácidos.

A amonificação dos aminoácidos é realizada bioquimicamente por meio de processos de desaminação e descarboxilação, ativados pelas enzimas desaminases e descarboxilases. A desaminação produz, além do NH_3 , ácidos graxos, compostos aromáticos e derivados. A descarboxilação resulta na produção, junto com o NH_3 , de aminas metiladas (putrescina e cadaverina).

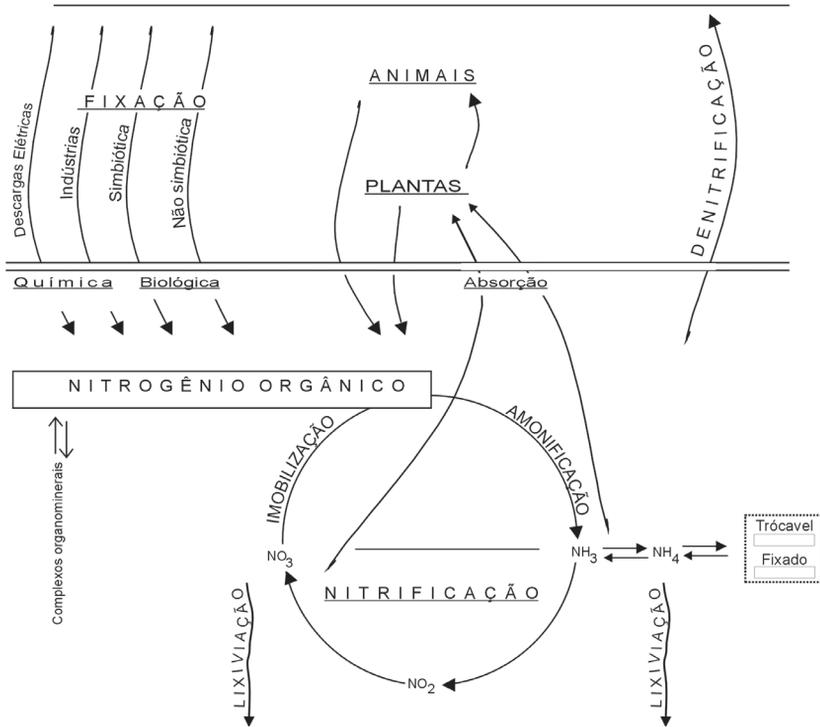


Fig. 1. Ciclo biogeoquímico do nitrogênio na natureza. Fonte: Adaptada de Fassbender (1984).

Sob condições de clima temperado, estima-se que somente 1% a 2% do nitrogênio total do solo é mineralizado anualmente, principalmente em razão da estabilidade dos compostos nitrogenados. Em regiões de clima quente, espera-se que a taxa de mineralização anual seja superior a esses valores considerando apenas o favorecimento da atividade microbiana pelo aumento da temperatura. Contudo,

na prática, taxas maiores podem não se verificar necessariamente, pelo fato de que, principalmente na fração húmica, os compostos orgânicos nitrogenados apresentam-se na forma de polímeros de composição heterogênea, formados por aminoácidos e polifenóis em enlaces tridimensionais que lhes conferem grande estabilidade, ainda mais porque o ataque enzimático produzido pelos microorganismos e bactérias do solo somente pode ocorrer na superfície dessas macromoléculas. Adicionalmente, a formação dos complexos organo-minerais aumentam a estabilidade dessas moléculas que se situam dentro de microporos com diâmetro inferior a 1 μm , onde não podem ser atacadas pelos microorganismos. O revolvimento do solo, o uso do fogo e as operações agrícolas em geral tendem a expor uma maior quantidade desses compostos ao ataque microbiano, o que em longo prazo pode conduzir a uma importante perda da fertilidade natural do solo.

O amônio resultante da amonificação pode ser: 1) absorvido pelas plantas; 2) adsorvido por minerais argilosos ou pela matéria orgânica do solo; 3) fixado por minerais 2:1 não expansíveis; 4) imobilizado por microorganismos; 5) lixiviado através do solo; 6) oxidado até a forma de nitratos – nitrificação.

O amônio do solo, seja aquele resultante dos processos de amonificação do nitrogênio orgânico, ou então aplicado na forma de fertilizantes, é oxidado no solo a nitrato, passando antes pela forma de nitrito. A transformação do amônio em nitrito e depois nitrato é chamada de nitrificação e todo o

processo é controlado por bactérias do solo. As transformações do amônio a nitrito e deste a nitrato ocorrem ao mesmo tempo e à mesma velocidade, de modo que não há acumulação de nitrito no solo. Entretanto, a acumulação de NH_4^+ é possível sob condições de inundação ou baixa aeração.

As condições ótimas para a nitrificação são temperaturas entre 25°C e 35°C, pH ligeiramente ácido e média umidade. Sob condições redutoras, a nitrificação será completamente inibida. Normalmente, o clima apresenta grande efeito sobre os teores de nitrato, não apresentando, todavia, efeitos sobre os teores de amônio. Em regiões com uma estação seca bem definida, as flutuações no teor de nitrato no solo estão normalmente associadas à intensificação do processo de nitrificação que acontece no início do período de maior precipitação, ocorrendo tanto em solos descobertos como em solos sob cultivo. Outros processos podem estar relacionados ao maior acúmulo de nitratos, como o aumento de N-nitrificável nos períodos secos, o qual se converte rapidamente a nitrato no início das chuvas pela maior atividade microbiana; à ascensão capilar de nitrato do subsolo; ou à maior exposição dos complexos organo-minerais do solo após ciclos sucessivos de umedecimento e secagem.

O conhecimento dos processos que levam ao acúmulo de nitrato é importante para se obter maiores produções agrícolas, coordenar a aplicação de fertilizantes nitrogenados, evitar sua lixiviação e elaborar sistemas de manejo dos solos para regular esse fenômeno.

Processos de Perdas de Nitrogênio do Solo

Os processos de perdas de nitrogênio do solo são aqueles relacionados à lixiviação do nitrato e do amônio para camadas profundas do perfil do solo, ou para o lençol freático, e às perdas para a atmosfera (denitrificação e volatilização).

As perdas por lixiviação de nitrogênio na forma de nitrato são maiores em solos bem drenados e de baixa capacidade de troca aniônica. O nitrato pode ser lixiviado, acompanhando cátions alcalinos e alcalinos terrosos. Na forma de amônio, o nitrogênio é perdido principalmente em solos de baixa capacidade de troca catiônica e bem drenados, quando há algum processo impedindo sua nitrificação, já que a transformação de amônio em nitrato é muito rápida em condições normais. Nos solos de alta capacidade de troca catiônica (CTC) e má drenagem do Estado do Acre, e principalmente nos períodos chuvosos, é possível haver acúmulo de amônio pela inibição da nitrificação, sendo as perdas então determinadas pela capacidade do solo em reter esse elemento em seu complexo de troca.

As perdas relacionadas à denitrificação podem ocorrer por meio de processos biológicos ou abióticos (volatilização) e as quantidades perdidas podem atingir cifras consideráveis, tanto para o nitrogênio aplicado na forma de fertilizantes como para o nitrogênio nativo.

A denitrificação biológica é conduzida por microorganismos heterotróficos denitrificantes e alguns autotróficos. A maior parte desses microorganismos é anaeróbico facultativo, significando que utiliza preferencialmente o oxigênio como receptor de hidrogênio, mas também pode usar o nitrato ou o nitrito como substituto do oxigênio nesse processo.

A denitrificação biológica depende das condições edafobiológicas e ocorre principalmente quando o oxigênio é limitante, normalmente sob condições de alta umidade do solo. Esse processo é mínimo sob valores de pH abaixo de 4,8 e aumenta paulatinamente, até atingir seu máximo, quando o pH se aproxima de 8,5, sendo especialmente intenso sob condições de alta pluviosidade, umidade do solo acima de 60% da capacidade de campo, ou sob condições de inundação do solo.

Tendo em vista que a denitrificação consiste em utilizar o nitrato ou o nitrito como receptor do hidrogênio em solos com baixa atividade de oxigênio, é importante considerar esse aspecto no manejo dos solos ácidos de alta CTC do Estado do Acre. Esses solos normalmente estão sujeitos a problemas de encharcamento. Assim, em seu manejo deve-se evitar, sempre que possível, a elevação do pH a valores acima do necessário para otimizar o sistema de produção e evitar a utilização de fertilizantes minerais com fontes nítricas. Essas duas medidas podem contribuir para minimizar as perdas de nitrogênio por denitrificação.

A volatilização ou desnitrificação abiótica resulta de reações químicas envolvendo os componentes inorgânicos do solo ou aplicados na forma de fertilizantes. As principais formas de nitrogênio do solo sujeitas a perdas por volatilização são o amônio e a uréia. As perdas são favorecidas por aumento do pH do solo, aumento da dose de nitrogênio aplicada, aumento da temperatura, diminuição da capacidade de troca catiônica e baixa umidade do solo.

As perdas são maiores em solos com pH acima de 7, principalmente se a superfície do solo se desseca temporariamente.

Assim, nos solos ácidos, de alta CTC e mal drenados, o uso de adubações parceladas de nitrogênio, sem a correção da acidez e utilizando-se fontes amoniacais ou uréia tendem a ser mais vantajosas, já que a elevada umidade e acidez do solo contribuem para dificultar a volatilização das fontes nitrogenadas amoniacais ou da uréia. Evitando-se a utilização das fontes nítricas diminui-se a disponibilidade de nitrogênio como receptor de hidrogênio nos solos encharcados, pelo fato da alta umidade impedir a nitrificação.

As fontes orgânicas de nitrogênio, por produzirem inicialmente o amônio no processo de mineralização, também são desejáveis nesses ambientes.

Processos de Fixação de Nitrogênio

A entrada de nitrogênio no solo ocorre por meio de quatro principais processos de fixação e todos eles envolvem a transformação do N_2 em amônio: fixação atmosférica, fixação industrial, fixação biológica simbiótica e fixação biológica assimbiótica.

A fixação atmosférica refere-se à adição do nitrogênio fixado pelas descargas elétricas durante períodos de grande precipitação. Para as regiões equatoriais da Amazônia pode-se ter adições de nitrogênio na ordem de até $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o que é importante para sistemas em pousio, de baixa exportação de nitrogênio ou florestas naturais.

A fixação industrial consiste na produção de amônio por meio de processos industriais, em que por meio de alta temperatura e pressão transforma-se o N_2 em amônio, a partir do qual se derivam os fertilizantes minerais. Esse processo industrial é importante para a reposição do nitrogênio nos sistemas agrícolas, já que muitas vezes os processos naturais não conseguem fornecê-lo nas quantidades requeridas para a manutenção da produtividade vegetal.

A fixação biológica assimbiótica ocorre pela atividade de microorganismos de vida livre, heterotróficos, quimioautotróficos, algas verdes azuladas ou bactérias fotossintéticas.

As quantidades de nitrogênio fixadas por esse processo podem ser baixas ou nulas, entretanto,

podem atingir em casos extremos $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, principalmente em solos com altos conteúdos de Fe, Al e de fosfato fixado, como nos Plintossolos. Espera-se que a fixação seja considerável em muitos dos solos ácidos de alta CTC do Estado do Acre.

O somatório desses processos pode resultar numa maior oferta de nitrogênio para o crescimento das culturas, de forma que as quantidades repostas via fertilização mineral possam ser inferior a de outras regiões do País, para um mesmo patamar de produtividade, principalmente, se forem confirmadas as maiores adições de nitrogênio na forma de fixação biológica assimbiótica e atmosférica.

O último processo trata da fixação biológica simbiótica que contribui com a maior proporção de nitrogênio fixado, principalmente quando associado a leguminosas. Outras famílias de plantas, além das leguminosas, também apresentam simbioses com bactérias fixadoras de nitrogênio, além de fungos e actinomicetos. As quantidades de nitrogênio fixadas normalmente são acima de $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, podendo atingir cifras de até $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em casos especiais.

As bactérias fixadoras desenvolvem nódulos radiculares no parênquima radical das plantas, onde se alojam e passam a se alimentar exclusivamente de fotoassimilados fornecidos pela planta hospedeira, em troca do nitrogênio fixado. Inicialmente as bactérias utilizam-no exclusivamente para sua nutrição, porém, em estágios avançados

da simbiose, aproximadamente 90% do nitrogênio fixado será disponibilizado às plantas, havendo coincidência entre esse período de maior disponibilidade e o período fenológico de maior demanda de nitrogênio pela planta.

Vários fatores influenciam a simbiose, entre os quais se destacam o pH, a fertilidade, temperatura, regime hídrico e a aeração do solo. O pH favorável está normalmente entre os valores de 5,0 a 6,0, em solos com teores adequados de Ca e Mg e com ausência de formas tóxicas de alumínio, com temperatura entre 18°C a 22°C e baixa tensão de O₂. Excesso de umidade ou solos extremamente secos tende a inibir a simbiose e acentua a carência de nutrientes no solo, os quais são necessários tanto para o crescimento da planta hospedeira como da bactéria, sendo o fósforo, o molibdênio e o boro, provavelmente, os principais responsáveis pelo bom desenvolvimento da simbiose.

Fósforo

O fósforo é relativamente estável nos solos. Seus compostos inorgânicos presentes no solo não podem ser volatilizados ou lixiviados, como ocorre com os compostos nitrogenados. Essa alta estabilidade resulta de uma baixa solubilidade que muitas vezes se torna a principal responsável por causar deficiências de fósforo às plantas, mesmo havendo a mineralização constante de compostos orgânicos do solo. Normalmente essa deficiência pode ser corrigida por meio de fertilizações fosfatadas, mas esta técnica também apresenta baixa eficiência,

pois os fosfatos aplicados ao solo ficam sujeitos a reações de “fixação”. Nos solos do Estado do Acre a situação não é diferente, sendo esse nutriente o de menor disponibilidade. Evidências apontam para o fato de que os processos de fixação apresentam mecanismos distintos de outros solos do Brasil, conforme se verá adiante.

Fósforo no Solo

O conteúdo total de fósforo é muito variável nos solos da América Latina, sendo normalmente baixo em Latossolos e Argissolos (normalmente acima de 18 mg kg^{-1}) da Venezuela e da região central do Brasil e maior em solos derivados de cinzas vulcânicas da América Central (até 3.300 mg kg^{-1}). As grandes variações no conteúdo total de fósforo se devem à variabilidade do material de origem, ao grau de desenvolvimento do solo e a outras condições edafológicas e ecológicas.

Normalmente, solos jovens derivados de cinzas vulcânicas apresentam maior conteúdo de fósforo que os desenvolvidos de sedimentos pré-intemperizados e redepositados em áreas baixas da plataforma continental sul-americana (planícies e depressões geológicas), embora, algumas vezes o material de origem possa determinar altos conteúdos de fósforo no solo. Outros fatores que afetam o conteúdo de fósforo são a textura e o grau de evolução genética do solo, além do teor de matéria orgânica.

O fósforo presente no solo encontra-se quase que exclusivamente na forma de ortofosfato; assim, todos os compostos de fósforo são derivados do ácido fosfórico (H_3PO_4). Os fosfatos do solo dividem-se em dois grandes grupos: orgânico e inorgânico (ou mineral).

A matéria orgânica do solo está entre os mais importantes fatores que explicam o conteúdo de fósforo total dos solos, havendo quase sempre uma relação direta, em que solos com maiores conteúdos de matéria orgânica apresentam maiores quantidades de fósforo total. Pelo fato do fósforo orgânico estar associado à matéria orgânica, seus teores geralmente são maiores nos horizontes superficiais em relação aos horizontes subsuperficiais, com a porcentagem de fósforo orgânico variando normalmente entre 10% e 75% do total de fósforo do solo. Na forma orgânica, um ou mais hidrogênio do ácido fosfórico origina ligações ésteres, podendo o restante ser substituído por cátions. Normalmente, sob condições de acumulação de matéria orgânica no solo (baixa temperatura e alta precipitação, elevada acidez do solo, baixa atividade biológica) há predomínio das formas orgânicas de fósforo no solo.

De acordo com a estrutura química, o fósforo orgânico pode ser encontrado em cinco principais tipos de compostos fosfatados: a) fosfolipídios; b) ácidos nucleicos; c) fosfatos metabólicos; d) proteínas; e) inositol (fitina e seus sais, como os fitatos de cálcio, alumínio ou ferro).

A caracterização do fósforo orgânico é realizada normalmente pela relação C/N/P, que é muito variável e dependente dos métodos analíticos empregados.

Quanto às formas inorgânicas de fósforo, encontram-se desde aquelas quimicamente bem definidas e cristalizadas, até formas mal cristalizadas ou amorfas, podendo-se ainda distingui-las entre as adsorvidas e as presentes na solução do solo.

Os fosfatos cristalinos são sais do ácido ortofosfórico que possuem como cátions o cálcio, magnésio, alumínio, ferro, manganês e o titânio. Desses compostos, os mais comuns no solo são os fosfatos de cálcio (apatitas), de alumínio (variscita) e de ferro (estrengita). Normalmente, tem-se aceito que a distribuição das formas de fósforo inorgânico depende do grau de intemperismo e desenvolvimento dos solos. Em solos jovens predominam as formas de fosfatos cálcicos, nos medianamente desenvolvidos se encontram proporções balanceadas entre as diferentes formas de fósforo inorgânico e naqueles mais desenvolvidos predominam os fosfatos ligados a alumínio, ferro e manganês. Essa distribuição é explicada com base nos produtos de solubilidade das diferentes formas de fosfato.

Quanto às formas de fósforo inorgânico, as mais importantes sob o ponto de vista da regulação da disponibilidade desse nutriente para as plantas são aquelas não bem definidas, mal cristalizadas ou

amorfos, como as formas de fosfato adsorvidas no complexo coloidal ou oclusas nos hidróxidos de alumínio, de ferro ou de manganês, por meio de seu processo de cristalização e crescimento.

Já as quantidades de fósforo presentes na solução do solo são mínimas e representam sempre uma pequena fração das demais formas de fósforo no solo; o fósforo presente nesse compartimento deve ser constantemente repostado para que as plantas e os demais organismos do solo consigam absorvê-lo em quantidades suficientes. O equilíbrio do fósforo em solução com as demais formas de fósforo no solo é que determinará sua disponibilidade às plantas.

Processos Dinâmicos de Transformação do Fósforo no Solo

Os processos dinâmicos do fósforo no sistema solo-planta são controlados por mecanismos que conduzem ao aumento ou diminuição do fosfato na solução do solo.

Os principais mecanismos responsáveis pelo aumento de fosfato na solução do solo são: a) dissolução do fósforo dos fertilizantes minerais; b) mineralização do fósforo orgânico; c) dissolução das formas lábeis de fósforo do solo; d) mineralização da matéria orgânica do solo e excreção de parte dos fosfatos absorvidos pelas plantas. Por sua vez, os principais mecanismos responsáveis pela diminuição de fosfato na solução do solo são: a) absorção do fósforo pelos vegetais e pelos

microorganismos; b) reações de adsorção de fosfato pela superfície das partículas coloidais do solo; c) precipitação dos fosfatos em formas menos solúveis; d) imobilização pela matéria orgânica do solo.

Os processos de adsorção pelas partículas coloidais do solo e de precipitação são denominados genericamente de “fixação” de fósforo, sendo responsável pela retirada de grandes quantidades de fosfato da solução, principalmente quando dissolvido dos fertilizantes minerais aplicados. Esses processos são reconhecidamente os mais importantes no controle da disponibilidade de fósforo para as plantas cultivadas em solos minerais.

Mineralização dos Fosfatos Orgânicos

A mineralização do fósforo orgânico ocorre de forma similar à mineralização do nitrogênio orgânico. A partir de compostos polimerizados (nucleoproteínas), formam-se compostos mais simples (proteínas, ácidos nucleicos) e, finalmente, libera-se o ácido fosfórico. A participação de microorganismos nesse processo é muito importante, destacando-se as bactérias e alguns tipos de fungos específicos. A presença desses microorganismos é comum na zona da rizosfera onde os compostos orgânicos mineralizados liberam íons fosfatos que são prontamente aproveitáveis pelas plantas. Sob condições de laboratório, a mineralização do fósforo orgânico ocorre em taxas ótimas a pH de 5,5 a 7,0 e temperatura entre 25°C a 45°C; em condições

intermediárias de umidade ou sob ciclos contínuos de umedecimento e secagem, com taxas de mineralização de até $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, o que seria suficiente para a nutrição mineral da grande maioria das espécies cultivadas. Sob condições de campo, contudo, não é possível estimá-las com exatidão e, portanto, não se conhece a real contribuição do processo de mineralização de fósforo para a nutrição das culturas.

Fixação de Fosfatos

A fixação de fosfatos, também denominada de “sorção”, refere-se aos processos de precipitação e de adsorção, não sendo possível diferenciá-los com precisão, seja do ponto de vista analítico ou matemático. Essas reações ocorrem no solo de modo contínuo, predominando uma ou outra de acordo com as concentrações de fósforo na solução do solo, do tempo de contato e do tipo e natureza dos minerais presentes no solo. Contudo, cada um desses processos é regulado por mecanismos químicos diferentes, sendo normalmente tratado de forma separada.

Aceita-se comumente que em baixas concentrações de fosfato na solução do solo ($\leq 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$), o processo predominante é a adsorção, sendo essa reação inicialmente irreversível e formada por ligações binucleares de alta energia, seguida de ligações mononucleares reversíveis. Em altas concentrações de fosfato na solução do solo ($\geq 1 \text{ mol L}^{-1}$), os fenômenos mais comuns, relacionados

com a formação de fases cristalinas, são as reações de dissolução e precipitação.

De forma prática os dois processos ocorrem simultaneamente. Por exemplo, quando uma fonte solúvel de adubo fosfatado é adicionada ao solo, próximo à superfície de suas partículas, predomina o fenômeno de precipitação, enquanto numa maior distância o comportamento do fosfato seria controlado por reações de adsorção–dessorção.

Sob o ponto de vista químico, adsorção é um termo genérico indicando a ocorrência de reações químicas e físicas em interfaces (superfícies de separação de duas fases). Nos processos de adsorção, a superfície (face externa dos minerais e óxidos cristalinos, por exemplo) é chamada superfície adsorvente, enquanto a substância (íons fosfato, no caso) é chamada adsorvato. A superfície muitas vezes é porosa, ou mostra imperfeições ou microporos, permitindo a difusão do adsorvato em seu interior, dando continuidade às reações. A esse último fenômeno denomina-se absorção de fosfato. O processo de atração do adsorvato à superfície adsorvente é a adsorção, enquanto o processo inverso é a dessorção.

A fixação também pode ser descrita em função do tempo médio de cada processo. Nesse caso, usa-se o termo sorção para as reações de adsorção e de precipitação do fosfato em formas lábeis do fósforo no solo e que possuam um equilíbrio mais rápido com a solução do solo, enquanto o termo fixação

seria utilizado mais adequadamente para identificar as formas não-lábeis, governadas por processos de precipitação de adsorção de alta energia de ligação (Fig. 2). Normalmente, essas reações são contínuas e a passagem do fósforo do compartimento P-lábil para o compartimento P-não lábil pode se dar pelo envelhecimento e maior grau de cristalização das formas precipitadas, ou por rearranjos estruturais das formas adsorvidas, de modo que, quimicamente, ambos os termos podem ser usados generalizadamente.

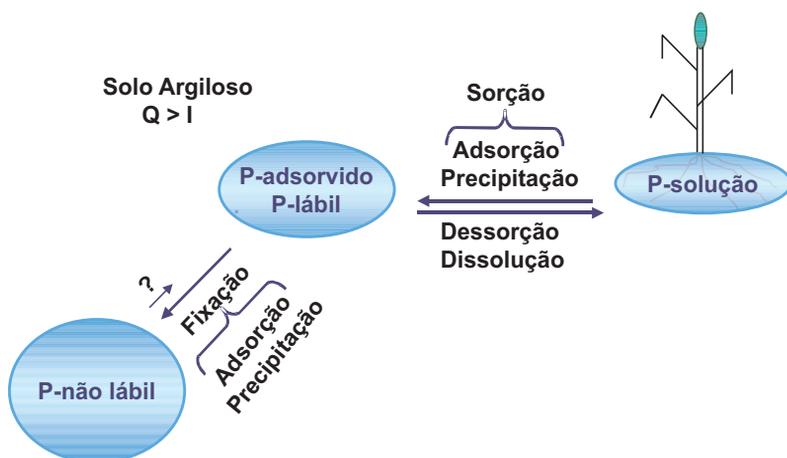


Fig. 2. Representação esquemática dos diferentes processos pelos quais o fósforo passa no solo e as diferentes conceituações recebidas.

Precipitação do Fosfato

O fosfato pode ser retido em suas formas pouco solúveis por meio de reações de precipitação com compostos de ferro, alumínio, cálcio ou manganês presentes nos solos.

A importância relativa desses mecanismos varia com as propriedades do solo. As reações de precipitação envolvem compostos de fósforo de diferentes espécies, conforme o cátion presente na fase sólida, e tanto a formação como a dissolução desses compostos seguem os princípios dos produtos de solubilidade.

Quando um grânulo de adubo à base de fosfato de cálcio, como por exemplo, o superfosfato, é adicionado a um solo mineral ácido, a água do solo dissolve parte do fosfato monocálcico presente no adubo, resultando na formação de fosfato dicálcico e de uma solução saturada em relação a essas duas formas de fosfatos de cálcio. A solução em torno do grânulo do fertilizante, nessa fase, apresentará um pH entre 1,0 a 1,5 e uma concentração de fósforo de 4,0 a 4,5 mol L⁻¹. Essa solução, por ser extremamente ácida, desestabiliza as argilas do solo, podendo dissolver aquelas que se encontram em torno do grânulo do fertilizante, liberando alumínio e ferro os quais reagirão imediatamente com o fosfato da solução, precipitando-o, formando fosfatos de alumínio e ferro. Esses fosfatos recém-precipitados variam em composição química, mas em sua maioria são pouco reativos, embora

apresentem produto de solubilidade (Kps) superior a de alguns minerais do solo, como da variscita ou estrengita. Esse maior produto de solubilidade possibilitará a liberação gradual de íons H_2PO_4^- para a solução do solo, embora, na maioria das vezes, em taxas inferiores às demandadas pelas culturas. Também em solos ácidos que contêm quantidades significativas de Al trocável, o fósforo do fertilizante pode ser precipitado por esse cátion. Nesse caso, o Al^{3+} deve primeiro ser deslocado para a solução do solo pelos cátions alcalinos e/ou alcalinos terrosos contidos no adubo e hidrolizados antes de tornar-se capaz de precipitar o fosfato.

Em muitos solos ácidos do Estado do Acre são encontrados, concomitantemente, elevados teores de alumínio e cálcio trocável, sendo eles os que apresentam maior fixação do fosfato adicionado. Isso indica que, provavelmente, as reações de precipitação sejam as principais responsáveis pela fixação de fósforo nos solos acreanos, diferentemente do que ocorre em outras regiões do País, onde as principais reações são as de adsorção.

Adsorção de Fosfatos

A adsorção é um fenômeno físico-químico que no solo resulta da interação que ocorre entre a fase sólida representada pelas micelas, formadas por colóides inorgânicos, orgânicos e organo-minerais (adsorvente), e a fase líquida representada pela solução do solo, na qual estão dissolvidos os íons (adsorvatos). Seus mecanismos são complexos e parecem envolver várias reações de ordem física e

química, que se verificam de forma contínua, normalmente referidas como fases rápida e lenta desse processo.

Na fase rápida da adsorção, o fósforo solúvel adicionado ao solo reage imediatamente (questão de minutos), com grupamentos ativos da superfície dos óxidos e/ou argilominerais, formando um complexo metal-fosfato, processo este governado principalmente pela troca de ligantes (normalmente, com grupamentos hidroxilas).

Continuando a fase rápida da reação de adsorção de fosfato, num período que pode durar algumas horas ou dias, mais fosfato é adsorvido, ainda via troca de ligantes, porém em sítios menos ativos energeticamente. Nesse caso, o complexo metal-fósforo formado (possivelmente monodentado) apresenta ligações mais brandas e o fósforo pode ser considerado disponível (P-lábil) para as plantas.

A segunda fase, ou fase lenta da adsorção de P, caracteriza-se pela penetração ou difusão do fosfato nas imperfeições da estrutura cristalina dos óxidos, ou mesmo entre microcristais ligados por silicatos, em um processo referido como difusão em fase sólida, em que o fósforo torna-se cada vez menos disponível para as plantas. As reações envolvidas nessa última fase são pouco conhecidas e provavelmente não envolvem troca de ligante. O fosfato adsorvido nesse processo lento é denominado comumente de fósforo não-lábil.

O processo de adsorção de fosfato é favorecido pelo aumento do teor de argila, pela superfície específica principalmente dos óxidos¹ de ferro e alumínio na fração argila, pela menor competição por ânions, pela diminuição do pH em alguns solos e pela maior quantidade de cátions trocáveis.

A matéria orgânica é conhecida pelos seus múltiplos efeitos na adsorção de fósforo, que podem ser positivos, negativos ou, até mesmo, não apresentar efeito marcante.

Os óxidos de ferro e alumínio são os componentes que predominantemente exercem influência na adsorção de fosfato. Nesse sentido, evidências indiretas concernentes à importância dos óxidos de ferro na adsorção específica vêm da observação geral de que solos ricos em óxidos de ferro (Latosolos) retêm grandes quantidades do fósforo adicionado via fertilização. A adsorção de fosfato em solos contendo materiais amorfos (alofanas) em teores elevados é referida na literatura como extremamente alta, quando comparada àquela observada em solos caulínícos ou mesmo oxídicos em que a contribuição daqueles minerais não seja significativa.

O efeito da matéria orgânica no processo de adsorção de fosfato pode estar relacionado ao seu caráter aniônico, formando pontes catiônicas com Al, Fe e Ca a ela adsorvidos, que reteriam o fosfato; ou ainda, ao possível efeito inibidor das moléculas orgânicas sobre a cristalinidade dos óxidos, levando-os, conseqüentemente, a um aumento considerável

¹Óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos.

no poder de adsorção de fosfato. Seu efeito pode ainda contribuir para reduzir a adsorção de fósforo em solos, por meio de ácidos orgânicos adsorvidos, bloqueando sítios de adsorção como dos oxihidróxidos, o que justificaria por que os horizontes superficiais, com textura e mineralogia similares a dos horizontes subsuperficiais, porém com maior teor de matéria orgânica, apresentam menor capacidade de adsorção de fósforo.

A aplicação de esterco de curral, como reposição contínua desses ácidos, a exsudação de raízes e o metabolismo de microrganismos, como fontes naturais desses ácidos, mantêm esse processo de bloqueio de sítios de adsorção de fósforo de maneira mais contínua e, portanto, bastante efetiva.

A influência do pH do solo na adsorção de fosfato tem mostrado resultados conflitantes em solos altamente intemperizados e naqueles originados de cinzas vulcânicas. Normalmente, espera-se menor adsorção de fósforo com o aumento do pH, porém, processos secundários, com a adsorção de fósforo pelo hidróxido de alumínio precipitado em função de elevações no pH do solo, podem se contrapor a esse efeito benéfico.

Quanto ao efeito da concentração de cátions, espera-se que com o aumento das cargas positivas efetivas na dupla camada difusa do solo, pela maior quantidade de cátions trocáveis, haja um decréscimo na repulsão dos íons fosfatos pelas superfícies negativas do solo, concorrendo para maior adsorção de fosfato.

Fatores Intensidade, Quantidade e Capacidade Tampão de Fósforo

A dinâmica do fósforo no solo pode ser representada pelos fatores intensidade, quantidade e capacidade tampão. Esses três fatores são utilizados para descrever os principais compartimentos do fósforo no solo e as suas transformações em relação a esses compartimentos, em função dos processos de precipitação e adsorção descritos. O fator intensidade (I) é representado pela concentração, atividade ou potencial de íons fosfatos presentes na solução do solo, enquanto o fator quantidade (Q) refere-se ao tamanho da reserva de P-lábil, ou seja, pelas formas de fósforo adsorvido nos sítios de troca dos colóides argilo-orgânicos do solo ou precipitado e que se encontra em rápido equilíbrio com o P-solução. Esse fator envolve, para fins práticos, a soma da concentração do elemento, teoricamente considerado como fator quantidade (Q) mais sua concentração em solução (I). O fator capacidade mede a capacidade do solo em fazer o “ressuprimento ou renovação” de I, à medida que o fósforo é absorvido.

O fósforo não-lábil é representado pelo fósforo precipitado em compostos insolúveis, normalmente de Ca, Al e Fe, ou adsorvido por sítios de troca de elevada energia de ligação, não estando, portanto, em equilíbrio com o fósforo na solução.

Medidas Agronômicas para Controlar a Fixação de Fosfato nos Solos do Estado do Acre

Os problemas de fixação de fósforo, na maioria dos solos de regiões tropicais, originam-se do fato de que os fosfatos adicionados pelos fertilizantes minerais rapidamente passam para formas adsorvidas ou precipitadas, de baixa disponibilidade para as plantas.

As medidas de controle da fixação de fósforo, normalmente, incluem a diminuição da velocidade de dissolução dos fertilizantes, para se obter uma liberação contínua e persistente do fertilizante e uma alta concentração em longo prazo na “zona do fertilizante”, para que as plantas cultivadas o aproveitem de forma otimizada. Disso resulta a determinação das dosagens a serem usadas, o tamanho das partículas e sua forma e a época de sua aplicação. Essas determinações são variáveis em função do tipo de solo, do sistema de exploração adotado (sistema convencional, plantio direto, agroflorestal, rotação de culturas, tipo de preparado do solo) e da espécie cultivada (sistema radicular, ciclo de crescimento).

Assim, dependendo do sistema, pode-se recomendar a aplicação a lanço, a aplicação em faixas, na linha de plantio ou em covas. A época de aplicação deve coordenar-se com o ritmo de crescimento fisiológico do cultivo.

Quanto ao tipo, os solos do Estado do Acre, apesar de ocorrerem numa região de clima quente e úmido, apresentam normalmente características anômalas, quando comparadas àquelas apresentadas pela maioria dos solos pertencentes à mesma classe taxonômica formados sob condições tropicais com elevada pluviosidade.

A presença de quantidades expressivas de argilominerais de estrutura 2:1, teores elevados de silte (até 61%) e altos teores de Al^{3+} associados a teores também elevados de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, de valores elevados de CTC, têm sido apontados como características discrepantes entre grande parte dos solos do Estado em relação a outras regiões da Amazônia Brasileira. Estudos iniciais indicam inclusive que a adsorção de fosfato nos Latossolos do Estado é menor que a detectada no mesmo tipo de solo de outras regiões. Dadas essas características, as recomendações de adubação baseadas em tabelas adotadas em outros estados da Amazônia nem sempre são adequadas à condição de solo local.

Como a dose de fósforo a ser aplicada no solo não considera somente as exigências nutricionais das plantas, mas também a fração que será fixada pelo solo, possivelmente naqueles onde a fixação de fósforo é menor, a redução da dose desse elemento poderá não trazer prejuízos ao desenvolvimento das culturas. Nos solos ácidos de alta CTC e alto teores de alumínio e cálcio trocáveis, é possível que o principal mecanismo de fixação seja a precipitação do fósforo na forma de fosfatos com alumínio e, em

menor proporção, com o cálcio. Nesses solos, provavelmente a utilização de fontes menos solúveis seja favorável, pois o baixo pH poderá possibilitar a dissolução do fósforo do fertilizante de forma mais efetiva do que ocorre normalmente em outros tipos de solos. Contudo, os estudos são escassos e muitas questões precisam ser elucidadas para que a recomendação de fertilizantes seja feita de forma a otimizar o fósforo na solução do solo, minimizando os processos de fixação.

Potássio

A distribuição do potássio nos solos em escala mundial segue uma distribuição geomorfológica relacionada com o intemperismo de feldspatos e de micas dos materiais de origem. Solos arenosos, formados a partir de rochas matrizes pobres em feldspatos ou micas, serão deficientes em potássio; essa deficiência será extrema se foi submetido a condições de intenso intemperismo, como no caso da formação de Latossolos e Argissolos. Por sua vez, solos argilosos formados a partir de minerais ricos em feldspatos e micas serão também ricos em potássio. À semelhança do que ocorre para outros nutrientes, o conteúdo total de potássio no solo fornece pouca informação acerca de sua disponibilidade para aos vegetais e sua dinâmica. Para conhecer esses aspectos faz-se necessário considerar as diferentes formas de potássio no solo e as suas respectivas relações.

Conteúdo e Formas de Potássio no Solo

A crosta terrestre contém aproximadamente 2,5% de potássio, sendo seu conteúdo maior nas rochas ígneas que nas rochas sedimentares. Seu conteúdo nos solos varia geralmente entre 0,04% e 3%, ocorrendo normalmente em maior proporção quando associado aos silicatos na forma de potássio estrutural.

O potássio no solo pode ser classificado em quatro principais frações: potássio estrutural, potássio fixado, potássio trocável e potássio na solução do solo.

O potássio estrutural não está diretamente disponível para as plantas, sendo sua disponibilidade dependente dos processos de intemperismo dos minerais de argila, que proporcionam sua liberação lentamente. O potássio estrutural está associado aos feldspatos, às micas (muscovita, leucita, biotita) e aos minerais argilosos (ilita, vermiculita, glauconita). O potássio estrutural, com as formas fixadas de potássio, normalmente representam entre 90% e 98% do total desse elemento no solo. O equilíbrio do potássio estrutural com o potássio da solução do solo é governado por reações de dissolução. Isso significa que o reabastecimento das perdas de potássio da solução do solo ocorre muito lentamente.

Já o potássio da solução do solo representa uma fração muito pequena, normalmente entre 0,1% e 0,2% do potássio total. O potássio da solução do solo é mantido principalmente pelo K-trocável com

o qual é estabelecido um equilíbrio dinâmico bastante rápido, constituindo-se ambas as formas a disponibilidade imediata de potássio para as plantas. A concentração de potássio na solução do solo depende das entradas e saídas desse nutriente no sistema solo-planta. À semelhança do fósforo, o potássio na solução do solo corresponde ao fator intensidade (I) de potássio, ou seja, à concentração desse elemento existente na fase líquida (solução) do solo.

O potássio trocável representa entre 2% e 8% do potássio total do solo e constitui-se os íons adsorvidos no complexo coloidal do solo (argilas, matéria orgânica e óxidos de ferro e alumínio), adsorvidos eletrostaticamente. Usualmente, encontra-se em quantidades entre 10 e 400 $\mu\text{g g}^{-1}$ de solo, sendo os maiores valores registrados em solos argilosos e de maior CTC, em regiões áridas e semi-áridas, e associados à presença de muscovita ou biotita como minerais primários. Essa forma representa o fator quantidade de potássio no solo (Q). A relação entre esse fator e o fator intensidade (Q/I) fornece a medida da reposição do potássio na solução pelas formas trocáveis desse nutriente no solo.

O potássio estrutural e as formas fixadas constituem as formas não-trocáveis que compreendem desde o potássio integrante das estruturas dos minerais primários (feldspatos e micas) e minerais secundários (ilita e vermiculita), até o potássio fixado fortemente entre as unidades cristalográficas

(entrecamadas) dos argilominerais 2:1 (vermiculita e montmorilonita). O potássio estrutural é liberado à medida que os minerais sofrem intemperização, representando a capacidade de suprimento de potássio em médio e longo prazo para as plantas. Após atingir um nível mínimo, os solos podem recuperar o potássio trocável por meio da liberação de formas não-trocáveis. O nível dessa reposição depende do tipo e manejo do solo (tempo de pousio ou de descanso).

Em alguns solos do Estado do Acre são encontrados valores relativamente elevados para o potássio total, atribuídos à influência de material vulcânico depositado em épocas geológicas mais recentes, promovendo o rejuvenescimento desses solos. Contudo, dado o grau de intemperização dos solos acreanos, os teores de potássio que integram as frações fixada e estrutural podem não representar formas de grande importância na dinâmica do potássio no solo.

Processos Dinâmicos do Potássio nos Solos

A dinâmica do potássio no solo, assim como a de outros elementos alcalinos e alcalinos terrosos, representa uma natureza completamente diferente dos nutrientes aniônicos (Fig. 3). A diferença mais importante refere-se ao seu comportamento quanto à matéria orgânica, já que os cátions não se constituem componentes estruturais dessa matéria. Por não se ligar a nenhum composto orgânico estrutural de planta, o potássio é facilmente perdido pelas folhas e raízes.

A água da chuva arrasta grande quantidade de potássio da parte aérea para o solo, principalmente nos estágios finais do ciclo da planta. Desse modo, a influência da matéria orgânica na disponibilidade do elemento restringe-se a sua capacidade de ser adsorvido pelas cargas negativas na forma trocável. Por esse motivo, a capacidade de troca catiônica do solo (CTC) é a característica edáfica mais intimamente relacionada à disponibilidade de potássio.

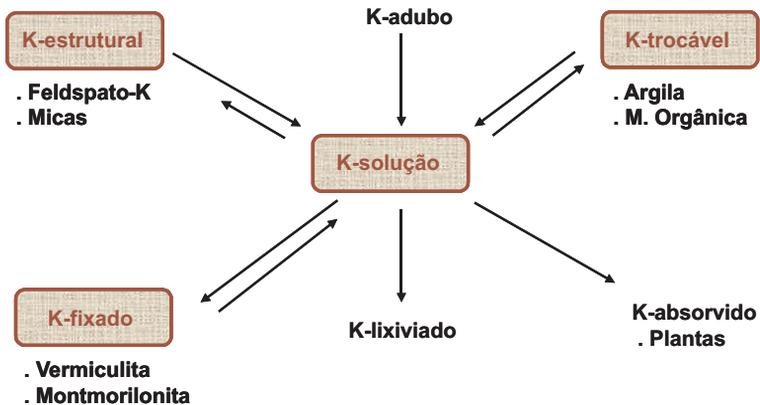


Fig. 3. Processos dinâmicos do potássio no sistema solo-planta.

Na solução do solo o potássio está diretamente disponível para as plantas e, em determinadas condições específicas, poderá ser perdido por percolação ou por lixiviação, em quantidades que podem variar entre 5 e 250 kg ha⁻¹ ano⁻¹, em função

de características como drenagem do solo, intensidade de precipitação pluviométrica, tipo de cobertura vegetal e doses de fertilizantes potássicos, calagem ou gessagem aplicados.

Os fertilizantes potássicos ao dissolverem-se aumentam rapidamente as quantidades de potássio na solução do solo, ficando, assim, sujeitos a perdas por percolação. Já a calagem e a gessagem, principalmente essa última, tendem a deslocar o potássio do complexo de troca para a solução do solo, aumentando as chances desse nutriente ser lixiviado. O efeito da calagem normalmente é menor ou mesmo nulo, já que ela proporciona aumento da CTC efetiva ao liberar novos sítios de adsorção. Deve-se salientar, entretanto, que principalmente em solos arenosos, com baixa quantidade de matéria orgânica, o efeito da calagem pode ser o de intensificar as perdas de potássio, pois os íons Ca^{2+} e Mg^{+} podem deslocar o K^{+} do complexo de troca para a solução, deixando-o mais sujeito à lixiviação.

O potássio trocável prontamente repõe o potássio absorvido pelos vegetais e microorganismos ou aquele perdido por lixiviação ou percolação, representando uma importante reserva prontamente assimilável. Por outro lado, a fração que permanece retida no complexo de troca estará protegida de perdas por lixiviação.

A fixação de potássio consiste em sua acumulação no espaço interlaminar das argilas, sendo um fenômeno de grande importância dentro de sua dinâmica. Esse processo ocorre especificamente

com minerais argilosos do tipo 2:1, como ilitas, montmorilonitas e vermiculitas. O espaço interlamilar das ilitas (3,5Å), por exemplo, permite a acumulação de íons potássio desidratados (diâmetro 2,68Å). O potássio fixado fecha o espaço interlamilar, estabelecendo uma configuração química estável com o restante do mineral. Por isso, a natureza e quantidade dos minerais de argila são fatores determinantes da concentração de potássio na solução do solo e explicam por que solos que têm concentrações elevadas de minerais 2:1 (vermiculita) são responsáveis pelo maior grau de retenção do potássio em formas não-trocáveis. Além da natureza da argila, quanto maior a densidade de cargas da superfície adsorvente e maior o pH do solo, maior a fixação de potássio pelo solo. O efeito do pH pode ser explicado por quatro processos distintos: a) deposições de polímeros de ferro e/ou alumínio no interior das unidades cristalográficas impedindo a fixação; b) as argilas saturadas com H^+ e NH_4^+ fixam menos K^+ que saturadas com outros cátions, devido à competição entre os cátions K^+ e NH_4^+ sobre os pontos de fixação na argila; c) os polímeros de hidróxi-alumínio [$Al(OH)_2^+$] podem ocupar os sítios nas entrecamadas de minerais 2:1, reduzindo a fixação de íons K^+ ; ou d) pelo efeito direto da calagem, ao serem criadas cargas negativas nos colóides, aumentando a CTC efetiva.

As formas de potássio fixadas são acessíveis às plantas, somente sob condições de exaustão de outras formas disponíveis, e a velocidade de seu suprimento pode não ser adequada ao ritmo de

crescimento de muitas espécies agrícolas, principalmente aquelas de ciclos anuais e bianuais.

Processos de Perdas de Potássio e outros Cátions Alcalinos e Alcalinos Terrosos

Os cátions alcalinos e alcalinos terrosos (K, Ca, Mg) encontram-se nos tecidos vegetais, formando sais, ou em forma iônica no citoplasma celular. Ao queimar os restos vegetais para limpar o solo e prepará-lo para as atividades de exploração agrícola (pastagens e outros cultivos), esses elementos passam a sua forma oxidada (K_2O , CaO , MgO) e, ao reagirem com a água das chuvas e do solo, passam as suas formas iônicas (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}). A queima dos restos vegetais produz assim uma grande acumulação desses cátions na solução do solo e em seu complexo de troca.

Gradualmente, por meio de processos de percolação, lixiviação, erosão e absorção pelas plantas, as quantidades dos cátions inicialmente acumuladas vão diminuindo até que o solo perca suas reservas e ocorram sintomas de deficiência nas plantas. Assim, os aumentos de pH e desses cátions observados logo após a queima serão temporários, perdendo sua intensidade com o tempo, já que normalmente os solos apresentam baixa capacidade de retenção desses nutrientes, os quais eram mantidos no sistema por causa da biomassa vegetal.

Esses processos explicam claramente os problemas de fertilidade do solo nas regiões tropicais, onde a

agricultura migratória tende a ter caráter permanente, já que a perda da fertilidade faz com que as terras sejam deixadas em pousio por longos períodos enquanto não forem utilizados fertilizantes para repor essas perdas. As conseqüências ambientais dessa prática foram discutidas para o caso do nitrogênio e também abordadas no capítulo de monitoramento nutricional.

Implicações Agronômicas para a Adubação Potássica

A quantidade do adubo potássico a ser aplicada depende do teor desse nutriente no solo e da exigência da planta. Portanto, uma recomendação de adubação potássica adequada depende fundamentalmente do conhecimento das interações solo-planta e dos fatores que afetam a disponibilidade desse elemento no solo.

A aeração do solo favorece o crescimento de raízes e, portanto, a difusão de potássio até elas. Por outro lado, o teor de umidade no solo favorece os mecanismos de difusão e fluxo de massa importantes para o transporte de potássio até as raízes das plantas. Por essas razões, a adubação potássica deve ser feita com o solo úmido, porém, com teor de umidade que permita uma boa aeração e aumente as chances do potássio atingir o sistema radicular das plantas.

Quando a quantidade de potássio aplicada ao solo é excessiva, pode afetar a germinação e o

desenvolvimento radicular pelo efeito salino, causando o deslocamento de manganês para a solução do solo, o desequilíbrio entre cátions e maiores perdas por lixiviação, principalmente em solos arenosos. Por outro lado, se a adubação potássica for feita em doses subótimas, pode contribuir para que o rendimento máximo das culturas não seja atingido.

Enxofre

Semelhante ao fósforo e ao nitrogênio, presentes na forma de ânions no solo, o enxofre encontra-se em formas orgânicas e inorgânicas. O enxofre orgânico origina-se de restos vegetais e animais, consistindo em sua maior parte de proteínas, aminoácidos, peptídios, tiocianatos e outros compostos orgânicos.

Para caracterizar o enxofre orgânico no solo é usual adotar a relação C:S ou N:S, pois, junto com o fósforo, esses são os nutrientes mais importantes da matéria orgânica do solo. O valor considerado provável para a relação C:S é 100, podendo variar entre 50 e 600.

A principal fonte do enxofre inorgânico no solo é o sulfato, embora sob condições de anaerobiose ocorra a presença de sulfetos, como a piritita. Os sulfatos encontram-se presentes na solução do solo, adsorvidos no complexo de troca aniônica, como contra-íons da dupla camada difusa ou como sulfatos insolúveis. Em alguns solos calcários, os sulfatos de cálcio se apresentam misturados com carbonatos.

Nos solos do Acre, principalmente na porção central do Estado, a presença do enxofre tem sido constatada nos solos de média a alta CTC, formando minerais de sulfato de cálcio com grau variado de cristalinidade (gipsitas). Nesses ambientes, a gipsita representa a principal reserva do enxofre para as plantas e onde não ocorre esse mineral, o enxofre adsorvido e o enxofre orgânico representam essa reserva.

Processos Dinâmicos do Enxofre

Os processos dinâmicos do enxofre no solo são similares ao do nitrogênio: no ciclo do enxofre ocorrem transformações por processos ocasionados pela ação de diferentes microorganismos e, em menor intensidade, por processos abióticos. As plantas absorvem SO_4^{2-} , alguns aminoácidos e, às vezes, SO_2 atmosférico, sintetizando proteínas e outros compostos que contenham enxofre em sua composição. Os animais, por sua vez, utilizam diversos compostos com enxofre produzidos pelos vegetais. Os resíduos vegetais e animais são mineralizados por microorganismos especializados, liberando-se enxofre inorgânico, o qual pode ser oxidado a sulfatos ou reduzido a sulfitos.

A mineralização do enxofre orgânico segue o mesmo esquema apresentado para o nitrogênio orgânico. As proteínas, os peptídeos e outros compostos com enxofre são despolimerizados até seu estado de aminoácidos, tiosulfatos e tiouréia. No passo seguinte, os aminoácidos são reduzidos a H_2S ou

oxidados a SO_4^{2-} . O H_2S resultante, sob condições de boa aeração, é oxidado a sulfato, o qual pode ser absorvido pelas plantas ou imobilizado novamente pelos microorganismos.

Os microorganismos que atuam nesse processo são bactérias aeróbicas, anaeróbicas, heterotróficas e alguns tipos de fungos.

De um modo geral, os mesmos fatores afetam a mineralização e a imobilização da matéria orgânica e também o ciclo do carbono no solo.

Os processos de oxidação e redução do enxofre no solo são muito importantes para a dinâmica desse nutriente e são realizados, em sua totalidade, por microorganismos. Essas reações químicas são possíveis porque o enxofre atua com diferentes valências (graus de oxidação), variando de +6 (sulfatos) a -2 (sulfitos).

Sob condições de aeração, bactérias aeróbicas autotróficas utilizam a energia resultante dos processos de oxidação para a síntese de compostos orgânicos de carbono, sob condições anaeróbicas, o sulfato é reduzido a formas sulfúricas. Esse processo ocorre de maneira especial em solos muito argilosos e pesados ou em solos inundados e é provável que esse ocorra com certa intensidade nos solos ácidos de alta CTC do Estado do Acre, sendo, portanto, uma importante forma de redução da quantidade de enxofre disponível às plantas.

Além desses processos, o enxofre no solo, na forma de sulfato, pode ser adsorvido no complexo de troca aniônico ou lixiviado para partes mais profundas do perfil. A adsorção do sulfato é um processo comum em solos oxidicos do Brasil, porém, isso provavelmente não ocorre nos solos do Acre. Nos Latossolos do Estado tem sido encontrada uma baixa capacidade de adsorção para fosfato, o qual é fixado preferencialmente em relação ao sulfato. Além disso, também não tem sido constatada a presença de gibbsita (óxido de alumínio) nesses solos, o que implica em menor capacidade de adsorção; por outro lado, nos solos de média a alta CTC, provavelmente o ambiente eletroquímico favoreça a lixiviação do sulfato e não a sua adsorção. Essa lixiviação preferencial pode inclusive explicar a presença marcante de gipsita em profundidade, em diversos tipos de solo do Estado.

Cálcio e Magnésio

A presença de cálcio no solo normalmente está associada a determinados minerais de origem. Em geral, o conteúdo de cálcio no solo é menor que o conteúdo encontrado no material de origem porque esse nutriente é preferencialmente lixiviado. Freqüentemente, encontram-se depósitos de cálcio na forma de CaCO_3 ou de CaSO_4 em horizontes mais profundos do solo, às vezes, formando camadas endurecidas e, em especial, em regiões úmidas. Depósitos de gipsita (sulfato de cálcio) têm sido encontrados em camadas profundas de alguns solos do Estado do Acre.

A concentração de cálcio na solução do solo varia conforme o tipo de solo, estando normalmente em equilíbrio com as formas trocáveis, presentes na forma de adsorbatos na dupla camada iônica das superfícies eletronegativas dos solos. A proporção de cálcio no complexo de troca depende de inúmeros fatores, entre os quais o material de origem e o grau de evolução dos solos. Assim, quanto mais evoluídos forem os solos, menor a proporção de cálcio no complexo de troca e menor sua concentração na solução do solo.

Normalmente, a saturação com cálcio no complexo de troca é maior com o aumento do pH do solo. Nos solos do Estado do Acre, essa relação entre pH e saturação de cálcio nem sempre é observada. Ademais, pelo fato de que esses solos provavelmente sofreram em épocas geologicamente recentes um rejuvenescimento pela adição de cinzas vulcânicas, os teores de cálcio trocável não possuem correspondência com o grau de evolução pedogenética, sendo comuns valores de cálcio trocável muito acima daqueles encontrados em solos similares de outras regiões do País.

O ciclo do cálcio no solo é muito similar ao do potássio e a principal diferença é que não existe cálcio “fixado” no solo. O cálcio (Ca^{+2}) na solução do solo encontra-se em equilíbrio com as formas trocáveis, as quais são constantemente afetadas por perdas por lixiviação ou absorção pelas plantas. Diferentes proporções de cálcio podem ser solubilizadas, a partir de fertilizantes aplicados

(calcário e outras fontes), de minerais presentes no solo ou de precipitados na forma de compostos inorgânicos com sulfatos ou fosfatos. Os processos de mineralização e imobilização da matéria orgânica também contribuem para liberar ou imobilizar o cálcio, respectivamente.

Quando aplicado na forma de rochas calcárias moídas, o cálcio apresenta importantes efeitos como corretivo do solo, diminuindo o efeito da deficiência de bases trocáveis, a capacidade de fixação de fósforo e de molibdênio pelo solo, a toxidez de alumínio e de outros elementos tóxicos e aumentando a atividade microbiana.

De forma semelhante ao cálcio, o conteúdo de magnésio no solo normalmente pode ser associado à presença de determinados minerais. Entre os silicatados, destacam-se aqueles do grupo das olivinas, das biotitas, dos piroxenos e dos anfibólitos. Em solos calcários, o magnésio pode ser encontrado ainda na forma de dolomita e magnesita, podendo também acumular em solos de regiões áridas e semi-áridas na forma de sulfato de magnésio. No grupo dos filosilicatos, os principais minerais contendo magnésio são a illita, a montmorilonita e a vermiculita, ambas presentes na fração argila da grande maioria dos solos do Estado do Acre.

O magnésio (Mg^{+2}), presente na solução do solo, encontra-se em equilíbrio dinâmico com o magnésio adsorvido pelo complexo de troca catiônico, cujas quantidades e proporção com outros cátions são

variáveis entre os solos. Normalmente, os solos desenvolvidos sob sedimentos pobres em bases ou altamente intemperizados apresentam baixos teores de magnésio trocável, sendo eles intermediários entre os valores de cálcio e de potássio, embora, no Estado do Acre não seja incomum a verificação, em alguns solos, de teores de magnésio trocável superiores aos de cálcio.

O ciclo do magnésio no solo é muito semelhante ao de outros elementos alcalinos e alcalinos terrosos, como cálcio, potássio e sódio. A principal diferença, nesse caso, refere-se à magnitude dos processos envolvidos.

Nos solos do Estado do Acre, devido à presença de sílica na fração argila é possível que, caso o pH do solo seja corrigido para valores próximos à neutralidade, ocorra a fixação desse elemento por meio de reações de precipitação do magnésio com a sílica coloidal.

Micronutrientes

Os micronutrientes podem ser diferenciados pela sua natureza e comportamento químico do solo em dois grupos distintos: os de natureza catiônica e os de natureza aniônica. Assim, enquanto o boro e o molibdênio são ânions, o ferro, o cobre, o zinco e o manganês são cátions. Os ânions são absorvidos pelas plantas como H_2BO_3^- e MoO_4^{-2} e, por constituírem principalmente substâncias orgânicas, são controlados por reações de mineralização e de imobilização. Por sua vez, os elementos metálicos apresentam-se na solução do solo como cátions ou

na forma de quelatos, sendo absorvidos pelas plantas principalmente na forma de quelatos orgânicos. Normalmente, são constituintes de enzimas e coenzimas nos tecidos vegetais, ativando-as pela mudança de seu estado de oxidação.

Boro e Molibdênio

O boro presente nos solos pode ser proveniente de rochas ígneas ou de sedimentos marinhos. No solo, as principais fontes deste elemento são a turmalina, a água de chuva e os fertilizantes. Na solução do solo apresenta-se na forma orgânica ou inorgânica, esta última como ácido bórico ($H_2BO_3^-$), adsorvido no complexo coloidal do solo ou como constituinte de alguns minerais, formando o centro do tetraedro de algumas micas. O boro inorgânico é extraído do solo com água quente. A disponibilidade de boro diminui com o aumento do pH do solo e aumenta com o teor de matéria orgânica, sendo suas principais reações: a) adsorção (como ácido bórico ou como íon borato); b) formação de complexos com substâncias orgânicas; ou c) precipitação com alumínio ou silício. Em épocas geológicas anteriores, parte significativa do que é hoje o Estado do Acre era um grande lago marinho o que pode ter contribuído para o acúmulo de boro nos solos. Infelizmente, não há informações confiáveis sobre a disponibilidade de boro nesses solos na época atual.

O boro orgânico encontra-se na forma de ésteres do ácido bórico com componentes hidroxílicos, que

se originam dos processos de transformação da matéria orgânica e somente estará disponível para as plantas após ser mineralizado.

A adsorção do íon borato na solução do solo ocorre na presença de cargas eletropositivas de colóides de caráter anfótero que apresentam carga positiva ou negativa dependendo do pH do solo, como matéria orgânica, hidróxidos de ferro ou alumínio e argilas silicatadas. Além da adsorção, os íons boratos podem precipitar com cálcio, alumínio e silício. Aumentos do pH do solo e do teor de cálcio podem conduzir à precipitação dos íons boratos e à deficiência desse elemento.

O molibdênio encontra-se no solo em formas inorgânicas, constituindo minerais como o olivino, adsorvido no complexo coloidal, ou dissolvido na solução do solo e orgânicas, apresentando associado ao húmus. A maior fração de molibdênio é aquela adsorvida pelo complexo coloidal, sendo essa adsorção maior nos hidróxidos de ferro e alumínio e menor nas caulinitas. Quando adsorvido pelos hidróxidos de ferro ou alumínio, pode formar concreções, conduzindo a sérias deficiências desse nutriente, por passar para formas que não podem ser absorvidas pelas plantas.

A disponibilidade do molibdênio é maior com a mineralização da matéria orgânica e com o aumento do pH do solo e, em pH muito elevado, o aumento da disponibilidade pode resultar em toxicidade para animais ou vegetais.

Manganês, Cobre, Zinco e Ferro

O conteúdo de manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn) e ferro (Fe) apresenta características muito diferentes entre os elementos e entre os diferentes materiais de origem. Essas diferenças encontradas no material de origem referem-se ao grau de acidez da rocha matriz e, no caso de rochas sedimentares, aos seus processos de transformação. A mesma variação no conteúdo desses nutrientes é observada em relação aos tipos de minerais primários e secundários do solo.

Ainda, por meio de processos de intemperização, imobilização, precipitação, lixiviação, acumulação e fixação nos diferentes componentes do solo, é produzida uma grande diferenciação no conteúdo desses elementos. Os conteúdos de ferro e manganês são relativamente altos, em comparação com os de zinco e cobre. Entretanto, a determinação do conteúdo total desses elementos no solo não permite nenhuma conclusão a respeito de sua disponibilidade e reatividade, sendo necessário considerar suas diferentes formas: a) estrutural ou relacionada a minerais primários ou secundários presentes no solo; b) precipitada na forma de óxidos e hidróxidos, especialmente para manganês e ferro; c) incorporada na matéria orgânica formando quelatos; d) adsorvida no complexo coloidal; e e) solúvel e presente na solução do solo.

A diferenciação se realiza por diversos métodos de análise química, utilizando-se extratores sequenciais ou específicos.

O ciclo desses nutrientes no solo segue um esquema geral, com poucas variações: por intermédio de processos de intemperização dos minerais primários o nutriente pode ser liberado na solução do solo e 1) aproveitado pela planta; 2) absorvido pelos microorganismos do solo e imobilizado na forma de compostos orgânicos; 3) precipitado na forma de hidróxidos amorfos; 4) constituir quelatos ou complexos com substâncias orgânicas na solução do solo; ou 5) adsorvido pelo complexo de troca catiônica das superfícies eletronegativas das argilas, da matéria orgânica e dos hidróxidos e óxidos de ferro e alumínio. Quando se produz uma cristalização dos hidróxidos, como pode ocorrer para adsorção do manganês, é possível formar encrustações. Ainda, os óxidos de manganês e ferro estão sujeitos a reações de óxido-redução que ocorrem nos solos com a variação do potencial redox em consequência da produção de substâncias redutoras por microorganismos e ciclos de umedecimento e secagem.

Não existem informações suficientes que possam prever a disponibilidade desses nutrientes nos solos do Estado do Acre e mesmo as informações de outras regiões do País não podem ser adaptadas facilmente, visto as diferenças mineralógicas dos solos dessa região.

De qualquer forma, sempre que possível, é conveniente utilizar fertilizantes que contenham esses elementos, como as escórias de Thomas (fertilizante fosfatado) ricas em manganês, e

fertilizantes fosfatados em geral, os quais possuem maiores quantidades de cobre e zinco que os demais fertilizantes.

A utilização de quelatos orgânicos com esses elementos também deve ser considerada como uma importante fonte de fertilizante. A vantagem dos quelatos é que são facilmente acessíveis às plantas, resistentes à hidrólise e decomposição microbiana e não são rapidamente fixados pelo solo.

Referências Bibliográficas

DEMATTÊ, J. L. I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos**. Região Amazônica. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 215 p.

FASSBENDER, H. W. **Química de suelos**. Com énfasis en suelos de América Latina. Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1984. 398 p.

GAMA, J. F. N. F. Caracterização e formação de solos com argila de atividade alta no estado do Acre. Itaguai: UFRRJ, 1986. 150 p. (Tese de Mestrado).

GAMA, J. R. N. F.; KUSUBA, T.; OTA, T.; AMANO, Y. Influência de material vulcânico em alguns solos do Estado do Acre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 1, p. 103-106, jan./abr., 1992.

MÖLLER, M. R. F.; KITAGAMA, Y. **Mineralogia de argilas em cambissolos do sudoeste da amazônia brasileira**. Belém: Embrapa. CPATU, 1982. 19 p. (Boletim de Pesquisa, 34).

MÖLLER, M. R. F.; KITAGAMA, Y.; COSTA, M. P. Distribuição aproximada de minerais argilosos na folha SC-19 Rio Branco. In: Encontro de Profissionais de Química da Amazônia, 3., 1982. Manaus, AM. **Anais...** Manaus: 1982. p. 291-306.

RIBEIRO, M. KER, J. C.; AMARAL, E. F. do; SILVA, J. R. T.; DUARTE, M. A. Características químicas e mineralógicas de alguns solos do estado do Acre. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Resumos**. Rio de Janeiro: 1997. 1 CD-ROM.

SILVA, J. de R. T. da. **Solos do Acre**: caracterização física, química e mineralógica e adsorção de fosfato. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 1999. 117 p. Dissertação de Doutorado.

Capítulo 6

Amostragem de Solo

Edson Alves de Araújo
Eufran Ferreira do Amaral
João Luiz Lani

Introdução

No Estado do Acre, a terra tem sido utilizada predominantemente com pastagens e sistema de cultivo itinerante praticado pela agricultura familiar, sendo esse último mais comum em projetos de assentamento. Outras formas de uso da terra são o extrativismo vegetal (principalmente borracha e castanha) e a exploração madeireira. Cada um desses usos constitui agroecossistemas com características peculiares, exigindo, portanto, diferentes formas de amostragem de solo, para que a fertilidade desses sistemas possa ser avaliada de maneira precisa.

A amostragem de solo é uma das etapas fundamentais para a avaliação da fertilidade, sendo mais importante que as próprias determinações analíticas realizadas em laboratórios, pois de nada adiantará ter determinações químicas e físicas de alta precisão se a amostragem não for representativa.

O procedimento da amostragem do solo tem por objetivo coletar o material mais representativo possível de determinado espaço físico e que tenha influência sobre o crescimento das plantas.

Por esse motivo, a amostragem é considerada a etapa mais crítica de todo o processo de análise. Se por qualquer razão a amostra não for representativa, seus resultados não corresponderão à realidade da gleba amostrada, já que no laboratório

não há possibilidade de se efetuar qualquer tipo de ajuste ou correção. Com isso, dependendo da magnitude do erro associado a amostragem do solo, decisões errôneas poderão ser tomadas e, ao invés de se obter benefícios com o uso dos resultados, é mais provável que haja prejuízo. Embora seja possível refazer resultados imprecisos, a partir de uma nova amostragem, somente quem coletou tem condições de definir se dada amostra é representativa ou não.

O objetivo deste capítulo é contribuir com aspectos relacionados à análise de solo, em particular, no processo de amostragem, de modo a se obter uma adequada recomendação de corretivos e fertilizantes para os diferentes agroecossistemas do Acre.

Conceito de Amostragem e Variabilidade

A amostragem de solo consiste na primeira etapa do processo de recomendação de fertilizantes, corretivos ou técnicas de manejo visando melhorar ou conservar a sua fertilidade (Fig. 1).

Nessa etapa é necessário várias operações para extrair de um sistema porções que, combinadas e reduzidas a tamanho ou volume apropriado, resultam em uma amostra com características representativas. Cada uma dessas porções, chamada de amostra simples, é combinada para formar uma amostra composta.

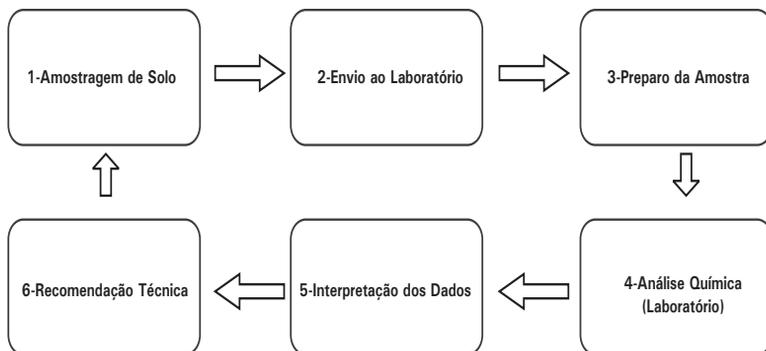


Fig. 1. Etapas para análise de solo: da coleta da amostra no campo à recomendação técnica de aplicação de calcário e fertilizantes.

Fonte: Silva (1999).

A tarefa de coletar amostras torna-se importante, pois na impossibilidade de analisar o solo por completo, é necessário colher amostras representativas para que possam ser extrapoladas a uma determinada área. Geralmente, utiliza-se uma quantidade muito pequena de solo para efetuar as análises no laboratório (Fig. 2).

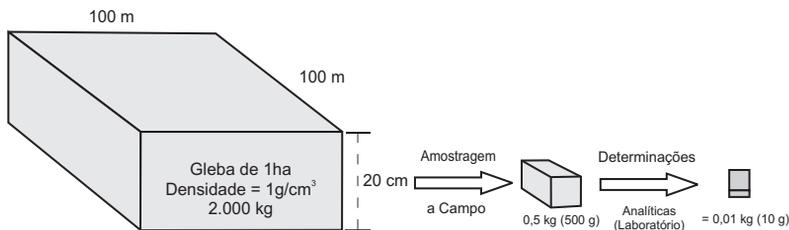


Fig. 2. Esquema representativo de uma gleba de 1 ha e as quantidades de solo utilizadas.

Isso significa que um volume de 10 gramas de solo, utilizado na determinação analítica dos seus principais nutrientes, representa 2 mil toneladas de solo se a amostra for retirada de uma área de apenas 1 ha. Esse cálculo serve para exemplificar a importância da amostragem na análise da fertilidade, pois quantidades muito pequenas usadas em laboratório (10 g) devem ser representativas de milhares de toneladas de solo (supondo um solo com densidade de 1 g cm^{-3}).

Outra importância inerente à amostragem diz respeito à variabilidade espacial, que tanto pode ocorrer na horizontal (em superfície) como na vertical (em profundidade). Os solos do Acre são pedogeneticamente novos, apresentando maior heterogeneidade que em outras regiões onde os solos foram sujeitos a processos de intemperismo mais intenso. Assim, as unidades amostrais devem ser definidas com bastante critério, separando-se a área a ser amostrada no maior número possível de unidades amostrais uniformes, conforme descrição adiante.

Amostragem de Solos

Plano de Amostragem

Para a amostragem é necessário elaborar um plano, ou seja, estudar previamente a forma como serão coletadas as amostras.

O passo inicial é separar a área total em áreas mais homogêneas o quanto for possível. Dentro de uma área homogênea espera-se que a variação entre os nutrientes e outras propriedades do solo seja mínima, de forma que as amostras compostas possam ser suficientes para caracterizar corretamente a área amostrada. Para tal, consideram-se a aparência superficial do solo, sua posição no relevo (topo, meia encosta, fundo de vale, margens do rio), o tipo de vegetação (mata, taboca, pluma), o tipo de uso (café, pastagem, capoeira) e o manejo dado à área (áreas aradas e não aradas que receberam calcário). Para qualquer variação observada quanto às propriedades do solo, deve-se separar a área em glebas para obter amostras compostas. Essas verificações devem ser feitas no local, não sendo recomendado utilizar mapas pedológicos em escalas menores que 1:100.000, nos quais 1 cm representa distâncias de 1 km, o que normalmente é muitas vezes superior à distância média entre dois pontos extremos de uma gleba homogênea. Os mapas atualmente disponíveis no Estado do Acre, em escalas de 1:1.000.000 ou 1:250.000, não possuem utilidade prática na definição da fertilidade do solo em qualquer gleba ou área a ser manejada para fins de adubação ou condução de uma lavoura qualquer. Muito embora possam ser úteis para nortear o técnico e/ou pesquisador quanto às principais classes de solo existentes na região.

Entre as variáveis que devem ser observadas, o relevo local é a mais importante, visto a possibilidade de ocorrerem zonas de enriquecimento e empobrecimento, devido à posição do solo no relevo. Assim, as partes mais elevadas do relevo são mais propensas a perdas de solo e nutrientes (zona de empobrecimento) do que as partes mais baixas. As áreas de baixada podem denotar áreas de acúmulo ou enriquecimento, o que já serve para estratificar tais ambientes.

A estratificação da área quanto ao tipo de vegetação e ao histórico de uso e manejo do solo depende muito da sensibilidade do técnico e da interação com o produtor. Normalmente, o produtor conhece bem a área que maneja, assim como as variações de textura, cor do solo, presença de impedimentos à drenagem ou ocorrência de plantas espontâneas endêmicas, entre outras importantes características que devem ser usadas para diferenciar as glebas. Comumente o que se encontra em muitas áreas é um mosaico de uso do solo, ou seja, áreas geralmente compostas de pastagem, capoeiras de várias idades e áreas de cultivo, que evidentemente deve ser estratificado de modo a se obter uma amostragem mais eficiente e eficaz.

Algumas plantas de ocorrência natural (invasoras ou erva daninha) em áreas desbravadas podem servir como indicadoras para estratificar determinados ambientes, assim como suas potencialidades e restrições (Tabela 1). Entretanto, as indicações obtidas pela presença dessas plantas não são, por si sós, suficientes para quantificar a fertilidade do solo, contudo, podem ser usadas para separar glebas homogêneas dentro de cada área amostrada.

Tabela 1. Plantas espontâneas indicadoras de ambientes e características relacionadas à fertilidade do solo.

Nome comum	Espécie ou gênero	Interpretação
Sapé ^{1,2}	<i>Imperata brasiliensis</i>	Normalmente denota solos de caráter ácido e pobres quimicamente. Excepcionalmente pode ocorrer em solo eutrófico
Tiririca ¹	Cyperaceae	Indicativo de solo com impedimento de drenagem (solo raso)
Capim colônia ^{1, 2}	<i>Panicum</i> sp.	Planta exigente sob o ponto de vista nutricional, denota solos ricos quimicamente
Capim rabo de burro	Gramineae	Indica solos com forte restrição de drenagem. Normalmente está presente em baixadas úmidas
Capim jaraguá ²	<i>Hyparrhenia rufa</i>	Geralmente eutrófico. Muito comum nas margens das rodovias na região leste do Estado. Foi uma das primeiras gramíneas forrageiras introduzidas no Acre
Assa-peixe ³	<i>Vernonia polyanthes</i>	Ocorre em pastagens e áreas ácidas. É considerada como padrão de terra de baixa fertilidade
Malva ¹	<i>Urena lobata</i>	Indica presença de solos de textura média e arenosa
Pluma ⁴	<i>Pteridium aquilinum</i>	Ocorre comumente na regional do Juruá (Cruzeiro do Sul, Mâncio Lima e Rodrigues Alves) como planta espontânea em áreas já desmatadas. Indica geralmente solos de textura arenosa e pobres quimicamente

Fonte: ¹Araújo et al. (2000); ²Resende et al. (1988); ³Aranha et al. (1987); ⁴Amaral et al. (2000).

Tipos de Amostra, Época de Amostragem e outras Informações

Tipos de Amostras

As amostras podem ser simples ou compostas. A amostra composta consiste na mistura de partes iguais de várias amostras simples retiradas ao acaso em uma gleba homogênea.

As amostras simples devem ser coletadas na profundidade de 0 a 20 cm quando para fins de recomendação de adubação e calagem de culturas anuais. Recomenda-se também a coleta na profundidade de 20 a 40 cm no caso de culturas perenes, com o propósito de identificar se há algum impedimento químico ao desenvolvimento das raízes em profundidade. Uma vez que a aplicação de corretivos ou fertilizantes a essa profundidade do solo é mais onerosa e mais difícil de ser executada, as informações da análise muitas vezes aplicam-se mais para determinar a viabilidade ou não da implantação de determinado tipo de cultivo na área amostrada.

Amostras de 0-5, 5-10, 0-10 ou de 10-20 cm de profundidade também podem ser retiradas, porém são úteis apenas para se conhecer a distribuição da fertilidade ao longo do perfil do solo. Para fins de formulação de adubação e calagem, a coleta de amostras homogêneas de 0-20 cm é mais indicada, visto que as quantidades de corretivos e fertilizantes a serem recomendadas serão as mesmas, caso

sejam coletadas amostras em profundidades parciais. Acrescente-se ainda que é impraticável a aplicação de uma determinada quantidade de adubo ou corretivo na profundidade de 0-10 cm e de outra quantidade à profundidade de 0-20 cm.

Época de Amostragem

Para a maioria das análises químicas as amostragens de solo podem ser efetuadas em qualquer período do ano. Entretanto, se houver interesse em avaliar o nitrogênio do solo, a época do ano terá grande importância, com a recomendação de que as amostras sejam feitas sempre no mesmo período, para que tenham sentido prático.

De modo geral e considerando o tempo gasto no transporte ao laboratório, para análise das amostras, o envio dos resultados analíticos e a recomendação de calagem e adubação ao interessado, é aconselhável coletar as amostras de solo com 2 meses de antecedência à época ideal para a calagem, ou no mínimo 90 dias antes do plantio, se for para culturas anuais.

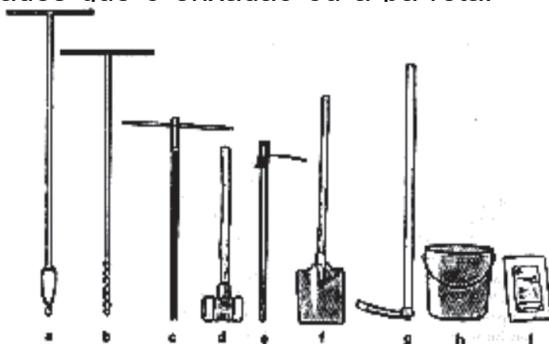
Materiais para Amostragem

Existem várias ferramentas que podem ser utilizadas na coleta de amostras de solo (Fig. 3).

Uma dica muito importante é que quanto mais uniforme for o volume de solo coletado em cada ponto, melhor será a amostragem. A quantidade coletada em cada camada de profundidade do solo (primeiros centímetros, porção mediana e últimos

centímetros) também deve ser uniforme. Nesse sentido, os trados não estão entre as ferramentas mais indicadas do ponto de vista da representatividade da amostra, embora sejam preferidos devido a sua praticidade.

Outro ponto importante é que quanto maior a quantidade de solo coletada em cada ponto amostral, melhor será a representatividade da amostra simples e, por consequência lógica, da amostra composta. Geralmente os trados deformam as amostras e retiram menores quantidades que o enxadão ou a pá reta.



a: trado holandês – bom desempenho em qualquer tipo de solo, mas exige grande esforço físico.

b: trado de rosca – mais adequado para solos arenosos e úmidos.

c: calador – ideal para amostragem em terra fofa e ligeiramente úmida.

d: marreta.

e: trado tubular – utilizado para solos secos e compactados.

f e g: pá de corte ou pá reta – mais disponível e simples para o agricultor. A pá de corte deve ser usada isoladamente em terra úmida e fofa, ou com o enxadão em solo seco e compactado. Esse conjunto de ferramentas é o mais adequado para a amostragem de solos e deve ser preferido sempre que possível.

h: balde – utilizado para mistura das amostras simples.

i: saco plástico – pode-se usá-lo em substituição ao balde.

Fig. 3. Equipamentos mais comuns para a coleta de amostras de solos.

Assim, sempre que possível, recomenda-se retirar amostras com o uso do enxadão ou da pá reta. Se for utilizada a amostragem por trados, o mais indicado é que o número de pontos amostrados seja maior. Dependendo da ferramenta a ser utilizada, o número de pontos (amostras simples) por gleba homogênea pode variar de 15 a 40, por amostra composta.

Cuidados na Amostragem

Durante o processo de amostragem faz-se necessário tomar alguns cuidados para que a amostra seja a mais representativa possível. Assim, quando se tomam amostras em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm), deve-se cuidar para que as camadas não sejam misturadas, fato que pode ocasionar graves erros nos resultados finais. Esse cuidado deve ser tomado principalmente quando se realiza a amostragem com trado, retirando-se sempre, após cada tradagem, o excesso de solo que fica retido na parte superior do trado, especialmente ao se amostrar a camada de 20 a 40 cm.

Para uma melhor qualidade da amostra deve-se fazer uma limpeza na superfície do solo, retirando-se partes de plantas, folhas ou gravetos. Deve-se cuidar, entretanto, para não remover nenhuma quantidade de solo, o qual deve ser amostrado a partir de sua superfície.

Outro cuidado importante é evitar a coleta de amostras próximas a currais, fossas, cupinzeiros, formigueiros, etc. Qualquer contaminação com solos

desses locais, por menor que seja, afeta os resultados analíticos.

É importante também que, durante a mistura das amostras simples, os baldes ou vasilhames utilizados estejam bem limpos, com água corrente, sem contaminação com restos de sabão. Deve-se também evitar o contato do solo com o suor, o que pode resultar em alterações no teor de cátions trocáveis como o sódio. As embalagens usadas para guardar o solo também podem ser fonte de contaminação. Assim, deve-se evitar o uso de embalagens utilizadas anteriormente com refrigerantes, combustíveis, enlatados, etc., de forma a prevenir a contaminação, principalmente por fósforo e carbono orgânico. O ideal é utilizar saco plástico sem uso anterior.

Em muitos casos, quando a amostra necessitar permanecer armazenada por algum tempo antes de ser processada para análise, recomenda-se uma secagem prévia, de forma a evitar alterações na composição química do solo. A secagem prévia consiste em colocar a amostra para secar ao ar livre, na sombra, por 2 a 3 dias.

Acondicionamento e Identificação da Amostra

As amostras precisam ser corretamente identificadas com etiquetas e caracterizadas em formulários próprios, fornecidos pelos laboratórios de análises, para que ao final seja possível determinar a qual gleba corresponde o resultado obtido. Recomenda-se que a etiqueta seja preenchida

utilizando lápis ou grafite, a fim de evitar que fique ilegível, caso molhe. Podem-se também utilizar dois sacos plásticos: um com solo e etiquetado do lado de fora e outro para proteger essa embalagem. Para acondicionamento da amostra o mais usual são sacos plásticos novos de 1 ou 2 kg.

Com a amostra devidamente identificada, devem ser registrados em formulário próprio os seguintes itens: nome do solicitante; data e período da amostragem; local da amostragem (estado, município, nome da propriedade e, se possível, as coordenadas locais); número da amostra; profundidade de coleta e tamanho da área amostrada; tipo de relevo (encosta de morro, terra plana, alto do morro, várzea ou baixada).

Referências Bibliográficas

AMARAL, E. F.; LANI, J. L.; ARAÚJO, E. A.; PINHEIRO, C. L. S.; BARDALES, N. G.; AMARAL, E. F.; OLIVEIRA, M. V.; BEZERRA, D. C. F. **Ambientes com ênfase no solo: Rio Branco a Mâncio Lima, Acre.** Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 1 CD-ROM.

ARANHA, C.; LEITÃO FILHO, H. F.; YAHN, C. A. **Sistemática de plantas invasoras.** Campinas: IAC, 1987. 174 p.

ARAÚJO, E. A.; ALECHANDRE, A. S.; PAIVA, M. S. Estudo preliminar de ocorrência de plantas espontâneas em dois Sistemas Agroflorestais no Estado do Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 3, 2000, Manaus, AM. **Anais...** Manaus, CPAA, 2000. 461 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D. P. **Pedologia e Fertilidade do solo: interações e aplicações.** Brasília: Ministério da Educação; Lavras: ESALQ; Piracicaba: POTAFOS, 1988. 81 p.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 370 p.

Capítulo 7

Interpretação de Resultados de Análises de Solos

Paulo Guilherme Salvador Wadt
Manoel da Silva Cravo

Introdução

O desenvolvimento do agronegócio no Estado do Acre é recente. Até o início da década de 70, sua economia esteve baseada quase que exclusivamente no extrativismo vegetal. Recentemente, a pecuária de corte e a agricultura familiar migratória, esta última baseada nos assentamentos rurais, passaram paulatinamente a ganhar importância econômica.

Apesar desse novo modelo, com algumas poucas exceções, não houve preocupação quanto ao desenvolvimento de tecnologias para avaliar a fertilidade do solo e ensaios de calibração de adubação para as condições edafoclimáticas do Estado. Essa carência de informações impossibilita definir critérios para interpretar os resultados de análises de solos de forma confiável, indicando que definições mais precisas somente serão possíveis nas futuras aproximações.

Entretanto, independentemente dessas limitações, foram definidas classes de disponibilidade no solo para nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e para os micronutrientes boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Estas classes de disponibilidade basearam-se em recomendações adotadas em outros estados da federação, fazendo-se adaptações conforme o nível de conhecimento acumulado localmente.

Os critérios para definir as classes de interpretação da fertilidade do solo em outros estados da Amazônia não foram utilizados diretamente, nessa primeira aproximação, pois a formação geológica dos solos

no Estado do Acre difere daquelas observadas no restante da Amazônia Brasileira. Foram constatadas importantes diferenças nas propriedades mineralógicas, químicas e físicas dos solos do Estado, cujas características indicam que o conhecimento gerado em outras regiões não pode ser extrapolado sem qualquer adaptação local.

Quanto à construção das tabelas de interpretação, a solução adotada foi utilizar níveis de classe de disponibilidade de nutrientes de maior amplitude, reduzindo-se, conseqüentemente, a três o número de classes de interpretação para cada nutriente.

Adicionalmente, novos conceitos relacionados ao estado atual de desenvolvimento da agricultura na região foram incorporados, como, por exemplo, a definição de classes de disponibilidade para nitrogênio em função do grau de utilização antrópica do solo, possível somente pela apropriação da experiência local que espera maior freqüência de resposta à adubação nitrogenada em solos com uso mais intensivo e que estejam sendo cultivados por um período aproximado de 5 ou mais anos.

A adubação nitrogenada normalmente é determinada a partir de duas variáveis principais: reservas de nitrogênio no solo e demanda pela planta. Para cultivos de alta produtividade e principalmente para aqueles de ciclo curto, como por exemplo os cultivos de cereais, a demanda por nitrogênio dá-se em períodos curtos e em taxas elevadas, de forma que a mineralização no nitrogênio do solo, mesmo naqueles com alto teor de matéria orgânica e baixa

relação C/N, não é suficiente para atender às exigências da cultura. Nesse caso, a adubação complementar com nitrogênio em cobertura é fundamental para garantir o potencial produtivo das culturas. Além disso, não há até o momento método confiável para a determinação das quantidades de nitrogênio disponíveis no solo.

Desses dois fatos decorre que em praticamente todas as recomendações oficiais de adubação nitrogenada, pouco esforço tem sido feito para definir as doses segundo a disponibilidade no solo. Por outro lado, o conhecimento empírico é coerente ao afirmar que em áreas recém-desmatadas a disponibilidade de nitrogênio tende a ser suficiente para atender às quantidades exigidas pela vegetação. Isso significa que nessas áreas, mesmo sem a adubação nitrogenada, as lavouras poderão apresentar um crescimento vegetativo razoavelmente bom, sem que, contudo, esse crescimento reflita-se em boas produtividades, já que haverá fome oculta de nitrogênio e, assim, deficiência na formação de proteínas e outros compostos nitrogenados. Contudo, a constatação importante é que o nitrogênio contido no solo pode ser suficiente para formação inicial da cultura.

Assim, a disponibilidade de nitrogênio no solo afetará principalmente a adubação de plantio, enquanto a demanda da planta, segundo seus patamares de produtividade, determinará a adubação de cobertura. Na prática, significa que se podem reduzir as

quantidades de nitrogênio recomendadas na adubação de plantio, em áreas recém-desmatadas, e essa redução poderá ainda ser maior se o solo apresentar elevados valores para a CTC (capacidade de troca catiônica), já que a maior CTC auxiliará na retenção no complexo sortivo das formas amoniacais do nitrogênio recém-mineralizado após o processo de desmatamento, permitindo sua liberação gradual nos primeiros anos de exploração agrícola.

Para o enxofre não foi elaborada uma tabela de interpretação, embora, em princípio, seja possível adotar o mesmo critério utilizado para o nitrogênio.

Quanto ao fósforo, as classes de disponibilidade foram definidas em função da textura do solo estimada pelo teor de argila ou valor do P-remanescente. Os valores utilizados para essa primeira aproximação basearam-se em pesquisa realizada com a adsorção de fósforo em amostras de solos da região leste do Estado. Para outros nutrientes esse critério não foi utilizado, embora possa vir a ser usado nas futuras aproximações se houver informações disponíveis para as condições do solo do Estado do Acre.

Por causa da ausência de informações que auxiliassem o refinamento das interpretações para cada nutriente, decidiu-se adotar um único critério, independentemente do sistema de produção ou espécie vegetal.

Assim, para todos os nutrientes foram determinadas no máximo três classes de disponibilidade. Provavelmente nas futuras aproximações será possível definir melhor essas classes de disponibilidade se forem realizados ensaios de calibração.

Quanto aos nutrientes cálcio, magnésio e à interpretação das fontes de acidez do solo, suas implicações foram abordadas em publicação à parte, dada sua relevância para o manejo da fertilidade nos solos do sudoeste amazônico. Os demais nutrientes foram tratados da forma convencional, fazendo-se somente os ajustes com base nas premissas já discutidas.

Classe de Disponibilidade de Nitrogênio

As classes de disponibilidade de nitrogênio foram definidas segundo o histórico da área e a CTC do solo (Tabela 1). Informações como uso de leguminosas em rotação com a cultura principal ou em consórcio também devem ser utilizadas para melhor definir a classe de disponibilidade do nitrogênio.

Tabela 1. Classes de interpretação da disponibilidade de nitrogênio no solo.

Nitrogênio disponível		
Baixo	Médio	Alto
Solos com uso agrícola > 5 anos; CTC < 10 $\text{cmol}_{(c+)}.\text{dm}^{-3}$; sem utilização de adubos orgânicos ou verdes	Solos recém-desmatados, com CTC > 10 $\text{cmol}_{(c+)}.\text{dm}^{-3}$ e com teor de carbono orgânico < 1,1 dag kg^{-1} ; com utilização de adubos orgânicos ou verdes	Solos recém-desmatados, com CTC > 10 $\text{cmol}_{(c+)}.\text{dm}^{-3}$ e com teor de carbono orgânico > 1,1 dag kg^{-1}

Classe de Disponibilidade de Fósforo

As classes de disponibilidade de fósforo (P) variam com o teor de P disponível extraído pelo método Mehlich-1 e em função da capacidade de fixação do fosfato, estimada pelo valor P-remanescente (P-rem) (Tabela 2) ou, na falta desse valor, pelo teor de argila do solo (Tabela 3).

Tabela 2. Classes de interpretação da disponibilidade de fósforo no solo, em função do teor de fósforo remanescente (P-rem).

Característica	Fósforo disponível (P), mg dm^{-3}		
	Baixo	Médio	Alto
0-9	$\leq 6,0$	6,0 a 12,0	> 12,0
10-30	$\leq 10,0$	10,0 a 24,0	> 24,0
> 30	$\leq 15,0$	15,0 a 45,0	> 45,0

Tabela 3. Classes de interpretação da disponibilidade de fósforo no solo, em função do teor de argila.

Característica	Fósforo disponível (P), mg dm ⁻³			
	Teor de argila (%)	Baixo	Médio	Alto
≤ 35		≤ 6,0	6,0 a 12,0	> 12,0
15 a 35		≤ 10,0	10,0 a 24,0	> 24,0
≤ 15		≤ 15,0	15,0 a 45,0	> 45,0

Classe de Disponibilidade de Potássio

As classes de disponibilidade de potássio (K) variam com o teor de K disponível, extraído pelo método Mehlich-1 (Tabela 4).

Tabela 4. Classes de interpretação da disponibilidade de potássio no solo.

Potássio disponível (K), cmol ₍₊₎ dm ⁻³		
Baixo	Médio	Alto
≤ 0,10	0,10 a 0,30	> 0,30

Classe de Disponibilidade de Micronutrientes

As classes de disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco foram estabelecidas em função dos teores obtidos pelo extrator Mehlich-1. Para o boro o método de extração é o da água quente (Tabela 5).

Tabela 5. Classes de interpretação da disponibilidade dos micronutrientes cobre, ferro, manganês e zinco no solo.

Nutriente	Micronutrientes, mg dm ⁻³		
	Baixo	Médio	Alto
Boro	≤ 0,35	0,35 – 0,90	> 0,90
Cobre	≤ 0,70	0,70 a 1,80	> 1,80
Ferro	≤ 18	18 a 45	> 45
Manganês	≤ 5	5 a 12	> 12,0
Zinco	≤ 0,9	0,9 2,2	> 2,2

Capítulo 8

Nutrição Mineral de Plantas e Diagnose Foliar

Sérvulo Casas Furtado
José Márcio Malveira da Silva
Nilson Gomes Bardales

Introdução

A prática de uma adubação racional e adequada ao desenvolvimento do potencial genético de uma cultura só será possível com a aplicação de todos os conhecimentos científicos envolvidos na relação solo-planta. Nesse contexto, a nutrição mineral de plantas é parte fundamental dos conhecimentos necessários para se fazer uma recomendação correta de adubação. Ela fornece informações sobre os elementos essenciais às plantas, a quantidade e quando são mais exigidos, como são absorvidos, transportados e redistribuídos, e as funções desempenhadas.

A manutenção do crescimento e desenvolvimento das plantas superiores requer luz, água e nutrientes minerais. A absorção de nutrientes pelas raízes das plantas, a partir da solução do solo, é um fato há muito conhecido. No primeiro passo desse processo, o nutriente entra em contato com a raiz, sendo absorvido e translocado em seguida para a parte aérea na qual desenvolve todas as suas funções.

O estado nutricional das plantas pode ser avaliado determinando os níveis dos diferentes nutrientes nos tecidos, mediante análise química de seu conteúdo elementar, sendo essa avaliação uma ferramenta para orientar no cálculo das adubações.

Esse processo denomina-se diagnose nutricional e é útil principalmente por possibilitar a constatação de deficiências nutricionais na planta, antes que

ocorra o aparecimento de sintomas típicos, quando a carência já está bastante prejudicial à cultura.

A diagnose nutricional consiste em analisar um órgão representativo, em seu estágio de pleno desenvolvimento fenológico. Nesse caso, as folhas são as mais indicadas pois nelas ocorrem as principais etapas dos processos fotossintéticos, anabólicos e catabólicos do metabolismo vegetal e qualquer disfunção em seu estado nutricional reflete diretamente nesses processos, afetando, assim, o potencial produtivo da planta.

A análise dos tecidos vegetais pode fornecer informações sobre carência ou excesso de nutrientes, não ocorrendo o mesmo com a análise de solos. Uma das razões disso é que mesmo havendo indicações de suficiência de determinados nutrientes no solo, o suprimento pode ser comprometido devido a fatores que influenciam a absorção.

A análise do estado nutricional das plantas é feita com a análise do solo, assim a avaliação pode ser mais eficiente e permitir melhores decisões a respeito da necessidade de redirecionamento do programa de adubação.

Para os micronutrientes o uso da análise de tecidos torna-se ainda mais importante, considerando a carência de valores de referência para interpretar seus teores no solo e a falta de padronização dos métodos analíticos empregados em sua determinação.

Neste capítulo serão abordados os princípios básicos que norteiam a nutrição mineral de plantas, dando ênfase aos aspectos relacionados ao sistema solo-planta, diagnose foliar e elementos tóxicos.

Composição da Planta

A análise química da matéria seca das plantas mostra que cerca de 90% do total de elementos corresponde aos nutrientes carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H); o restante aos minerais nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), boro (B), zinco (Zn), cloro (Cl) e outros de importância variável conforme a planta ou microorganismo simbiótico associado, como é o caso do molibdênio (Mo), silício (Si) e níquel (Ni).

A composição das plantas provém de elementos químicos contidos no meio gasoso, líquido e sólido:

Gasoso (ar) – carbono (como CO_2).

Líquido (água) – hidrogênio e oxigênio.

Sólido (solo) – os demais elementos minerais.

Os nutrientes fornecidos pelo solo normalmente são aqueles que regulam as taxas de crescimento e desenvolvimento das plantas. Por isso, em muitos casos, técnicas de recuperação do potencial produtivo dos solos, baseadas na calagem e na adubação, constituem a maneira mais rápida que se dispõe para aumentar a produção das culturas.

O Sistema Solo–Planta

O solo é o ambiente que atua como reservatório de nutrientes necessários às plantas e pode ser interpretado como um sistema composto por compartimentos e vias de comunicação ou transferência de nutriente de uma planta a outra.

O sistema solo–planta consiste de três fases: sólida, líquida e gasosa. Porém, do ponto de vista do fornecimento de nutrientes minerais, apenas as fases sólida e líquida serão consideradas.

No solo, o principal reservatório dos nutrientes encontra-se na fase sólida, precisando passar à fase líquida para ser aproveitado pelas plantas.

A passagem do nutriente da fase sólida para a interface solução–raiz pode ocorrer por três processos, geralmente funcionando ao mesmo tempo, embora com participação relativa diferente:

1) Interceptação radicular – ao se desenvolver no solo, a raiz entra em contato com as partículas da fase sólida e, portanto, com os nutrientes presos a ela, podendo então absorvê-los, assim os nutrientes passam diretamente da fase sólida para a líquida (espaço intra ou extracelular).

2) Fluxo de massa – é o processo pelo qual o nutriente que está dissolvido na solução do solo é arrastado por ela na medida em que a planta absorve água. Desse modo, quando ocorre a absorção, o nutriente que está na solução do solo praticamente

acompanha a água que penetra na planta através da raiz.

3) Difusão – é o processo pelo qual o nutriente que está dissolvido na solução do solo movimenta-se de uma região de maior para outra de menor concentração, sempre a distâncias muito curtas.

A contribuição relativa de cada um desses processos no fornecimento de nutrientes depende principalmente do elemento avaliado (Tabela 1), embora varie também em função da espécie vegetal.

Analisando os dados dessa natureza permitem-se recomendações como (Carvalho & Bastos, 1999; Vale et al., 1995; Vitti, 1988):

1) O adubo nitrogenado deve ser aplicado de maneira tal que a água possa conduzi-lo até a raiz, já que sua absorção depende essencialmente do fluxo de massa.

2) Os adubos fosfatados e potássicos devem ser localizados de modo a garantir o maior contato com a raiz, já que dependem do processo de difusão e, se localizados distantes, seu pequeno movimento pode não ser suficiente para garantir as necessidades das plantas.

Tabela 1. Contribuição relativa da interceptação radicular, do fluxo de massa e da difusão no fornecimento de macronutrientes para o milho, com produção de 9 Mg ha⁻¹.

Macronutrientes	Total	Quantidades (kg ha ⁻¹)		
		Interceptação	Fluxo de massa	Difusão
N	170	2	168	0
P	35	1	2	33
K	175	4	35	136
Ca	35	60	150	0
Mg	40	15	100	0
S	20	1	19	0

Fonte: Carvalho & Bastos (1999).

Análise semelhante pode ser feita com os micronutrientes, já que os processos de contato do nutriente com a raiz estão entre os fatores que determinam a localização do adubo em relação à semente ou planta (Tabela 2).

Tabela 2. Contribuição relativa da interceptação radicular, do fluxo de massa e da difusão no fornecimento de micronutrientes para o milho.

Micronutrientes	% aproximada suprida por			Forma de aplicação
	Intercepção	Fluxo de massa	Difusão	
Mn	15	5	80	Faixa
Zn	20	20	60	Faixa ou lanço
Fe	50	10	40	Lanço
Cu	70	20	10	Lanço
B	-	65	-	Lanço

Fonte: Carvalho & Bastos (1999).

Como visto, a forma de aplicação do nutriente no solo depende principalmente do processo que a planta utiliza para a absorção radicular. Caso esses fatores não sejam considerados, pode-se comprometer a eficiência das adubações mesmo que as quantidades aplicadas tenham sido suficientes para atender às necessidades das plantas.

Princípios Gerais da Diagnose Foliar

Um dos procedimentos mais usuais para avaliar o estado nutricional das plantas consiste em fazer uma comparação entre uma amostra e um padrão. A amostra é uma planta ou um conjunto de plantas do qual se deseja conhecer o estado nutricional (uma cultura inteira ou parte dela) e o padrão é uma planta ou um conjunto de plantas considerado saudável, com bom aspecto fitossanitário e que apresenta produtividade elevada.

A planta quando bem nutrida não apresenta qualquer anormalidade visual e todos os macro e micronutrientes estão presentes nos seus tecidos em quantidades e proporções compatíveis com o crescimento e produção.

Quando há deficiência severa de um determinado nutriente, a planta desenvolve uma sintomatologia típica relacionada a essa carência. Isso porque um dado nutriente exerce sempre as mesmas funções, qualquer que seja a espécie de planta. Porém, deve-se considerar que a variação do teor do nutriente no tecido vegetal acontece gradualmente, com os sintomas e os sinais se tornando cada vez mais

visíveis à medida que ocorre maior desvio em relação ao valor considerado adequado.

Portanto, a composição mineral da folha é uma consequência de fatores que influenciam a absorção, o transporte a longas distâncias e translocação dos nutrientes. A fertilidade do solo ou nível de aplicação de fertilizantes e de materiais calcários, condições climáticas, idade da planta, variedade ou cultivar, práticas culturais, pragas e doenças também afetam a absorção dos nutrientes (Raij, 1991).

Amostragem de Material Vegetal

A diagnose foliar consiste na utilização de tecidos foliares para avaliar o estado nutricional e baseia-se na amostragem de folhas fisiologicamente ativas que representa o estado atual da nutrição mineral na planta ou lavoura amostrada. As folhas são utilizadas porque melhor refletem melhor o estado nutricional, devendo-se usar aquelas recém-maduras e numa idade ou estágio fenológico da planta em que haja correspondência entre a composição nutricional das folhas amostradas e a produtividade da lavoura (Vale et al., 1995). Essas informações são obtidas por meio de ensaios de calibração e depois utilizadas em tabelas de amostragens (Tabela 3).

Coleta das Amostras

Geralmente, as partes da planta amostradas devem ser as que apresentam maior estabilidade possível em relação aos fatores os quais afetam a composição

mineral, sendo também sensíveis em refletir variações de composição decorrentes de diferenças de suprimento de nutrientes. De maneira geral, isso significa colher folhas recém-maduras de talhões homogêneos.

Em geral, são suficientes 50 a 100 folhas por talhão. Para espécies herbáceas, é comum a amostragem das folhas recém-maduras completamente desenvolvidas; e para as lenhosas, folhas maduras do terço médio do broto do ano, com posição bem definida em relação aos frutos.

A posição de amostragem ideal é aquela em que ocorrem menores flutuações nas concentrações de nutrientes ao longo do ano. Quanto às espécies perenes, utiliza-se a época de menor flutuação estacional como a mais indicada para o diagnóstico do estado nutricional.

A padronização da amostragem de plantas é essencial para o sucesso da diagnose foliar. Além disso, contaminações por pulverizações podem prejudicar a interpretação. Para a diagnose de micronutrientes, não devem ser feitas aplicações foliares no período que antecede a amostragem de folhas.

Geralmente, cada espécie vegetal apresenta épocas e tipos de folhas específicos que devem ser amostrados (Tabela 3).

Tabela 3. Recomendação de amostragem para diagnóstico foliar das principais espécies cultivadas.

Cultura	Época	Tipo de folha	Número de folhas ha ⁻¹
Abacate	Meio do período chuvoso	Folhas de 4 meses de idade; ramos terminais sem laterais e sem frentes, meia altura da planta	100 folhas de 20 plantas
Abacaxi	Meio do período chuvoso	Folha "D" = folha recém-amadurecida, num ângulo de 45°, análise da folha inteira ou porção basal não clorofilada	50
Abóbora	Fim do período chuvoso	Pecíolo de folha bem madura	40
Alface	Meio do período chuvoso	Folhas recém-maduras	40
Amendoim	Início do florescimento	4ª folha da haste principal a partir da base (1ª = acima dos ramos cotiledonares)	30
Arroz	Meio do perfilhamento	Folha Y (posição ocupada em relação à folha mais nova desenrolada acima)	50
Bananeira	Meio do período chuvoso	Folha III (abaixo e oposta às flores); porção mediana (10 cm largura) clorofilada	25
Cacau	Meio do período chuvoso	3ª folha a partir da ponta, lançamento recém-amadurecido, plantas a meia sombra	18

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Cultura	Época	Tipo de folha	Número de folhas ha ⁻¹
Café	Meio do período chuvoso	3 ^o e 4 ^o pares de folhas, a partir da ponta, ramos a meia altura e produtivos	30
Caju	Florescimento	Folhas recém-maduras do ano	40
Cana-de-açúcar	Aos 9 meses, ou aos 4-5 meses para "cana-de-ano"	20 cm centrais da folha + 3, excluída a nervura central	20-30
Cenoura	Início do florescimento	Folhas recém-maduras	40
Citrus	Meio do período chuvoso	Folhas do ciclo do inverno, de ramos frutíferos, frutos com 2-4 cm de diâmetro, 3 ^a ou 4 ^a folha a partir do fruto	25
Couve-flor	Formação da cabeça	Folhas recém-maduras	40
Couve	Meio do período chuvoso	Nervura principal da folha recém-madura	40
Cupuaçu	Meio do período chuvoso	3 ^a folha a partir da ponta, lançamento recém-amadurecido, plantas a meia sombra	18
Feijão	Início do florescimento	1 ^o folha amadurecida	30
Goiaba	Meio do período chuvoso	4 ^o par, ramos terminais sem frutos	30
Guaraná	Meio do período chuvoso	Folhas recém-maduras; ramos a meia altura	30
Mamão	Um mês depois de terminar o crescimento dos ramos	Ramos medianos; a partir da ponta	18

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Cultura	Época	Tipo de folha	Número de folhas ha ⁻¹
Mandioca	Quando a planta atingir 1/3 de sua altura final	Limbo ou folíolo da folha que faz um ângulo de 90° com o caule ou aproximadamente a 1ª folha a partir do ápice da haste	30
Maracujá	Fim do período chuvoso	Ramos medianos; 4ª folha a partir da ponta	40
Melancia	Meio do ciclo	Nervura principal da folha recém madura	40
Melão	Meio do ciclo	Pecíolo da 6ª folha a partir da ponta	40
Milho	Aparecimento da inflorescência feminina (cabelo)	Folha oposta e abaixo da espiga	30
Pepino	Embotoamento	Pecíolo da 6ª folha a partir da ponta	40
Pimentão	Primeiro fruto	Pecíolo da 6ª folha a partir da ponta	40
Pupunha	Período chuvoso	Folíolos do quinto central de folha mediana, 2-3 meses antes do corte	30
Repolho	Floração, 1º fruto ou 1º fruto maduro	Pecíolo da 6ª folha a partir da ponta	40
Soja	Florescimento pleno	Nervura principal da folha envolvente	30
Tomate	Primeiros frutos	Folhas recém-maduras	30

Fonte: Adaptada de Malavolta (1980); Raij (1991); Malavolta et al. (1997).

Preparo e Envio da Amostra ao Laboratório

O preparo, acondicionamento e envio das amostras para análise devem ser feitos com maior cuidado. O ideal é que a amostra chegue ao laboratório ainda verde, no mesmo dia da coleta, acondicionada em saco plástico quando mantida e transportada à baixa temperatura; caso contrário, acondicionada em saco de papel reforçado.

A identificação das amostras deverá conter número, tipo da cultura, localidade, data da coleta, nutrientes por analisar e endereço para resposta.

Amostras para outros tipos de avaliações, como análise da seiva, deverão seguir orientação do laboratório as quais serão submetidas.

Diagnose Foliar

A diagnose foliar convencional consiste em comparar os resultados analíticos (teores foliares) com os valores padrões de interpretação, em tabelas próprias, específicas para a espécie vegetal, obtidas em cada região. Nessas tabelas, os teores foliares são classificados em deficiente, normal e excessivo. Algumas vezes, os teores normais e excessivos são reunidos em uma única classe, principalmente para aqueles nutrientes dos quais não se espera nenhum efeito direto de toxicidade na presença de elevados teores foliares.

Se o teor foliar na planta avaliada estiver na faixa deficiente, então há deficiência do nutriente

específico, devendo-se recomendar a adubação para corrigi-la. Se o teor foliar estiver na faixa normal, significa que não há deficiência ou excesso e, portanto, a planta está sendo bem nutrida. Finalmente, se o teor foliar estiver na faixa de excesso, deverão ser tomadas medidas para diminuir a disponibilidade do nutriente no solo ou nas adubações.

Essencialidade, Funções e Sintomas de Deficiência dos Macro e Micronutrientes nas Plantas

Essencialidade

As plantas absorvem do solo, sem muita discriminação, os elementos essenciais, os benéficos e os que podem lhes trazer a morte. Todos os elementos essenciais são encontrados na planta, mas nem todos os elementos encontrados na planta são essenciais.

Diversos elementos químicos são indispensáveis à vida vegetal já que, sem eles, as plantas não conseguem completar o ciclo de vida. Um elemento é considerado essencial quando satisfaz três critérios de essencialidade:

- 1) Participa de algum composto ou de alguma reação cuja ausência impede que a planta viva.
- 2) Na sua ausência a planta não completa o ciclo de vida.

3) Não pode ser substituído por nenhum outro.

A lista dos elementos tidos como essenciais é a seguinte (desconsiderando-se C, H e O):

Macronutrientes primários – N (nitrogênio), P (fósforo), K (potássio).

Macronutrientes secundários – Ca (cálcio), Mg (magnésio), S (enxofre).

Micronutrientes – B (boro), Cl (cloro), Co (cobalto), Cu (cobre), Fe (ferro), Mn (manganês) Mo (molibdênio), Ni (níquel), Se (selênio), Si (silício), Zn (zinco).

Os seis elementos iniciais ocorrem nas plantas em teores mais elevados e são, por isso, considerados macronutrientes. Existem muitas variações entre os teores dos nutrientes nas plantas, que podem ser ocasionadas pela disponibilidade do elemento no solo, condições de clima e especificidade de cada variedade. Os demais nutrientes aparecem em teores bem menores e são, de acordo com isso, classificados como micronutrientes.

A divisão em macronutrientes primários e secundários baseia-se não só nas quantidades exigidas pelas plantas, mas principalmente na importância prática. Nitrogênio, fósforo e potássio são comercializados em quantidades que atingem dezenas de milhões de toneladas e têm custos mais elevados do que os macronutrientes secundários.

Funções e Sintomas de Deficiência dos Nutrientes

Cada nutriente apresenta funções típicas e comuns à maioria das espécies vegetais. Assim, compreendendo quais são essas funções, pode-se identificar mais facilmente se a planta apresenta ou não sintomas visuais de deficiência. É importante ressaltar que havendo o sintoma visual, muitas funções fisiológicas do nutriente na planta já estão seriamente comprometidas. Isso significa, na maioria das vezes, uma perda importante da capacidade produtiva da lavoura.

Macronutrientes

Nitrogênio (N)

É o nutriente encontrado em maior proporção no vegetal. Exerce importante função na síntese de proteínas e é o principal responsável pelo crescimento vegetativo das plantas, sendo fundamental na determinação da qualidade das culturas folhosas.

Devido a sua alta mobilidade no vegetal, os sintomas de deficiência se manifestam inicialmente nas folhas mais velhas, caracterizando-se por uma clorose generalizada.

Fósforo (P)

Sua principal função no vegetal está relacionada com o armazenamento e utilização de energia, acelerando o crescimento das raízes, maturação dos frutos, melhor formação de grãos e frutos, bem como maior vigor à planta.

Apresenta também alta mobilidade na planta, logo, os sintomas de deficiência se manifestam inicialmente nas folhas mais velhas, que ficam com uma coloração verde-azulada. Além disso, ocorre um atraso no crescimento (plantas menores) e os frutos tornam-se deformados ou ficam com os grãos vazios.

Potássio (K)

Seu papel está relacionado com a ativação de enzimas (síntese de amido e açúcares) e funções fisiológicas (regula a abertura e fechamento dos estômatos, fenômeno responsável pela economia de água). Essas funções promovem um maior acúmulo de substâncias de reservas, aumentam a rigidez do caule e a resistência a doenças e ao frio.

Apresenta uma alta mobilidade na planta e por isso os sintomas se manifestam inicialmente nas folhas mais velhas como uma clorose das margens, seguida de necrose e morte das margens e ponta das folhas.

Cálcio (Ca)

Está relacionado à formação e funcionamento da membrana celular e ao transporte de carboidratos das folhas para as raízes. Apresenta pequena mobilidade na planta e, conseqüentemente, os sintomas de deficiência se manifestam nas folhas mais novas, como uma clorose internerval das margens para o centro, podendo também ocorrer morte da gema terminal. Nos frutos a deficiência causa apodrecimento apical.

Magnésio (Mg)

O magnésio participa da formação da molécula de clorofila, auxilia a absorção e translocação do fósforo na planta e ativa reações enzimáticas. Apresenta alta mobilidade dentro da planta e, conseqüentemente, os sintomas de deficiência se manifestam inicialmente nas folhas mais velhas. Esses sintomas se caracterizam por um amarelecimento internerval do centro para a margem das folhas.

Enxofre (S)

O enxofre forma substâncias determinantes de qualidade nutricional (aminoácidos, óleos, proteínas), desempenha importantes funções metabólicas (ativação de enzimas proteolíticas) e confere às plantas maior resistência contra as baixas temperaturas.

É relativamente imóvel na planta, com os sintomas de deficiência ocorrendo nas folhas mais novas como uma clorose generalizada, semelhante à deficiência de nitrogênio.

Micronutrientes

Boro (B)

Suas funções estão associadas às do cálcio, ou seja, regulações do funcionamento da membrana e parede celular, divisão e aumento das células bem como influência na germinação do grão de pólen.

É um elemento de pouca mobilidade, com os sintomas se manifestando nas folhas mais novas da planta, as quais se apresentam cloróticas, menores e deformadas. Pode ainda ocorrer morte da gema terminal e encurtamento dos internódios.

Cloro (Cl)

Sua função na planta está relacionada com a fotossíntese, participando da fotólise da água. É imóvel na planta, não tendo sido constatada deficiência em condições de campo.

Cobre (Cu)

É ativador de várias enzimas dentro da planta e apresenta baixa mobilidade. Logo, os sintomas se manifestam inicialmente nas folhas mais novas, caracterizando-se por uma coloração verde-azulada ou ainda deformações.

Ferro (Fe)

É essencial para a formação de clorofila, absorção de nitrogênio e de outros processos enzimáticos. É um elemento pouco móvel na planta e os sintomas de deficiência se manifestam nas folhas mais novas, as quais apresentam uma tonalidade esbranquiçada com as nervuras exibindo uma coloração verde.

Manganês (Mn)

Atua no processo de crescimento da planta e é fundamental na fotossíntese.

É um elemento parcialmente móvel no interior da planta e os sintomas iniciais de deficiência se manifestam nas folhas mais novas que mostram a lâmina foliar amarelada, enquanto as nervuras e uma estreita faixa ao longo delas permanecem verdes.

Molibdênio (Mo)

Participa da bioquímica da absorção, transporte e fixação de nitrogênio. Apresenta uma boa mobilidade no interior da planta com os sintomas de deficiência se manifestando geralmente nas folhas mais velhas.

Esses sintomas se caracterizam como uma clorose semelhante à deficiência de N, podendo ocorrer enrolamento da lâmina foliar para cima (tomateiro) ou para baixo (cafeeiro).

Níquel (Ni)

Atua no metabolismo do nitrogênio, por meio da participação na atividade da urease.

Zinco (Zn)

Atua no crescimento das plantas, participando na formação do ácido indol-acético (AIA).

O Zn é parcialmente móvel na planta e apresenta como sintoma típico de deficiência o encurtamento dos internódios.

Elementos Tóxicos às Plantas

Além daqueles essenciais (macro e micronutrientes), as plantas absorvem outros elementos que apresentam efeitos tóxicos, mesmo quando presentes em pequenas quantidades. Convém lembrar que qualquer elemento pode tornar-se tóxico para as plantas quando presente em elevadas concentrações.

O excesso de um determinado elemento químico no solo pode ter diferentes motivos, desde o próprio material de origem, resíduos urbanos (domésticos e industriais), poluição ambiental, até adubos orgânicos e químicos. Muitos metais pesados são tóxicos às plantas e aos seres humanos, apresentando diferentes composições em função da fonte utilizada (Tabela 4). Os valores mostram que o lodo de esgoto é o resíduo de maior perigo para a contaminação do solo, sendo na maioria das vezes de caráter irreversível, já que a aplicação contínua desse produto pode acarretar grande acúmulo dos metais pesados no solo (Tabela 5).

Os adubos minerais também possuem pequenas quantidades de metais pesados. As rochas fosfatadas, geralmente, contêm cádmio e outros elementos que contaminarão os adubos fosfatados.

A acumulação de metais pela planta depende da própria planta e de fatores do solo como o pH, teor de matéria orgânica, concentração do metal e daqueles relativos ao manejo e ambientes, tais como umidade, uso de corretivos e fertilizantes, temperatura, etc.

Tabela 4. Composição média e limites de variação de alguns metais pesados para o lodo de esgoto, esterco de curral e composto de lixo.

Elemento	Lodo de esgoto			Esterco de curral	Composto de lixo
	Média	Limites			
	$\mu\text{g g}^{-1}$				
Hg	2	0	5		0,7
Co	10	0	100	-	-
Cd	20	0	300	-	0,4
Ni	150	10	1.300	-	58
Cu	250	1	3.000	200	163
Cr	500	10	50.000	-	105
Pb	700	50	50.000	-	115
Mn	500	50	2.500	400	1
Zn	3.000	500	20.000	800	262
Fe	16.000	2.000	42.000	2.500	18.600

Fonte: Faquin (1997).

Tabela 5. Enriquecimento do solo após aplicação de 100 Mg de lodo de esgoto (matéria seca) por hectare.

Elemento	Conteúdo no lodo	Elemento aplicado	Aumento no teor	Quantidade máxima aceitável no solo
	g L^{-1}	kg ha^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
	Hg	5	0,5	0,17
Co	25	2,5	0,83	50
Cd	50	5	1,66	3
Ni	200	20	6,66	50
Cu	1.000	100	33,33	50
Cr	1.000	100	33,33	100
Pb	1.000	100	33,33	200
Mn	1.000	100	33,33	400
Zn	3.000	300	100	300
Fe	18.000	1.800	600	-

Fonte: Faquin (1997).

Alumínio (Al)

O alumínio é o cátion mais abundante na crosta terrestre, participando da estrutura de vários minerais primários. A liberação de alumínio da fase sólida para a fase líquida está diretamente ligada ao processo de acidificação do solo. Na solução do solo, os íons Al^{3+} sofrem o processo de hidrólise, formando hidróxidos incompletos de alumínio ainda solúvel e, portanto, tóxico para as plantas. Essa hidrólise constitui importante fonte de prótons (H^+) no solo, gerando acidez. Em valores de pH maiores que 5,8 a 6,0, praticamente todo o alumínio aparece na forma insolúvel – $\text{Al}(\text{OH})_3$, portanto, não-tóxico para as plantas.

O alumínio é, sem dúvida, o elemento mais pernicioso da acidez do solo. Além do efeito fitotóxico das formas catiônicas solúveis, implica na redução da disponibilidade e absorção de fósforo e também na inibição competitiva da absorção de nutrientes catiônicos, como o Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e micronutrientes.

Os primeiros sintomas de toxidez de alumínio aparecem nas raízes, as quais se tornam curtas, engrossadas, quebradiças e adquirem coloração amarronzada. Na parte aérea, a toxidez caracteriza-se por sintomas semelhantes àqueles de deficiência nutricional, notadamente de fósforo, cálcio e potássio.

A proliferação das raízes diminui e, como consequência, a capacidade de exploração de água e de nutrientes presentes no solo é reduzida. Basicamente, essa alteração marcante no sistema radicular se deve ao efeito do alumínio no processo de divisão celular.

O alumínio apresenta também uma ação danosa sobre as membranas celulares, ligando-se aos seus componentes e reduzindo drasticamente a sua permeabilidade. No interior da célula, pode ocasionar alteração na atividade de vários íons e metabólitos, com sérias implicações de fitotoxidez.

O alumínio concentra-se preferencialmente no núcleo e o sítio primário de ligação é o grupo fosfato do DNA, que reduz a atividade de replicação e de transcrição. Aceita-se também que o alumínio reaja com cadeias de ácidos poligalacturônicos das paredes das células novas das raízes. O menor número de células e o conjunto de células menores apresentam como consequência um sistema radicular constituído de raízes grossas e curtas.

É importante salientar que embora os solos do Estado do Acre, notadamente aqueles de alta CTC, apresentem teores de alumínio trocável considerados altamente tóxicos, não se tem observado nas culturas e plantas nativas o efeito dessa toxicidade, o que pode ser explicado pelo ambiente físico-químico desses solos (Wadt, 2002).

Cádmio (Cd)

Embora presente nos adubos fosfatados, a maior fonte de contaminação dos solos com cádmio se dá pela aplicação de lodo de esgoto e resíduos industriais.

O elemento é absorvido pelas raízes na forma de Cd^{2+} e o aumento do pH reduz a sua disponibilidade e a absorção. Na prática, a calagem é um método recomendado para minimizar problemas de toxidez de cádmio pelas raízes.

Os teores de cádmio tidos como normais nas plantas variam de 0,5 a 1,0 $\mu\text{g g}^{-1}$; efeitos tóxicos para o homem têm sido observados quando plantas consumidas como alimento excedem o teor de 3 $\mu\text{g g}^{-1}$. A principal causa de toxidez pelo cádmio provavelmente deve-se a sua combinação com os grupos tiólicos (SH) de enzimas e proteínas, provocando desarranjos no metabolismo.

Chumbo (Pb)

O chumbo concentra-se na superfície dos solos. A elevação do pH diminui a disponibilidade e a absorção do metal pelas plantas. Portanto, a calagem é uma prática adequada para reduzir os problemas de toxidez com chumbo, quando existentes.

O efeito tóxico do chumbo para as plantas pode resultar na diminuição do crescimento, mas esse efeito não tem sido observado a campo e sim em

estudos em solução nutritiva. O chumbo absorvido se acumula nas paredes celulares, diminuindo o seu efeito tóxico para a planta e o seu transporte para os frutos.

Bromo (Br)

O teor de bromo no solo é muito baixo, razão pela qual a toxidez não se manifesta naturalmente. O emprego de brometo de metila como fumigante do solo pode conduzir a sintomas de toxidez de bromo, que lembram aqueles provocados por salinidade: clorose e depois necrose das pontas e margens das folhas em expansão, prejudicando a germinação das sementes.

O bromo é absorvido pelas plantas como brometo e pode substituir o cloro em algumas funções, inclusive atenuando os sintomas de carência do último.

Iodo (I)

Naturalmente é difícil ocorrer toxidez de iodo em plantas. O seu conteúdo é menor em solos arenosos e maior nos argilosos e orgânicos.

As plantas absorvem o iodo da solução do solo como ânion iodeto e a presença do cloreto diminui sua absorção. O teor de iodo nas folhas das plantas normais varia, normalmente, de 0,0 a 0,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ e nas intoxicadas é maior que 8 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Teores de $0,1 \mu\text{g g}^{-1}$ de iodo disponíveis no solo e em solução nutritiva têm sido relatados como estimulantes, enquanto níveis entre $0,5$ e $1,0 \mu\text{g g}^{-1}$ tornam-se tóxicos às plantas. No tomateiro, as folhas mais velhas amarelecem e caem, enquanto as mais novas permanecem verdes; o crescimento diminui e as folhas se encurvam para a base, mostrando necrose nas pontas e margens.

Flúor (F)

As plantas absorvem o flúor como fluoreto da solução do solo e o aumento do pH pela calagem diminui a sua disponibilidade e absorção pelas raízes. Os baixos teores na maioria dos solos, a pequena disponibilidade e a pouca absorção ajudam a explicar a menor frequência de toxidez de flúor encontrada em plantas e os baixos teores nos tecidos ($2-20 \mu\text{g g}^{-1}$).

Os sintomas de toxidez de flúor em plantas são necrose marginal e clorose internerval das folhas.

Selênio (Se)

Na maioria dos solos, o selênio ocorre em baixas concentrações, geralmente menor que $0,2 \mu\text{g g}^{-1}$. Os solos originados de rochas sedimentares apresentam maiores teores desse elemento.

A toxidez de selênio reduz o crescimento da planta e torna as folhas cloróticas.

Cromo (Cr)

Nos solos, a maior parte do cromo não está na forma disponível, visto encontrar-se presente em compostos insolúveis de óxidos combinados com ferro e alumínio ou fortemente ligada às argilas.

O cromo tem sido considerado inibidor do crescimento de plantas em concentrações próximas de 1 a 2 $\mu\text{g g}^{-1}$. Em concentrações mais altas (5 a 15 $\mu\text{g g}^{-1}$), aparecem sintomas visuais de intoxicação em plantas que se caracterizam, em geral, por um deficiente desenvolvimento de raízes, estrangulamento e coloração vermelho-pardacenta das folhas.

Referências Bibliográficas

CARVALHO, J. G. de; BASTOS, A. R. R. **Tópicos de nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA, 1999. 54 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 227 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação.** São Paulo; Piracicaba: Agronômica Ceres; Potafos, 1991. 343 p.

VALE, F. R. do; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. de A.; FURTINE NETO, A. E. **Fertilidade do solo:** dinâmica e disponibilidade de nutrientes. Lavras: UFLA/FAEPE, 1995. 171 p.

VITTI, G. C. **Tópicos de nutrição de plantas.** Jaboticabal, FCAV, 1988. 53 p.

Capítulo 9

Monitoramento Nutricional

Paulo Guilherme Salvador Wadt
Víctor Hugo Alvarez Venena

Introdução

A agricultura no sudoeste da Região Amazônica brasileira é uma atividade recente. Até o final dos anos de 1960 o extrativismo vegetal consistia na principal atividade econômica e somente a partir de 1970 houve a expansão da pecuária. Mais recentemente, com o aumento da população no Estado do Acre, principalmente a urbana, a agricultura tem iniciado sua expansão, nos pólos de assentamento rural e sobre áreas recém-desmatadas.

A utilização de áreas recém-desmatadas, aliada ao elevado custo do frete para a aquisição de fertilizantes minerais, tem feito com que a agricultura evolua no Estado sem a necessária reposição de nutrientes no sistema. Isto significa que nas áreas onde predomina a agricultura de baixa competitividade, as reservas minerais do solo e os estoques de nutrientes aportados ao solo pela queima da vegetação florestal têm sido suficientes para sustentar a produção agrícola por alguns anos.

Entretanto, conforme historicamente se observa em todos os sistemas baseados na agricultura migratória, há um aumento gradativo da quantidade de áreas agrícolas abandonadas, devido à perda de sua capacidade produtiva. Em conseqüência, produz-se o ciclo vicioso no qual estas áreas abandonadas são deixadas em pousio e novas áreas de floresta nativa são desmatadas para a incorporação no

sistema agrícola. Em longo prazo, acumulam-se os prejuízos ambientais, devido à perda em grande escala da diversidade natural, maior exposição de áreas aos processos erosivos, maior assoreamento de rios, aumento da emissão de gases do efeito estufa, entre outros prejuízos ambientais.

Mais recentemente, apenas em algumas áreas com maior grau de mecanização observa-se preocupação com o uso de fertilizantes, visando à obtenção de maiores produtividades. Entretanto, a utilização de fertilizantes é feita de forma empírica, já que inexistem ensaios de calibração para a recomendação dos nutrientes.

Para suprir estas deficiências tecnológicas pode ser adotado um sistema de monitoramento baseado no acompanhamento da fertilidade do solo e no balanço de nutrientes, de forma que seja possível calcular a reposição dos nutrientes em quantidades suficientes para manter o potencial produtivo das terras, evitando a perda de sua capacidade produtiva e o conseqüente abandono de áreas cultivadas.

O sistema de monitoramento adequado deverá ser capaz de gerar informação confiável para subsidiar ações que visem: a) preservar a fertilidade dos solos ao longo dos cultivos subseqüentes; b) proporcionar altas produtividades econômicas e biológicas, as últimas compatíveis com as excelentes condições de luminosidade, temperatura e precipitação pluvial da região do sudoeste da Amazônia; c) otimizar os recursos genéticos e condições tecnológicas de cada

cultivo; d) diagnosticar os fatores limitantes de forma a proporcionar reposições equilibradas de nutrientes, em termos de doses e proporções de fertilizantes; e) não causar danos ambientais pelo uso excessivo ou desequilibrado de fertilizantes orgânicos ou minerais.

Evolução da Fertilidade do Solo nos Sistemas Agrícolas

O monitoramento agrícola, independentemente do sistema de produção (agricultura convencional, pastagens, orgânico ou agroflorestal), objetiva diagnosticar a situação atual de cada fator de produção com o propósito de promover intervenções equilibradas do ponto de vista ambiental, econômico e biológico.

A princípio, diz-se que as formações florestais maduras ou clímax são sustentáveis, por se apresentarem em *steady-state* em relação ao ciclo biogeoquímico de carbono e de nutrientes. Nesta situação, há um ciclo dinâmico “fechado” para os elementos, em que as entradas e saídas se equivalem e a velocidade de cada etapa de seus ciclos depende basicamente das condições climáticas.

Ao realizar-se o corte da floresta e a queima dos restos vegetais para explorar o solo nos sistemas agrícolas (pastagens, sistemas agroflorestais, orgânicos ou agrícolas propriamente ditos), interrompe-se bruscamente o ciclo interno de

nutrientes, produzindo mudanças no seu conteúdo, forma e disponibilidade. Estas mudanças resultam em um ciclo dinâmico aberto no qual haverá desequilíbrio entre as quantidades que entram e saem do sistema, resultando, invariavelmente, na perda gradativa da sustentabilidade do ecossistema.

O processo de incorporação de novas terras aos sistemas agrícolas pode ser descrito, sumariamente, como se segue: ao derrubar a floresta, há inicialmente a alteração brusca da produção de resíduos vegetais, promovendo numa primeira etapa uma elevada mineralização dos nutrientes contidos na biomassa, interrompendo a seguir esse ciclo de deposição. Depois, a queima da madeira, dos galhos e dos restos da folhagem produzirá o aquecimento da superfície do solo, destruindo grande parte da serrapilheira e afetando várias propriedades do solo, principalmente aquelas relacionadas ao conteúdo de nutrientes e a atividade dos microorganismos.

Ao queimar os restos vegetais, as temperaturas que ultrapassarem os limites biológicos produzirão a esterilização parcial do solo e reduzirão o número e a atividade de microorganismos. A seguir, ocorrerá uma reprodução elevada desses seres vivos, resultando em uma superabundância de microorganismos no solo e escassez temporária de alguns nutrientes.

Durante a queima poderá ocorrer uma oxidação elevada da matéria orgânica do solo com perdas variadas de nitrogênio (N) e de enxofre (S),

principalmente na forma gasosa. Em alguns casos, poderão ser constatados aumentos dos teores de nitrogênio e de enxofre no solo, porém, somente se for considerado o balanço no solo, excluindo-se do cálculo a biomassa acima da sua superfície. Quanto aos demais nutrientes, especialmente fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K), haverá um acúmulo inicial desses elementos pela deposição das cinzas no solo, e com a solubilização pela água, serão liberados em sua forma iônica. Como consequência, ter-se-á uma maior disponibilidade desses nutrientes e também um aumento muito grande da susceptibilidade de perdas por lixiviação, principalmente para cálcio, magnésio e potássio. Em solos sujeitos à erosão, poderá haver também importantes perdas de fósforo. Com a queima da vegetação nativa normalmente se produzirá o aumento do pH do solo, e este aumento será menor quanto maior for a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo.

A maior disponibilidade de fósforo, cálcio, magnésio, potássio e, em alguns casos, de nitrogênio e enxofre, conduzirá a colheitas agrícolas excelentes nos primeiros anos de exploração. Contudo, essa tendência se reverterá rapidamente e em poucas safras haverá uma redução importante da capacidade produtiva dos solos. Esta redução será tanto mais intensa e rápida quanto menos intensa forem as práticas conservacionistas adotadas no processo de desmatamento e preparo do solo. A perda também será mais rápida e intensa nos sistemas agrícolas convencionais, seguidos pelos

sistemas agroflorestais e em menor grau nas pastagens, neste caso, considerando-se a adoção de técnicas conservacionistas adequadas em todos os sistemas. Em geral, a intensidade da perda da capacidade produtiva dos solos estará sendo primariamente determinada pela redução da sua fertilidade, que se traduzirá por mudanças nas formas e nos teores de nitrogênio, fósforo, potássio e outros nutrientes. Parte da perda da capacidade produtiva também será devida ao aumento das doenças e pragas, alterações nas propriedades físicas dos solos (especialmente regime hídrico e aeração) e mudanças no ambiente microbiológico do solo. Em geral, esses processos ocorrem conjuntamente e é difícil eleger um único fator como o responsável pela perda da capacidade produtiva dos solos.

Ocorrendo o esgotamento da fertilidade do solo haverá invariavelmente o abandono da área, resultando em um novo ciclo de exploração, com realização de novos desmatamentos e abandono da área cultivada em capoeiras, que será deixada em pousio por longos períodos de tempo, ou então, destinada à formação de pastagens, normalmente de menor capacidade de suporte que aquelas formadas sob áreas recém-desmatadas. Embora nas áreas em pousio ocorra uma recuperação progressiva e lenta da fertilidade do solo, essa regeneração poderá durar de poucos anos a algumas décadas, dependendo das condições climáticas e edáficas. O abandono de áreas em pousio propiciará o desenvolvimento de uma vegetação secundária, que

atuará no acúmulo de nutrientes na vegetação e no restabelecimento do ciclo de mineralização e imobilização de nutrientes pela matéria orgânica e restos vegetais. Os acúmulos de nitrogênio e de fósforo, para as condições climáticas do Estado do Acre, poderão chegar a valores bastante satisfatórios, com aporte anual de até 70 kg ha⁻¹ de nitrogênio e até 20 kg ha⁻¹ de fósforo. De qualquer forma, este sistema de recuperação, historicamente, não tem impedido a pressão por novos desmatamentos, seja em razão da pressão demográfica sobre o uso da terra ou pela crescente demanda por produtos agrícolas.

O Monitoramento Agrícola

A forma adequada de se contrapor à degradação gradativa da fertilidade do solo está na utilização de sistemas de rotação de culturas, na ampliação do uso de fertilizantes orgânicos e minerais, no aumento da cobertura do solo, na incorporação de restos vegetais e de medidas de controle da erosão.

Não se pode ter a ilusão, contudo, de que as perdas do sistema com exportação via colheita e os processos naturais (erosão, lixiviação, volatilização) possam ser balanceados somente com as entradas naturais (chuvas e intemperismo dos minerais primários), principalmente se utilizados solos de baixa fertilidade natural formados sobre materiais de origem pobres em nutrientes. A manutenção da fertilidade do solo passa necessariamente pela reposição das perdas via fertilização química que,

com as demais práticas agrícolas mencionadas, manterão o equilíbrio ecológico ao fornecer os elementos minerais essenciais ao desenvolvimento dos organismos.

Se medidas corretivas não forem tomadas, os processos naturais de perda serão determinantes e o sistema perderá, gradativamente, sua sustentabilidade. Assim, qualquer ação conservacionista, sob o ponto de vista estritamente ecológico, deverá prever medidas dessa natureza para que não haja a degradação do solo. Infelizmente, essas medidas são onerosas e muitas vezes economicamente inviáveis nas fronteiras agrícolas da Amazônia Brasileira, como é o caso do Estado do Acre. Assim, ações mitigadoras para minimizar os processos de perdas têm sido recomendadas, como os sistemas agroflorestais, plantio direto e sistema de produção orgânico. Estas ações tendem a minimizar a intensidade do processo de perda da fertilidade dos solos, não sendo capazes de impedi-la por muito tempo. Isto significa que mesmo nos sistemas mais conservacionistas, o monitoramento agrícola se faz necessário para identificar os nutrientes que necessitam ser repostos ao sistema para que haja a manutenção de sua capacidade produtiva.

Sem um monitoramento agrícola adequado corre-se o risco de realizar reposições desnecessárias que poderão comprometer a viabilidade econômica das explorações agrícolas e/ou produzir uma degradação

muito rápida do solo pela falta de reposição dos nutrientes em maior grau de deficiência e a promover o desequilíbrio ambiental pela aplicação de outros nutrientes em doses excessivas.

Como a perda da fertilidade do solo e a necessidade de sua recuperação são variáveis segundo cada sistema de uso da terra adotado e as exigências de cada espécie agrícola, faz-se necessário adotar um método de diagnóstico que integre todas estas variáveis de forma eficiente. Qualquer sistema de diagnóstico necessita, ainda, ter alta precisão, alta exatidão e boa acurácia.

A análise do solo tomada isoladamente é limitada, pois, além de aplicar-se a um número reduzido de nutrientes, não permite um refinamento da interpretação por ser freqüentemente de baixa exatidão. A análise foliar, embora seja de alta precisão e exatidão, apresenta baixa acurácia. Atualmente, o sistema que apresenta o maior número de características desejadas é o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e, portanto, foi escolhido como a ferramenta central do programa de monitoramento agrícola.

O Monitoramento Nutricional

O monitoramento agrícola consiste na análise e acompanhamento, de forma sistematizada, de todos os fatores de produção que potencialmente sejam capazes de afetar a produtividade em um dado sistema agrícola, com o objetivo de subsidiar o

processo de tomada de decisões e permitir intervenções seguras, ou seja, recomendações com elevado grau de acerto. O monitoramento nutricional, por sua vez, é um componente do monitoramento agrícola que consiste na análise e acompanhamento daqueles fatores de produção estreitamente relacionados com a nutrição mineral das plantas, como a fertilidade do solo e o teor de nutrientes nos tecidos vegetais.

O Uso da Análise de Solos no Monitoramento Nutricional

A análise de solo consiste na primeira ferramenta de diagnóstico a ser utilizada num programa de monitoramento agrícola. Por meio da análise de solos podem-se determinar as quantidades necessárias de nutrientes para atender à demanda nutricional das plantas, em função da capacidade do solo em suprir os nutrientes necessários.

O uso da análise de solos é bastante simples e direto, sendo possível determinar a quantidade necessária de cada nutriente para atender às demandas da planta, normalmente, em função de poucas características, como produtividade esperada e outros fatores indicativos. Por exemplo, a recomendação da quantidade de fósforo a ser aplicada no solo pode variar, para um mesmo teor, em função do teor de argila, da espécie cultivada e de sua produtividade.

Pela análise do solo é possível estimar as quantidades de vários nutrientes a serem recomendadas, como fósforo, potássio, cálcio e magnésio, com certo grau de exatidão. Para outros nutrientes, como os micronutrientes e os macronutrientes nitrogênio e enxofre, sua exatidão é menor. Contudo, determinações relacionadas à dinâmica desses nutrientes no solo podem fornecer subsídios capazes de orientar sua recomendação, como por exemplo, valor de pH do solo e teor de matéria orgânica. Reunindo-se as informações da análise do solo com outras de manejo, como sistema de rotação de culturas, uso de inoculantes biológicos e de adubação verde, poder-se-á chegar a formulações básicas, que consistem em indicar proporções e quantidades de nutrientes a serem recomendadas.

Estas formulações básicas não consideram as diversas interações que ocorrem entre os cultivos e todos os demais fatores de crescimento (luminosidade, temperatura, precipitação, potencial genético, entre outros) (Fig. 1), mesmo as que ocorrem entre as condições de manejo e de solo são apenas parcialmente consideradas. Isso significa que a fertilização das culturas com base somente nessas formulações básicas dificilmente proporcionará às plantas o suprimento equilibrado de nutrientes de que elas necessitam. Acrescenta-se que quanto mais complexo for o sistema agrícola, maior será a distorção entre a formulação básica recomendada e as reais necessidades da cultura.

Para determinar as reais necessidades de cada cultura, faz-se necessário o refinamento da recomendação, que é possível pelo uso da análise foliar. Entretanto, o uso dessa análise não deve implicar, na idéia de que a análise de solos não tem seu valor, pois somente por meio desta será possível a primeira aproximação das quantidades de nutrientes a ser aplicadas.

Mesmo em sistemas de monitoramento já implantados há algum tempo, a análise de solos ainda será indispensável para que seja possível verificar periodicamente a evolução da fertilidade do solo. É possível ainda que as plantas apresentem deficiência em um ou mais nutrientes estando estes disponíveis em quantidades elevadas no solo, indicando assim que as medidas corretivas não devam passar necessariamente pelo aumento da quantidade do nutriente a ser aplicada, mas por outras alternativas que facilitem sua absorção e utilização pelas plantas. É possível que essa situação ocorra, por exemplo, em solos com impedimentos físicos ou químicos.

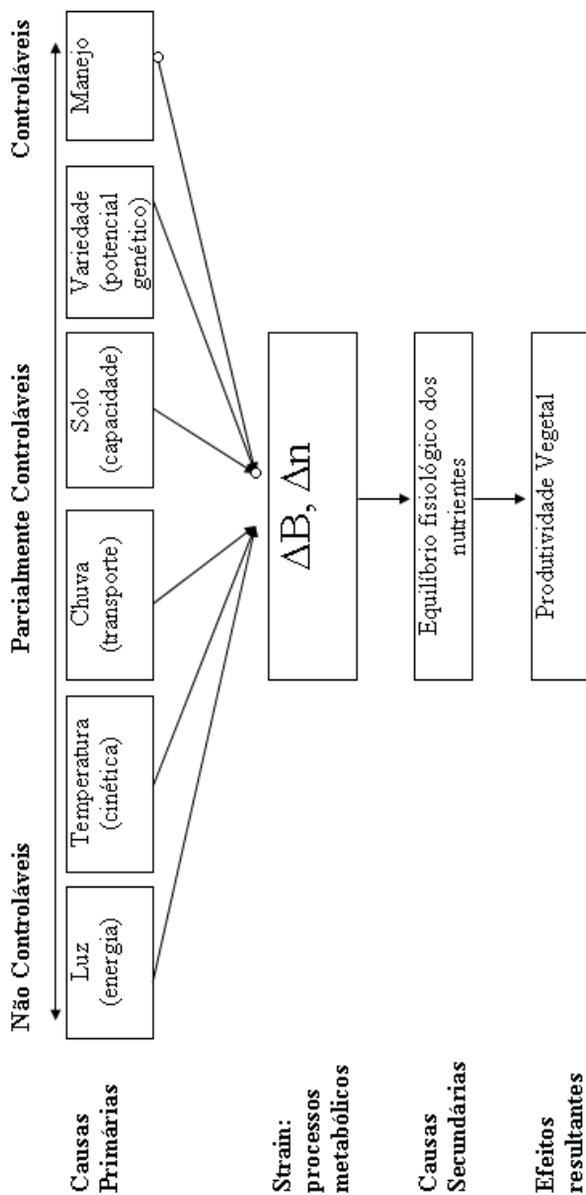


Fig. 1. Representação esquemática dos efeitos das causas primárias nos processos metabólicos de acumulação de biomassa (ΔB) e de acumulação de nutrientes (Δn), nas causas secundárias da produtividade vegetal (equilíbrio fisiológico dos nutrientes) e nos efeitos resultantes (produtividade vegetal).

Fonte: Adaptada de Beauflis (1973).

O Uso da Análise Foliar no Monitoramento Agrícola

As características e propriedades dos solos formam apenas um dos fatores que determinam a absorção e o equilíbrio fisiológico de nutrientes nas plantas (Fig. 1). Portanto, a análise de solos não é suficiente por si só para determinar as quantidades de nutrientes em programas de adubação, embora seja uma das ferramentas mais importantes para essa finalidade. Tecnicamente, o uso da análise de solos somente é possível graças aos experimentos de calibração, cujo objetivo é determinar o relacionamento entre a demanda do nutriente pela planta e a sua disponibilidade no solo. Essa calibração deve ser obtida para cada tipo de cultura, espécie cultivada e região climática ou ecofisiológica. Na prática, porém, em diversos estados da federação são elaboradas tabelas de interpretação dos resultados da análise de solo sem os respectivos experimentos de calibração. Isso concorre para diminuir a eficiência da recomendação baseada na análise de solo, sendo este um caso típico do Estado do Acre, onde as tabelas de interpretação e as recomendações foram feitas sem realizar prévios ensaios de adubação.

Assim, o papel da análise foliar é servir como uma ferramenta complementar de diagnóstico e de recomendação. Suas limitações consistem na necessidade de implantar ensaios de calibração para definir os níveis críticos de nutrientes, que, à semelhança do método de calibração da análise de solos, também são onerosos e demorados. Outra limitação é a baixa acurácia do diagnóstico nutricional

quando a interpretação dos resultados da análise foliar é baseada no método do nível crítico.

Essas limitações podem ser suplantadas facilmente com o uso do DRIS para a interpretação do diagnóstico nutricional baseado na análise foliar. Com este método, é possível obter valores de referência (normas DRIS) com dados de um único ano de monitoramento (embora, a agregação de mais dados seja sempre vantajosa), não exigindo experimentação e, portanto, sendo menos oneroso e, ainda, por proporcionar uma acurácia muito superior em relação à utilização do método convencional quando não se tem a calibração local realizada de forma correta.

Sua principal limitação é a necessidade de programas de computador específicos para efetuar diagnóstico, visto que a quantidade de cálculos necessária impede sua realização de forma manual. Entretanto, face à evolução da informática, essa limitação é cada vez menos determinante do uso desse sistema, o que explica, por exemplo, a sua rápida adoção em diversas regiões do País onde a agricultura exige maior competitividade.

Outra limitação do uso desse método é a dificuldade de interpretar os resultados dos índices DRIS e transformá-los em recomendação de doses de nutrientes a ser aplicadas.

Para sanar esse último problema foi desenvolvido o critério do potencial de resposta à adubação. Não se tratará aqui de explicar o método de cálculo desse potencial, mas somente sua aplicação prática.

Esse critério consiste em classificar o estado nutricional para cada nutriente em cinco diferentes classes de expectativa de resposta à adubação: positiva, positiva ou nula, nula, negativa ou nula e negativa. Uma resposta positiva significa que existe uma probabilidade “muito alta” da produção aumentar se for aumentada a dose do nutriente na formulação básica. Uma resposta positiva ou nula, implica em que há uma “alta” probabilidade de se elevar a produção com o aumento da dose do nutriente. Uma resposta nula indica que não há resposta previsível com o aumento da dose do nutriente, ou seja, a probabilidade de aumento é “média”. Resposta negativa ou nula significa que há uma “baixa” probabilidade de aumentar a produção com o aumento da dose do nutriente e resposta negativa significa que há uma probabilidade “muito baixa” de se aumentar a produtividade com o aumento da dose do nutriente. Essas cinco classes de probabilidade podem ser utilizadas para determinar a dose de cada nutriente que deve ser aplicada para se obter ganhos na produtividade das culturas.

Com a finalidade de integrar os dois métodos em um único sistema de recomendação, foram desenvolvidas tabelas de adubação que consideram o nível de produtividade da lavoura e, para cada nutriente, seu estado nutricional na planta e disponibilidade no solo. Como exemplo tem-se a adubação fosfatada para o plantio de milho (Tabela 1).

Pelo exemplo a dose de fósforo (P_2O_5 : kg ha⁻¹) a ser aplicada, deve-se levar em consideração três tipos de informações:

1) Produtividade da última safra no local ou produtividade esperada (esta informação é importante por orientar quanto à exportação de nutrientes e requerimento da planta para crescimento pleno).

2) Disponibilidade de fósforo no solo (informará a capacidade do solo em suprir as demandas da planta).

3) Potencial de resposta a fósforo para a cultura de milho na safra anterior, no mesmo local de plantio atual (esta informação será útil para definir se, nas condições climáticas e de manejo adotadas, não houve grandes diferenças tecnológicas entre duas safras consecutivas, como a cultura se comportou quanto à disponibilidade e demanda do nutriente). Caso esta informação não esteja disponível, deve-se adotar o “potencial nulo” para concluir a recomendação.

Com base nessas três informações, basta identificar qual a quantidade de fósforo que deverá ser usada na adubação de plantio (Tabela 1). Observar que essa quantidade varia de 0 a 100 kg ha⁻¹, dependendo de cada um dos três fatores considerados.

Por esse modelo, o acompanhamento da safra anterior permitirá orientar o produtor na tomada de decisão para as safras subseqüentes, fazendo ajustes anuais da adubação, de forma a alcançar o melhor equilíbrio sob o ponto de vista biológico e também financeiro, já que será possível obter adubações mais equilibradas.

Esse modelo de monitoramento aplica-se a qualquer tipo de sistema de produção (monocultivo, consórcio, agroflorestal, orgânico). Nos sistemas orgânicos puros, em que não se utilizam fontes minerais de fertilizantes, a intervenção deve ser no sentido de aumentar a disponibilidade das fontes orgânicas ou alterar o manejo de forma a favorecer a disponibilidade de determinado nutriente.

Em resumo, o processo do monitoramento consiste na combinação da análise de solos com a análise foliar, sendo a primeira a responsável pela definição das doses básicas e a segunda, pelo ajuste nestas doses (Tabela 2).

Tabela 1. Tabela de adubação de fósforo para o plantio de milho.

Potencial de resposta a fósforo	Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de P no solo		
		kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 2.000	50	40	30
	2.000 a 4.000	60	50	40
	4.000 a 6.000	70	60	50
	6.000 a 8.000	80	70	60
	8.000 a 10.000	90	80	70
	> 10.000	100	90	80
Alto	< 2.000	40	30	20
	2.000 a 4.000	50	40	30
	4.000 a 6.000	60	50	40
	6.000 a 8.000	70	60	50
	8.000 a 10.000	80	70	60
	> 10.000	90	80	70
Nulo	< 2.000	30	20	10
	2.000 a 4.000	40	30	20
	4.000 a 6.000	50	40	30
	6.000 a 8.000	60	50	40
	8.000 a 10.000	70	60	50
	> 10.000	80	70	60
Baixo	< 2.000	20	10	0
	2.000 a 4.000	30	20	10
	4.000 a 6.000	40	30	20
	6.000 a 8.000	50	40	30
	8.000 a 10.000	60	50	40
	> 10.000	70	60	50
Muito baixo	< 2.000	10	0	0
	2.000 a 4.000	20	10	0
	4.000 a 6.000	30	20	10
	6.000 a 8.000	40	30	20
	8.000 a 10.000	50	40	30
	> 10.000	60	50	40

Tabela 2. Resumo das etapas do monitoramento nutricional.

Ano	Diagnóstico	Recomendação de adubos
1º	Análise de solos	Com base na análise de solos e produtividade esperada
2º em diante	Avaliação da produtividade e análise foliar	Com base na análise de solos, produtividade esperada e no potencial de resposta à adubação.

Referências Bibliográficas

BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)**. Pietermaritzburg: University of Natal, 1973. 132 p. (Soil Sci. Bulletin, 1)

MALAVOLTA, E.; OLIVEIRA, S. A.; WADT, P. G. S. *Foliar diagnosis - the status of the art*. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Caxambu, 1998. **Anais**. Lavras: SBCS/UFLA, 1998.

WADT, P. G. S. *Loucos em terras de doidos*. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 15-19, jan./mar., 1999.

WADT, P. G. S. *DRIS em soja: usando a tecnologia tupiniquim*. **Informações agrônômicas**, Piracicaba, SP, n. 87, p. 6-7, set. 1999.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; FONSECA, S.; BARROS, N. F.; DIAS, L. E. Três métodos de cálculo do DRIS para calcular o potencial de resposta à adubação de árvores de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 661-666. 1998.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F. O monitoramento nutricional frente aos métodos diagnósticos no planejamento das adubações. In: WADT, P. G. S. & MALAVOLTA, E. (Coord.) *Simpósio sobre Monitoramento Nutricional para a Recomendação de Adubação de Culturas*, Piracicaba, 1999. **Anais**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. 1 CD-ROM.

Capítulo 10

Implementação das Recomendações de Adubação

José Ribamar Torres da Silva
Mariete Peres da Silva

Introdução

Uma das etapas críticas da adubação é a sua implementação. Ao número muito grande de recomendações derivadas das tabelas de adubação contrapõe-se a existência de grande diversidade de insumos. Resulta que a conciliação entre as quantidades recomendadas de nutrientes e as efetivamente aplicadas em geral não é tarefa fácil. Contudo, considerando que a adubação não precisa ser feita com grande precisão, pode-se chegar a implementações práticas muito mais simples do que se imagina. Serão aqui discutidos os casos dos adubos simples, fórmulas NPK (nitrogênio-fósforo-potássio), adubos orgânicos e da aplicação de enxofre e de micronutrientes.

Adubos Simples

No caso de adubos simples, a quantidade a aplicar é calculada multiplicando-se a dose recomendada do nutriente por 100 e dividindo-se pelo seu teor em porcentagem no adubo escolhido. Assim tem-se:

$$Q_{\text{Adubo}} = \frac{DR \times 100}{[\text{nutriente}]_{\text{Adubo}}} \quad (\text{kg ha}^{-1})$$

Onde:

Q_{Adubo} = quantidade de adubo em kg ha^{-1}

DR = dose recomendada, em kg ha^{-1} , de N, P_2O_5 ou de K_2O

$[\text{Nutriente}]_{\text{Adubo}}$ = teor do nutriente no adubo escolhido

Exemplo prático:

Considerando-se uma recomendação de adubação de 120 kg ha⁻¹ N (nitrogênio), 80 kg ha⁻¹ P₂O₅ (fósforo) e 40 kg ha⁻¹ K₂O (potássio), tendo como adubos disponíveis sulfato de amônio (teor de 20% N), superfosfato triplo (teor de 45% P₂O₅) e cloreto de potássio (teor de 60% K₂O), as quantidades a aplicar (arredondando-se os valores obtidos em dezenas) serão as seguintes:

$$Q_{SA} = \frac{120 \times 100}{20} = 600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Sulfato de Amônio}$$

$$Q_{SFT} = \frac{80 \times 100}{45} = 180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Superfosfato Triplo}$$

$$Q_{KCL} = \frac{40 \times 100}{60} = 70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Cloreto de Potássio.}$$

Na eventualidade da fonte de nitrogênio disponível ser uréia e não o sulfato de amônio como no exemplo acima, então, a quantidade requerida desse adubo seria:

$$Q_{Ureia} = \frac{120 \times 100}{45} = 270 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Ureia}$$

Portanto, para atender a essa recomendação, deverão ser aplicados ao solo 600 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio (ou 270 kg ha⁻¹ de uréia), 180 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo e 70 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

No caso de haver mais de uma fonte do nutriente disponível no mercado, recomenda-se observar primeiro se elas podem ser aplicadas no tipo de solo e nas condições de manejo da cultura. Caso afirmativo, a recomendação deverá recair sobre o produto mais econômico.

Para isso, soma-se o preço de aquisição e do frete, por tonelada, de cada fonte de adubo e, a seguir, multiplica-se o valor resultante pela quantidade necessária a ser utilizada por hectare. O adubo que proporcionar o menor preço final deve então ser recomendado. Efetuando-se esse tipo de cálculo, não raramente será possível observar que muitas vezes aquele adubo que aparentemente é mais caro, considerando seu preço por tonelada, poderá ser mais econômico por apresentar concentrações mais elevadas dos nutrientes necessários.

A composição química dos fertilizantes minerais pode ser obtida com os fornecedores ou na etiqueta de identificação da sacaria. Em cada tipo de adubo simples existem limites mínimos estabelecidos pela legislação para os macronutrientes principais (Tabelas 1, 2 e 3), nutrientes secundários (Tabela 4) e micronutrientes (Tabelas 5 e 6).

Fórmula NPK

Para utilizar uma formulação NPK, o primeiro passo é estabelecer a relação aproximada de nutrientes (relação básica) e depois procurar uma fórmula

comercial que apresente a mesma relação ou a mais próxima possível da relação básica.

A relação básica pode ser obtida pela proporção entre os nutrientes na recomendação ou no produto comercial. Para isso faz-se a divisão dos três números da proporção entre os nutrientes pelo menor deles, arredondando-se o resultado para valores inteiros. O valor encontrado consiste na relação básica.

No caso do exemplo prático do item anterior, a relação básica da recomendação proposta é de 3:2:1. A fórmula 15-10-5, com a mesma relação básica, apresenta-se como uma das opções possíveis.

A quantidade necessária da referida fórmula NPK pode ser obtida multiplicando-se a soma dos nutrientes (NPK) recomendados por 100 e dividindo-se o valor obtido pela soma dos nutrientes presentes na fórmula comercial escolhida. Assim tem-se:

$$Q_{\text{Fórmula}} = \frac{(\sum \text{nutrientes})_{\text{Recomendação}} \times 100}{(\sum \text{Nutrientes})_{\text{Fórmula}}}$$

$$Q_{\text{Fórmula}} = \frac{(120 + 80 + 40) \times 100}{(15 + 10 + 5)} = 800 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Fórmula 15-10-5.}$$

Se fosse utilizada a fórmula 30-20-10 (de mesma relação básica), haveria uma redução significativa na quantidade da mistura fertilizante (fórmula) a ser

adquirida, representando grande economia quanto ao frete, uma vez que se trata de uma formulação mais concentrada. Por isso, é sempre necessário avaliar economicamente as diferentes formulações disponíveis, comparando-se o custo do produto mais seu frete, em relação às quantidades necessárias por hectare. No segundo exemplo, a quantidade a ser adquirida seria:

$$Q_{\text{Fórmula}} = \frac{(120+80+40) \times 100}{(30+20+10)} = 400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Fórmula } 30-20-10.$$

Portanto, a menos que o custo de aquisição da fórmula 30-20-10 mais o frete sejam mais que o dobro do custo de aquisição da fórmula 15-10-5, a segunda opção resultará em menor valor por hectare.

Adubação de Enxofre e Micronutrientes

A adição de enxofre pode ser feita por adubos simples ou fórmulas. Nos dois casos, é necessário conhecer a recomendação de S (enxofre) e o teor do nutriente contido no adubo, sendo o cálculo similar ao mostrado para N, P e K. Exemplificando o caso acima, a adição de 100 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio (22% de S) resulta na aplicação de 22 kg ha⁻¹ de S.

No caso dos micronutrientes para adição ao solo, a necessidade de adubos simples é feita também por cálculo similar ao mostrado para NPK. Desse modo, primeiro determina-se o teor aproximado de micronutrientes que a fórmula deve conter. Por exemplo, pode ser que para uma adubação de 400 kg ha⁻¹ de 30-20-10 seja necessário aplicar,

para atender às necessidades da cultura, 1 kg ha⁻¹ de B e 2 kg ha⁻¹ de Zn. Com base nessa informação, podem-se então determinar os teores desses nutrientes contidos na fórmula, multiplicando a quantidade necessária do nutriente por 100 e dividindo pela quantidade da fórmula a ser aplicada, cujo resultado será 0,25% de B e 0,5% de Zn.

De outra forma, se fosse estimada a quantidade de boro e de zinco a ser adicionada em 500 kg ha⁻¹ de mistura fertilizante NPK de modo que apresentasse 0,30% de B e 0,8% de Zn resultaria em:

100 kg fórmula \Rightarrow 0,30 kg B

500 kg \Rightarrow X \Rightarrow X = 1,5 kg ha⁻¹ de B

100 kg fórmula \Rightarrow 0,80 kg Zn

500 kg \Rightarrow Y \Rightarrow Y = 4 kg ha⁻¹ de Zn

Adubação Orgânica

Se houver na propriedade algum tipo de adubo orgânico (esterco, composto, vermicomposto), pode-se implementar a recomendação, utilizando-se fontes orgânicas e complementando os nutrientes necessários com o uso de fertilizantes minerais. No capítulo de adubação orgânica é feita uma abordagem sobre o cálculo das quantidades de esterco a ser aplicadas, caso se deseje utilizar fontes orgânicas para o fornecimento dos nutrientes N, P ou K.

Modos e Épocas de Aplicação

As diferentes maneiras e épocas de aplicação de corretivos e fertilizantes variam em função do tipo de adubação e de calagem a ser realizada na área (adubação corretiva ou de manutenção, antes ou após a implantação da cultura, tipo de cultura, aplicação da calagem em toda a área ou em faixa).

De modo geral, algumas observações são importantes pois podem afetar a eficiência do uso desses insumos.

O calcário deve ser incorporado ao solo com a maior antecedência possível ao plantio, para melhor reação do corretivo. É importante um bom contato do calcário com o solo e, para isso, recomenda-se a pré-incorporação com grade e depois a aração profunda ou aplicar metade antes da aração e metade depois, para incorporação com gradagem.

A incorporação profunda é muito importante e atenção especial deve ser dada a essa prática. Não é aconselhável a incorporação rasa, com grade, principalmente em solos que estão sendo corrigidos pela primeira vez, pois pode resultar em excesso de calagem próximo à superfície, acarretar deficiências de micronutrientes como ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn) e limitar o aprofundamento do sistema radicular.

Em culturas perenes implantadas ou em sistema de plantio direto, nos quais não será feita a aração, o calcário deve ser aplicado em área total e, quando

possível, em quantidades proporcionais às áreas do terreno onde são aplicados os adubos, pois muitos fertilizantes minerais e orgânicos apresentam reação ácida e, assim, promovem uma maior acidez do que naqueles locais do terreno onde não são aplicados. Nesse caso, as dosagens devem acompanhar a recomendação técnica para esse tipo de aplicação. Recomenda-se, sempre que possível, incorporar levemente com grade, sem danificar as raízes das plantas. Deve-se lembrar que é preciso incorporar muito bem o calcário na formação de culturas perenes ou no início de sistemas de produção em plantio direto, já que aplicações superficiais atuam lentamente nas camadas mais profundas do solo e um solo mal corrigido no início comprometerá a produtividade por muito tempo.

A adubação com os fertilizantes minerais, em culturas anuais, deve ser feita 5 cm ao lado e abaixo das sementes. Normalmente, na adubação de plantio, recomenda-se aplicar pouco nitrogênio, quantidades altas de fósforo e moderadas de potássio, dependendo da análise de solo. Aplicações elevadas de cloreto de potássio no sulco de plantio podem causar dano às plantas, pelo alto índice salino desse adubo. Cabe ressaltar a importância da aplicação localizada do fósforo, principalmente em solos com teores baixos do nutriente. Nesses casos, a fonte deve ter predominância de fósforo solúvel em água. Fosfatos insolúveis em água são mais eficientes em mistura com o solo e em condições de maior acidez.

Embora não seja comum, nas tabelas de recomendações, a adubação fosfatada corretiva pode vir a ser adotada principalmente quando se pretende, no primeiro ano, alta produtividade em solos muito deficientes em fósforo. Isso não será conseguido apenas com a adubação no sulco de plantio, sendo necessária a incorporação prévia de fósforo no solo, em área total.

O nitrogênio de qualquer fonte converte-se rapidamente em nitrato quando o solo for um ambiente favorável à oxidação, que é uma forma extremamente móvel, sujeita a perdas por lixiviação, em períodos do ano nos quais o regime hídrico favorece a percolação do excesso de água. Por essa razão, a adubação nitrogenada é feita normalmente em cobertura após o plantio de culturas anuais, época na qual as plantas já possuem sistema radicular bem desenvolvido, portanto, em condições de absorver rapidamente as formas minerais do nutriente. Em culturas perenes, a aplicação é parcelada em várias vezes, recomendando-se um número maior de aplicações em solos de textura mais leve.

Há uma tendência, para algumas culturas, de parte do potássio ser aplicado em cobertura. Esse adubo não se movimenta com facilidade no solo e, assim, a cobertura será mais eficiente se as aplicações forem bastante elevadas e de forma localizada no terreno, ou se a adubação for acompanhada de uma operação que enterre o adubo. Em solos argilosos e deficientes, é preferível fazer a incorporação de

potássio antes do plantio. Em plantas perenes, a tendência é aplicar os três nutrientes parceladamente, mas pode-se aplicar o fósforo de uma só vez no início das águas e também o potássio, mantendo apenas o parcelamento do nitrogênio. Isso resulta em diversas opções que flexibilizam a prática da adubação.

Os micronutrientes como boro, cobre, manganês, molibdênio e zinco podem ser aplicados ao solo, por meio de diferentes fontes. A aplicação foliar é adequada para corrigir problemas de deficiência durante o ciclo da cultura. O boro pode, também, ser aplicado em cobertura e o molibdênio, com as sementes.

Fórmulas NPK e o Sistema Internacional de Unidades

Há uma tendência crescente em se adotar o sistema internacional de unidades, tanto na recomendação de nutrientes como na caracterização química dos diferentes produtos usados como fertilizantes.

Para transformar P_2O_5 em P e K_2O em K, basta multiplicar o valor de P_2O_5 e K_2O pelo fator 0,44 e 0,83 respectivamente. Para realizar a transformação inversa (P em P_2O_5 ou K em K_2O), multiplicam-se os valores de P e K pelo inverso dos respectivos fatores (1/0,44 ou 1/0,83). Assim, para uma fórmula 30-20-10, expressa em porcentagem de N, P_2O_5 e K_2O , ser expressa em porcentagem de N, P e K, basta multiplicar os respectivos valores por 1; 0,44 e 0,83, o que resulta em 30-9-8 (arredondando-se para o valor inteiro mais próximo).

Por outro lado, se for necessário transformar uma recomendação de 40 kg de N, 70 kg de P e 50 kg de K, todos em hectare, para uma proporção básica expressa em N, P_2O_5 e K_2O , multiplicam-se esses valores pelos seus respectivos inversos (1; 2,27; 1,20), o que resultaria em 40 kg de N, 160 kg de P_2O_5 e 60 kg de K_2O .

Compatibilidade entre os Adubos Simples

As formulações prontas são compostas por mistura de fertilizantes simples, porém existe incompatibilidade entre diferentes tipos de fertilizantes, de forma que a mistura de alguns deles pode contribuir para reações indesejadas que comprometem a qualidade e eficiência dos produtos. A incompatibilidade pode dar-se em relação a diferentes tipos de granulometria dos produtos, que impede uma homogeneização perfeita, ou a problemas como higroscopicidade ou reações químicas indesejadas. Assim, antes de decidir pela compra de determinados produtos, é aconselhável verificar se haverá algum tipo de incompatibilidade (Tabela 7), havendo, o produto incompatível deverá ser substituído por outro, mesmo que mais oneroso.

Tabela 1. Garantias mínimas e especificações para os principais fertilizantes nitrogenados de acordo com a legislação vigente.

Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Adubos nitrogenados			
Nitrato de amônio	32% N	50% amoniacal (NH ₄ ⁺), 50% nítrica (NO ₃)	-
Nitrato de cálcio	14% N	Nítrica (NO ₃) e até 1,5% amoniacal (NH ₄ ⁺)	18%-19% Ca e 0,5% a 1,5% Mg
Cloreto de amônio	25% N	25% amoniacal (NH ₄ ⁺)	62%-66% de Cl
Nitrato de sódio	15% N	Nítrica (NO ₃)	Teor de perclorato de sódio ≤ 1%
Sulfato de amônio	20% N	Amoniacal (NH ₄ ⁺)	22%-24% S e teor de tiocinato de amônio ≤ 1%
Uréia	44% N	Amídica (NH ₂)	Teor de bioreto ≤ 1,5% para aplicação no solo e 0,3% para adubação foliar

Tabela 2. Garantias mínimas e especificações para os principais fertilizantes fosfatados de acordo com a legislação vigente.

Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Adubos fosfatados			
Fosfato monoamônio (MAP)	9% N	N na forma de NH_4^+	-
	48% P_2O_5	P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O	
	44% P_2O_5	P_2O_5 solúvel em H_2O	
Fosfato diamônio (DAP)	16% N	N na forma de NH_4^+	-
	45% P_2O_5	P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O	
	38% P_2O_5	P_2O_5 solúvel em H_2O	
Superfosfato simples	18% P_2O_5	P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O	18%-20% de Ca e 10%-12% de S
	16% P_2O_5	P_2O_5 solúvel em H_2O	
Superfosfato triplo	41% P_2O_5	P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O	12%-14% de Ca
	37% P_2O_5	P_2O_5 solúvel em H_2O	
Fosfato natural	24% P_2O_5	P_2O_5 total	23%-27% de Ca
	4% P_2O_5	P_2O_5 solúvel em ácido cítrico (20 g/L) relação 1:100	

Tabela 3. Garantias mínimas e especificações para os principais fertilizantes potássicos de acordo com a legislação vigente.

Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Açúbos potássicos			
Cloreto de potássio	58% K ₂ O	K ₂ O solúvel em água (cloreto)	45%-48% de Cl
Sulfato de potássio	48% K ₂ O	K ₂ O solúvel em água (sulfato)	15%-17% de S e 0,0% -1,2% Mg
Sulfato de potássio magnésio	18% K ₂ O 4,5% Mg	K ₂ O e Mg solúveis em água (sulfato)	22%-24% de S e 1,0%-2,5% Cl
Nitrato de potássio	44% K ₂ O 15% N	K ₂ O solúvel em água e N na forma nítrica (NO ₃)	-

Fonte: Ribeiro et al. (1999).

Tabela 4. Garantias mínimas e especificações para os principais fertilizantes secundários de acordo com a legislação vigente.

Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Fertilizantes com macronutrientes secundários			
Carbonato de magnésio	27% Mg	Mg total na forma de carbonato (MgCO ₃)	-
Cloreto de cálcio	24% Ca	Ca solúvel em água na forma de CaCl ₂ .2 H ₂ O	-
Enxofre	95% S	S total	-
Sulfato de cálcio (Gesso agrícola)	16% Ca 13% S	Ca e S determinados na forma elementar	-
Sulfato de magnésio	9% Mg	Solúvel em água	12%-14% de S

Fonte: Ribeiro et al. (1999).

Tabela 5. Garantias mínimas e especificações para os principais fertilizantes contendo boro, cobre ou ferro, de acordo com a legislação vigente.

Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Micronutrientes			
Boro			
Borax	11% B	Borato de sódio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) ou ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$)	Solúvel em água
Ácido bórico	17% B	Ácido (H_3BO_3)	Solúvel em água
FTE	1% B	Boro total (silicato)	Insolúvel em água
Cobre			
Sulfato de cobre	13% Cu	Sulfato	Solúvel em água 16%-18% de S
Óxido cúprico	75% Cu	Óxido (CuO)	-
Óxido cuproso	89% Cu	Óxido (Cu_2O)	-
FTE	1% Cu	Óxido Cu_2O	-
Ferro			
Sulfato férrico	23% Fe	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	18%-20% de S
Sulfato ferroso	19% Fe	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	10%-11% de S
FTE	2% Fe	Fe total (silicato)	Insolúvel em água

Fonte: Ribeiro et al. (1999).

Tabela 6. Garantias mínimas e especificações para os principais fertilizantes contendo manganês, molibdênio ou zinco, de acordo com a legislação vigente.

Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Micronutrientes			
Manganês			
Sulfato manganoso	26% Mn	MnSO ₄ .3 H ₂ O	Solúvel em água e 14%-15% de S
FTE	2% Mn	Mn total (silicato)	Insolúvel em água
Cloreto de manganês II	35% Mn	MnCl ₂	Solúvel em água e 45% de Cl
Molibdênio			
Molibdato de amônio	54% Mo	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4 H ₂ O	Solúvel em água e 5%-7% de N total
Molibdato de sódio	39% Mo	Na ₂ MoO ₄ .2 H ₂ O	Solúvel em água
Zinco			
Sulfato de zinco	20% Zn	ZnSO ₄ .7 H ₂ O	Solúvel em água e 16%-18% de S
Óxido de zinco	50% Zn	Zn total (ZnO)	Insolúvel em água

Fonte: Ribeiro et al. (1999).

Tabela 7. Compatibilidade entre adubos simples.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 Sulfato de amônio	-	c	c	c	c	c	c	c	i	c	c	c	c	i	i	c
2 Sulfato de sódio	c	-	c	c	c	c	c	x	c	c	c	c	c	c	c	c
3 Nitrato de potássio	c	c	-	c	c	c	c	x	c	c	c	c	c	c	c	c
4 Nitrocálcio	c	c	c	-	c	c	c	i	c	c	c	c	c	i	i	c
5 Nitrato de amônio	c	c	c	c	-	c	c	i	c	c	c	c	c	i	i	c
6 Sulfonitrato de amônio	c	c	c	c	c	-	c	i	c	c	c	c	c	i	i	c
7 Uréia	c	c	c	c	c	c	-	i	c	c	c	c	c	i	i	c
8 Calcionamida	i	x	x	i	i	i	i	-	i	i	i	i	i	c	c	i
9 Superfosfatos	c	c	c	c	c	c	c	i	-	c	c	c	c	i	i	c
10 Fosfato mono-amônico	c	c	c	c	c	c	c	i	c	-	c	c	c	i	i	c
11 Fosfato diamônico	c	c	c	c	c	c	c	i	c	c	-	c	c	i	i	c
12 Fosfato bicálcico	c	c	c	c	c	c	c	i	c	c	c	-	c	i	i	c
13 Farinha de ossos	c	c	c	c	c	c	c	i	c	c	c	c	-	i	i	c
14 Escória de Thomas	i	c	c	i	i	i	l	c	i	i	i	i	i	-	c	i
15 Termofosfatos	i	c	c	i	i	i	l	c	i	i	i	i	i	c	-	i
16 Fosfatos naturais	c	c	c	c	c	c	c	i	c	c	c	c	c	c	i	i

Onde: c = compatíveis; i = incompatíveis; x = podem ser misturados para aplicação imediata.

Referência Bibliográfica

RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G.; VENENA, V.H.A. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª. Aproximação. Viçosa: UFV; Comissão a Fertilidade do Solo, 1999. p. 343-355.

Capítulo 11

Adubação Orgânica

Celso Luís Bergo
Marta dos Santos Freire Ricci
Adriano Alex Santos e Rosário
Roberto da Rocha Braga

Introdução

A adubação orgânica é uma prática utilizada tanto na agricultura convencional como na orgânica, especialmente nesta última que se baseia no princípio de desenvolver sistemas alternativos de produção, visando obter produtos mais saudáveis utilizando técnicas e insumos renováveis.

A utilização de qualquer fertilizante dessa natureza, tais como resíduos de origem vegetal, animal, agroindustrial e urbano, ou o uso de cultivos de plantas para fins de adubação constitui-se adubação orgânica.

Esta prática desencadeia no solo diversas reações benéficas como aumento da atividade microbiana, retenção de cátions e ânions, melhora de sua estrutura e capacidade de retenção de água entre outras (Vale et al., 1995). Por outro lado, um solo com alto teor de matéria orgânica (cerca de 5%) não obterá grandes benefícios com a aplicação de adubos orgânicos, principalmente quanto à capacidade de troca de cátions (CTC), mas essa adubação poderá ser benéfica se a fonte for rica em nutrientes.

No Estado do Acre existem algumas limitações na obtenção de adubos orgânicos e também de fertilizantes convencionais e, portanto, a agricultura muitas vezes apresenta desempenho abaixo do esperado diante das ótimas condições de

disponibilidade hídrica e de luminosidade. Um exemplo é a pecuária, fornecedora de esterco, que por ser extensiva, não produz resíduos orgânicos (estercos bovinos) em condições aproveitáveis na sua totalidade; outros tipos de exploração animal (suínos e aves) são ainda muito incipientes. Há carência também de resíduos orgânicos industriais e as cidades, por não possuírem até o momento estações de tratamento de esgotos ou usinas de reciclagem de lixo, também não produzem resíduos urbanos em quantidade suficiente para serem utilizados pela agricultura.

Apesar dessas limitações, a adubação orgânica pode se constituir a principal alternativa para o aumento da produtividade agrícola e pecuária, visto o grande potencial da adubação verde complementada com os diferentes resíduos existentes em maior ou menor quantidade.

Principais Adubos Orgânicos

Adubo Verde

Adubo verde pode ser conceituado como a planta, cultivada ou não, cuja finalidade é elevar a fertilidade do solo e produtividade das culturas com sua massa vegetal, produzida ou não no local.

O uso freqüente da adubação verde melhora as condições físicas, químicas e biológicas do solo. Quando a planta utilizada tem a capacidade de desenvolver simbiose com microrganismos fixadores de nitrogênio, os adubos verdes constituem-se

importante fonte para o aporte de nitrogênio no sistema, neste caso especificamente, as leguminosas destacam-se pelas quantidades de nitrogênio que são capazes de adicionar ao sistema. As plantas dessa família ainda apresentam elevada capacidade de absorção do fósforo nativo ou de fontes pouco solúveis, contribuindo sobremaneira para a intensificação do ciclo biogeoquímico desse nutriente, tornando-o disponível às plantas.

Algumas espécies de plantas utilizadas como adubo verde ainda apresentam a capacidade de romper camadas adensadas subsuperficiais com seu sistema radicular, o que propicia melhores condições para o crescimento das plantas cultivadas.

Além das leguminosas, outras plantas podem ser usadas como adubos verdes, inclusive restos de culturas e gramíneas.

O cultivo de leguminosas para adubo verde proporciona ainda, além dos benefícios inerentes à rotação e sucessão de culturas como controle de doenças, pragas e reciclagem de nutrientes para a camada superficial, o controle de ervas invasoras e da erosão.

Quanto ao controle da erosão, sua atuação é particularmente importante para as condições climáticas do Estado do Acre, sujeitas a elevadas precipitações. Segundo pesquisas realizadas, a utilização da mucuna-preta como adubo verde proporcionou redução de até 99,7% da erosão (as

perdas de solo caíram de 10.000 kg ha⁻¹ para algo em torno de 30 kg ha⁻¹), sendo ainda capaz de reter até 97% do total hídrico precipitado (Gomes et al., 1990).

Os adubos verdes também são importantes no controle de ervas invasoras. De uma maneira geral, as plantas de cobertura realizam supressão de invasoras por meio dos processos de abafamento e alelopatia. No caso do abafamento, um melhor controle é obtido com plantas que promovem maior cobertura do solo, apresentam alta agressividade inicial, altos volumes de massa verde e seca, boa distribuição dos resíduos sobre o terreno e baixa velocidade de decomposição (alta relação C/N).

Diversas espécies vegetais podem ser utilizadas como adubos verdes. Para escolhê-las devem-se observar as condições de manejo, sua adaptação às condições de solo e clima, ciclo de crescimento, período de floração, modo de reprodução, capacidade de fixação de nitrogênio, no caso das leguminosas, e capacidade de produção de biomassa.

As leguminosas utilizadas como adubo verde normalmente apresentam boas condições para a nodulação, não sendo necessário o uso de inoculantes, entretanto, é interessante observar se as condições químicas do solo não inibem essa inoculação, sendo aconselhável verificar sempre se as raízes das plantas utilizadas como adubo verde apresentam nódulos sadios e bem desenvolvidos.

As principais espécies de leguminosas utilizadas como adubo verde são as crotalárias, o feijão-deporco, as mucunas, o lablab, o feijão-bravo e o quandu.

As crotalárias (*Crotalaria* spp.) pertencem a um gênero com mais de 600 espécies em todo o mundo, com boa adaptação a climas tropicais e subtropicais e solos argilosos a franco-argilosos. As principais espécies utilizadas são a *C. juncea*, *C. spectabilis*, *C. grationa*, *C. striata*, *C. anagiroides* e *C. paulinea*. De uma maneira geral, as espécies desse gênero consorciavam-se bem com plantas semiperenes ou perenes já implantadas, como café, fruteiras e cana-de-açúcar, e com plantas anuais, quando a semeadura da leguminosa é realizada no período da maturação fisiológica da cultura anual.

Recomenda-se que o corte da crotalária seja feito por ocasião do preparo do solo para plantio da cultura principal (culturas anuais); outra alternativa é cortá-la com a colheita da cultura principal, deixando sua massa para recobrir o solo até o próximo preparo. Se a crotalária estiver associada a culturas perenes, o corte deve ser realizado no pico de sua floração (80 a 120 dias após o plantio). A produtividade é de 18 a 30 Mg de massa verde ha⁻¹, representando de 6 a 10 Mg de massa seca ha⁻¹ e de 100 a 300 kg de nitrogênio ha⁻¹.

O feijão-deporco é um grupo cujo gênero tem cerca de 50 espécies, sendo uma das principais a *Canavalia ensiformis*. Essa espécie tem boa adaptação ao clima tropical, é bastante rústica, de

ciclo anual e crescimento agressivo, sendo pouco exigente em fertilidade do solo, inclusive em fósforo. Essa leguminosa pode ser utilizada do mesmo modo que as crotalárias, podendo, ainda, ser cultivada simultaneamente com a cultura principal de ciclo anual, entre suas fileiras. Nessa condição contribui para reduzir a incidência de ervas daninhas, embora, em condições de competição por água, possa prejudicar a espécie principal.

Seu manejo de corte deve ser feito como o das crotalárias. Quando o plantio for realizado de forma simultânea com a cultura principal, deve-se fazer o corte no momento da colheita dessa cultura. Apresenta potencial de produtividade de 50 Mg matéria verde ha⁻¹ (10 a 15 Mg matéria seca ha⁻¹), contribuindo com o aporte de 100 a 300 kg de N ha⁻¹. No Estado do Acre tem-se registrado produtividades em torno de 22 Mg matéria verde ha⁻¹.

As espécies denominadas de mucunas fazem parte de um grupo de leguminosas que além da mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) também apresenta a mucuna-anã, mucuna-rajada e outras espécies menos comuns. Algumas mucunas, como a mucuna-preta, apresentam hábito trepador e, portanto, não se prestam a ser utilizadas com culturas perenes, sendo indicadas para serem plantadas principalmente no final do ciclo da cultura principal, em associação com o milho. A mucuna-preta é uma espécie muito agressiva e seu corte deve ser feito antes da maturação das sementes, caso contrário poderá infestar a área pela germinação destas. A

produtividade das mucunas é muito variável, entre 10 a 40 Mg matéria verde ha⁻¹, e sua contribuição para o aporte de nitrogênio no solo pode variar de 40 a 300 kg N ha⁻¹. No Estado do Acre têm sido registradas produtividades de 30 e 25 Mg matéria seca ha⁻¹, para a mucuna-anã e mucuna-preta, respectivamente.

O lablab (*Lablab purpureus*) é uma espécie indicada para cultivo após a maturação fisiológica da cultura principal e deve ser incorporada ao solo no pico de floração, pois suas sementes poderão infestar a área. Sua produtividade varia de 10 a 30 Mg de matéria verde ha⁻¹ e pode contribuir com 60 a 220 kg de N ha⁻¹.

O feijão-bravo (*Canavalia brasiliensis*) é uma espécie do mesmo gênero do feijão-de-porco, com boa adaptação a solos ácidos e a climas quentes, resistente à seca e com alta eficiência na absorção de nutrientes. Por apresentar hábito trepador, presta-se apenas para cultivo com culturas anuais e plantio após a maturação fisiológica da cultura principal. Pode ser cortada na ocasião do próximo preparo do solo, ou em sua plena floração. Apresenta risco médio de infestação. Dependendo da época de corte (100 dias após o plantio ou mais tardiamente), apresenta produtividades que variam de 10 a 40 Mg matéria verde ha⁻¹, neste último caso, adicionando ao solo até 300 kg N ha⁻¹.

O guandu (*Cajanus cajan*, *C. flavus*, *C. indicus*) é uma planta semiperene, cuja principal vantagem, além da adubação verde, é sua utilização tanto na

alimentação humana como animal. Recomenda-se que o corte seja feito durante a floração (5 a 6 meses após a semeadura). Por ser semiperene, seu ciclo de corte pode ser de até 2 anos. Períodos maiores são desaconselháveis, já que pode haver o engrossamento dos troncos. Sua produtividade pode chegar a 15 Mg matéria verde ha⁻¹ e um aporte de 150 kg N ha⁻¹.

Características de algumas espécies de leguminosas mais usadas como adubação verde são apresentadas na Tabela 1.

Leguminosas perenes de lento crescimento, como a flemingia (*Flemingia congesta*), também podem ser utilizadas no consórcio com culturas perenes no seu período de formação. Essa espécie exige a realização de capinas nos primeiros meses após o plantio e é indicada para o plantio simultâneo com lavouras cafeeiras em formação, pois o seu desenvolvimento inicial lento implica em baixa competitividade por fatores de crescimento (nutrientes e água, principalmente). Leguminosas mais agressivas, como o feijão-de-porco, quando cultivadas simultaneamente com cafeeiros em formação, tendem a prejudicar o desenvolvimento da cultura principal, eliminando os benefícios da utilização do consórcio da leguminosa com café.

Em culturas perenes mais espaçadas, como no caso da citricultura, o uso de adubo verde de hábito rasteiro para cobrir o solo é uma prática desejável,

a exemplo do amendoimzinho (*Arachis pintoi*) que protege o solo da insolação e da erosão, e contribui para o controle de ervas daninhas.

Muitas leguminosas arbóreas também podem ser utilizadas como adubo verde, principalmente como componentes de sistemas agroflorestais, destacando-se a *Inga edulis* com produtividade de matéria seca na ordem de 13 Mg ha⁻¹ (Tabela 2).

Tabela 1. Características de algumas espécies de leguminosas mais usadas como adubação verde.

Espécie	Hábito de crescimento	Floração plena	Biomassa vegetal (Mg ha ⁻¹)		Espaçamento na entrelinha (m)	Quantidade de sementes (kg ha ⁻¹)	Nitrogênio fixado (Mg ha ⁻¹)	Peso de 1.000 sem. (g)
			Verde	Seca				
<i>Crotalaria spectabilis</i>	ereto	110-140	15-30	3-8	0,25	15	154	17.6
Feijão-de-porco	ereto	100-120	14-30	3.2 - 7	0,5-1,5	150-180	49-190	1.351
Guandu	ereto	140-180	9-70	3 - 22	0,5-1,5	50	41-280	134
Guandu-anão	ereto	100	12-20	2.5-5.6	0,6-0,7	-	-	72.5
Mucuna-preta	volúvel	140-170	10-40	4-7.5	0,5-1,0	60-80	157	650
Mucuna-cinza	volúvel	130-150	20-46	5-9	0,5-1,5	60-90	-	835

Fonte: Calegari et al. (1993); Calegari (1998).

Tabela 2. Produtividade de matéria seca (MS) e respectivos teores de macronutrientes existentes na biomassa aérea (folhas: fl e galhos: gl) de leguminosas arbóreas nas condições climáticas de Rio Branco.

Espécie	Macronutrientes (g kg ⁻¹)						
	MS (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>Inga edulis</i> - fl	12,8	30,80	1,83	7,65	8,35	2,12	1,06
<i>Inga edulis</i> - gl	-	5,32	0,61	3,06	2,80	0,62	0,19
<i>Inga coreaceae</i> (macaco) - fl	7,1	18,2	0,90	3,83	1,40	1,57	0,29
<i>Inga coreaceae</i> (macaco) - gl	-	7,14	0,76	4,59	3,65	0,97	0,22
<i>Gliricidia sepium</i> - fl	3,2	9,38	1,33	13,01	2,25	0,51	0,28
<i>Gliricidia sepium</i> - gl	-	7,98	1,87	10,71	3,00	0,64	0,33
<i>Eretrina poeppigiana</i> - fl	1,1	36,82	3,00	19,13	3,10	1,93	1,65
<i>Eretrina poeppigiana</i> - gl	-	13,72	1,00	4,59	8,00	1,51	0,39
<i>Samanea tubulosa</i> - fl	0,9	37,80	1,71	7,65	7,25	1,63	1,91
<i>Samanea tubulosa</i> - gl	-	9,80	0,63	3,83	3,85	0,43	0,39
<i>Inga fagifolia</i> (Mirim) - fl	7,0	27,72	1,58	5,36	5,20	1,42	0,91
<i>Inga fagifolia</i> (Mirim) - gl	-	6,58	0,62	3,06	3,85	0,49	0,21

Fonte: Ufac (1999).

Uma alternativa muito importante para o uso de leguminosas é o seu cultivo durante o curto período de pousio entre duas safras consecutivas, para lavouras de ciclo anual. Essa prática é recomendada tanto em solos descansados e de uso recente, já que inibe a formação de sementeiras de ervas daninhas, como em solos em estádios avançados de degradação. As leguminosas podem ainda ser cultivadas em capoeiras ou em áreas deixadas em pousio. Nestas condições, o plantio das leguminosas contribui para uma recuperação mais rápida da fertilidade do solo.

O cultivo das leguminosas sempre que possível deve ser planejado em sistema de rotação de culturas, em que parte da área é destinada ao plantio da leguminosa usada como adubo verde. Embora aparentemente haja uma perda de área produtiva com esse sistema, seus benefícios são maiores, já que a produtividade da cultura posterior é muito maior e evita-se, em sistemas bem planejados, o esgotamento da capacidade de produção do solo. Neste caso, cada produtor deve buscar o melhor esquema de acordo com a prática na sua propriedade, combinando o tempo disponível, épocas de plantio, melhor espécie de adubo verde e tipo de rotação.

Os adubos verdes são particularmente importantes para a agricultura de baixo nível tecnológico praticada no Estado do Acre. Há indicações de que somente o uso da mucuna-preta como adubo verde (cultivada no final de abril e incorporada com grade niveladora no período de preparo do solo da cultura principal) resultou em aumento da produção de milho e arroz

de 130% e 170% em relação à média estadual, respectivamente (Pacheco & Marinho, 2001). Também para feijão foi possível obter ganho de produtividade entre 120% a 220%, em comparação com a média estadual. Esses resultados positivos com o uso da mucuna-preta foram obtidos sem nenhuma adubação mineral complementar.

Existe ainda a possibilidade de se utilizar mistura de sementes de adubos verdes, resultando no plantio simultaneamente e no mesmo local de mais de uma espécie como adubo verde. Essa prática consiste em obter melhor diversidade do sistema, já que a mistura envolve o uso de espécies de diferentes famílias botânicas, que têm hábitos distintos e ocupam diferentes estratos, e portanto, apresentam variadas arquiteturas da parte aérea e do sistema radicular.

Estercos e camas

Os esterco são formados por excrementos sólidos ou líquidos dos animais, misturados ou não com materiais usados para cama, como as palhas e capins. Sua composição química é bastante variável e depende de fatores como a espécie animal, tipo de cama utilizada, procedimentos usados em sua manipulação, tipo de alimento fornecido aos animais, condições climáticas e idade do animal. Em geral, são particularmente ricos em nitrogênio, fósforo e potássio (Tabela 3).

A utilização do esterco é uma alternativa válida ao uso de fertilizantes minerais se existir em quantidade suficiente e houver facilidades para o transporte,

entre o local de coleta e o de aplicação. Recomenda-se, na utilização do esterco, enriquecê-lo com a incorporação de 6 a 10 kg de P_2O_5 por tonelada de material, visando diminuir as perdas de nitrogênio e aumentar o teor de fósforo.

Durante o armazenamento, é importante que o material não fique exposto ao sol nem às chuvas, evitando-se assim perda de nutrientes. De modo geral, os estercos são mais comumente recomendados para a adubação na cova de espécies perenes.

Tabela 3. Amplitude (mín-máx) e média (méd) das composições percentuais aproximadas de teores de macronutrientes (N, P_2O_5 e K_2O) em diferentes adubos orgânicos.

Tipo	N		P_2O_5		K_2O	
	%					
	Mín-máx	Méd	Mín-máx	Méd	Mín-máx	Méd
Esterco bovino	1,8 – 3,7	3,1	0,9 – 2,3	1,8	0,7 – 3,0	2,1
Esterco eqüino	1,7 – 1,8	1,8	0,6 – 3,3	1,0	0,7 – 1,8	1,4
Esterco ovino	1,6 – 4,0	2,8	1,3 – 2,1	1,7	0,5 – 3,4	2,0
Esterco suíno	2,0 – 4,5	3,2	0,9 – 3,6	2,4	1,9 – 4,2	2,7
Esterco de galinha	2,5 – 5,4	4,0	3,0 – 8,1	4,7	1,8 – 2,2	2,0
Composto esterco + restos vegetais	0,4 – 1,0	0,8	0,2 – 0,6	0,2	0,2 – 0,9	0,4
Composto de lixo urbano	-	3,4	-	1,2	-	0,3

Fonte: Lopes et al. (1989).

Composto

O composto orgânico é um produto obtido da fermentação da mistura de diferentes resíduos orgânicos vegetais, animais, urbanos e industriais resultante da compostagem. Esta deve ser compreendida como um processo de estabilização do resíduo orgânico antes de sua aplicação no solo. Portanto, a compostagem consiste em promover, artificialmente, os processos biológicos responsáveis pela decomposição do material orgânico, de forma a se obter, ao final do processo, um material de menor relação C/N que o material de origem e maior concentração de nutrientes (Pedini, 2000).

Os materiais de origem utilizados no processo de compostagem são: a) os resíduos orgânicos de alta relação C/N que sejam facilmente disponíveis na propriedade ou região (folhas, restos de alimentos, frutos, palhadas, resíduos de beneficiamento); b) os meios de fermentação, materiais que entram facilmente e espontaneamente em fermentação quando amontoados e umedecidos, sendo responsáveis pela multiplicação e disseminação dos microorganismos por todo o composto (estercos, terra de mata, entre outros).

A função do composto como fornecedor de nutriente dependerá basicamente do material empregado em seu preparo. Se for um material pobre, o composto terá um valor fertilizante baixo; ao contrário, se for rico, o valor fertilizante será alto e o composto poderá suprir diversos nutrientes às plantas. Se o

nutriente estiver contido no composto na forma estrutural, ou seja, participando da estrutura química das substâncias orgânicas, como é o caso do nitrogênio, será liberado de forma mais lenta, o que se torna uma vantagem adicional já que essa liberação costuma coincidir com as taxas de absorção de nutrientes pelas plantas em crescimento. Por outro lado, essa liberação mais lenta pode não ocorrer se o nutriente não tiver nenhum papel estrutural definido como é o caso do potássio.

Por se tratar de um material previamente humificado, o composto tende a apresentar importantes benefícios indiretos como agente condicionador do solo, melhorando suas características físicas, como retenção de água, plasticidade e porosidade.

Os compostos têm grande utilidade na floricultura, fruticultura e produção de hortaliças em geral. Em condições específicas, também podem ser utilizados em outras atividades agrícolas. Existem várias publicações disponíveis que podem ser consultadas com orientações para produzir compostos orgânicos na propriedade, as quais estão listados nas literaturas complementares (Maia et al., 1999; Souza et al., 2001). De forma geral, recomenda-se que o local escolhido para a compostagem seja de fácil acesso, tenha água disponível em quantidade suficiente para as regas, seja protegido da insolação direta, das enxurradas e ventos excessivos. O solo do local deve ainda apresentar boa drenagem e ser próximo de onde será utilizado o composto.

Normalmente, o prazo para a obtenção de uma compostagem de boa qualidade é em torno de 90 dias, podendo variar em função do turno de rega e da freqüência de revolvimento do material em compostagem.

Cálculo da Quantidade de Esterco ou Composto a ser Aplicado no Solo

Recomendações de esterco e de compostos são, muitas vezes, realizadas de forma genérica, baseadas em observações empíricas, visando a diferentes propósitos, seja utilizar o esterco ou composto como condicionador do solo, ou como fonte de nutrientes. Normalmente, como condicionador do solo, é usado na composição da terra de enchimento das covas de plantio, produção de mudas ou em canteiros de hortaliças. Como fornecedor de nutrientes, é utilizado mais freqüentemente na adubação de culturas perenes.

Quando é utilizado como fonte de nutrientes, é importante que as quantidades a aplicar sejam balanceadas com a complementação dos requerimentos nutricionais das plantas para aqueles elementos que não são fornecidos em quantidades suficientes no material orgânico. Assim, faz-se necessário conhecer a quantidade de cada macronutriente principal (nitrogênio, fósforo e potássio) e a composição elementar do produto orgânico a ser aplicados na cultura. Com base nessas duas informações, torna-se então possível determinar a quantidade de esterco ou composto a ser aplicada.

Para um cálculo aproximado dessa quantidade, os seguintes critérios (Igue et al., 1984) devem ser considerados:

Inicialmente, deve-se dar preferência para aplicação dos esterco ou compostos em solos com menores teores de matéria orgânica.

A seguir, com base na análise do solo, definir as necessidades de nitrogênio, fósforo e potássio para a cultura em questão, principalmente para adubação a lanço¹.

Depois, determinar a composição elementar do esterco, preferencialmente em base de volume, para nitrogênio, fósforo e potássio.

Em seguida, deve-se calcular a suplementação de nitrogênio, fósforo ou potássio a ser fornecida por fertilizantes minerais, necessária para completar a adubação exigida pela cultura.

Exemplo:

Necessidade dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O), baseada na análise de solo:

N – 80 kg ha⁻¹

P_2O_5 – 80 kg ha⁻¹

K_2O – 50 kg ha⁻¹

¹A adubação orgânica na cova é usada com o propósito de condicionar o solo e neste caso pode-se ignorar a quantidade dos nutrientes fornecidos.

Composição elementar do esterco a ser aplicado:

$$\text{N} - 1,00\% = 10 \text{ kg Mg}^{-1}$$

$$\text{P}_2\text{O}_5 - 0,80\% = 8 \text{ kg Mg}^{-1}$$

$$\text{K}_2\text{O} = 0,40\% = 4 \text{ kg Mg}^{-1}$$

Pode-se então:

Calcular a quantidade de esterco necessária para satisfazer à recomendação no item 1:

$$\text{Nitrogênio} = 80/10 = 8 \text{ Mg esterco}^{-1} \text{ ha}^{-1}$$

$$\text{Fósforo} = 80/8 = 10 \text{ Mg esterco}^{-1} \text{ ha}^{-1}$$

$$\text{Potássio} = 50/4 = 12,5 \text{ Mg esterco}^{-1} \text{ ha}^{-1}$$

Assim, para suprir as necessidades de nitrogênio, fósforo e potássio, seriam necessários, respectivamente, 8, 10 e 12,5 Mg esterco⁻¹ ha⁻¹. A determinação da quantidade de esterco a ser utilizada, portanto, dependerá da estratégia que se pretende adotar: aplicar todos os nutrientes exclusivamente pelo uso de esterco ou otimizando-se as quantidades a serem aplicadas em função das demandas específicas.

Se a opção for pelo segundo caso, seleciona-se a dose mais baixa, isto é, 8 Mg esterco⁻¹ ha⁻¹. Assim, a quantidade de nutrientes a ser suprida pelo esterco seria (Tabela 4):

$$N = 10 \times 8 = 80 \text{ kg}$$

$$P_2O_5 = 8 \times 8 \text{ t} = 64 \text{ kg}$$

$$K_2O = 4 \times 8 = 32 \text{ kg}$$

Portanto, para atender às necessidades das plantas quanto a nitrogênio, fósforo e potássio, se a adubação orgânica for de 8 Mg esterco⁻¹ ha⁻¹, será necessária uma suplementação com fontes minerais de 16 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 18 kg ha⁻¹ de K₂O.

Tabela 4. Cálculo de suplementação com fertilizantes minerais em kg ha⁻¹.

Nutrientes	Necessidade da planta	8 Mg esterco (kg ha ⁻¹)	Suplemento mineral
N	80	80	-
P ₂ O ₅	80	64	16
K ₂ O	50	32	18

Esse exemplo demonstra que adubos orgânicos, por possuírem diferentes proporções entre sua composição química e as demandas nutricionais das plantas, não poderão suprir todos os elementos necessários para a nutrição das culturas em condições equilibradas. Se a opção for fornecer todos os macronutrientes principais via esterco, seria necessário aplicar 12,5 Mg esterco⁻¹ ha⁻¹. Esta

quantidade seria suficiente para suprir a demanda por K_2O , porém, implicaria numa dosagem maior para fósforo e nitrogênio.

É importante lembrar que devido à rápida decomposição do esterco e de compostos no solo, continuamente sob cultivos em longo prazo, aplicações em pequenas quantidades, porém freqüentes, são mais eficazes que grandes quantidades aplicadas de uma só vez.

Vermicomposto

Vermicomposto, também conhecido como húmus de minhoca, é o produto da ação de vermes (minhocas) no processo de degradação de compostos orgânicos. O vermicomposto é preparado artificialmente em canteiros, utilizando-se a minhoca vermelha da califórnia (*Eisenia foetida*) para produzir um composto de melhor qualidade e maior estabilidade. As minhocas atuam triturando os resíduos orgânicos, liberando muco que facilita o trabalho posterior dos microorganismos decompositores, acelerando o processo de humidificação e promovendo o desenvolvimento de uma grande população de microorganismos, o que torna o vermicomposto de melhor qualidade quando comparado ao composto tradicional. Sua utilização é importante na floricultura, vasos caseiros e pode ainda receber as mesmas aplicações dadas ao composto tradicional (Ricci, 1996).

Biofertilizantes

Biofertilizantes são adubos orgânicos líquidos provenientes de um processo de decomposição de matéria orgânica (animal ou vegetal) por meio de fermentação. São usados como complemento nutricional em aplicações foliares, nas mais diferentes culturas, e como defensivo natural. Podem ser enriquecidos ou não com nutrientes, por meio da adição de quelatos de metais, farinha de ossos e outras fontes minerais.

Em sua composição apresentam teores variáveis de macro e micronutrientes, muitos em formas assimiláveis diretamente pelas folhas. Normalmente, as quantidades aplicadas atendem apenas às demandas das plantas por micronutrientes, sendo de curta permanência o efeito benéfico na nutrição dos macronutrientes observado com a aplicação foliar. Dependendo de sua origem apresentam proporções de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, ferro, cloro, sílica, molibdênio, boro, cobre, zinco e manganês.

Esse produto pode ser preparado facilmente a partir de materiais normalmente disponíveis no campo (Tabela 5).

Para se preparar uma calda biofertilizante, inicialmente, maceram-se as folhas colocando-as com os demais materiais no camburão, completando com água. Deixar fermentar por 21 dias. Após a fermentação, coar o material e diluir a calda na proporção de 2 a 5 litros para 100 litros de água,

aplicando-se, no final da tarde, no máximo 5 litros por ha (para grandes culturas, podem-se aplicar 3 litros por hectare).

Tabela 5. Materiais e respectivas quantidades/peso para confecção de biofertilizante líquido.

Biofertilizante – I	Biofertilizante – II
10 kg de esterco fresco	20 litros de soro de leite sem sal
2 kg de cinza	2 kg de cinza
1 balde de diversas folhas verdes	1 balde de diversas folhas verdes
1 kg de esterco de aves (caipira)	2 litros de mel de cana ou 4 litros de garapa ou 1 kg de açúcar
4 litros de leite ou soro de leite (sem sal)	250 gramas de farinha de ossos
2 litros de mel de cana ou 4 litros de garapa ou 1 kg de açúcar	Camburão plástico de 60 litros
250 gramas de farinha de ossos	600 ml E.M. (microorganismos eficazes)
Camburão plástico de 60 litros	

Fonte: Souza (2000).

Referências Bibliográficas

CALEGARI, A. ; MONDORDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDNER, L. do P.; COSTA, M. B. B. da; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. **C. Adubação verde no sul do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.

CALEGARI, A. Espécies para cobertura de solo. In: **Plantio direto**: pequena propriedade sustentável. Londrina, PR: IAPAR, 1998. 255 p. (IAPAR. Circular, 101).

GOMES, T. C. de A.; PAZ, F. das C. A.; DEDECEK, R. A.; FREITAS, P. L. de; REGO, R. S. **Determinação de perdas de solo e água em diferentes condições de solo e manejo em Rio Branco, AC**. Rio Branco, AC: Embrapa- UEPAE, 1990, 8 p. (Embrapa-UEPAE. Pesquisa em Andamento, 67).

IGUE, K.; ALCOVER, M.; DERPSCH, R.; PAVAN, M. A.; MELLA, S. C.; MEDEIROS, G. B. **Adubação orgânica**. Londrina, PR: IAPAR, 1984. 33 p. (IAPAR. Informe de pesquisa nº 59).

LOPES, A. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; coord. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**; 4ª aproximação. Lavras, MG: CFSEMG, 1989. 176 p.

MAIA, A. S. C.; PEREIRA, J. W.; OLIVEIRA, M. A.; RECCO, R. D. **Como montar uma composteira**: método prático e de baixo custo para produzir adubo orgânico na própria propriedade. Rio Branco, AC: UFAC/DCA, 1999. 12 p.

PACHECO, E. P.; MARINHO, J. T. de S. **Plantio direto**: uma alternativa para produção de grãos no Estado do Acre. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2001. 5 p. (Embrapa Acre. Comunicado Técnico, 131).

PEDINI, S. Produção e certificação de café orgânico. In: ZAMBOLIM, L. org. **Café**: produtividade, qualidade e sustentabilidade. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 333-360.

RICCI, M. dos S. F. **Manual de vermicompostagem**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia. 1996. 23 p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 31).

SOUZA, A. B., coord. **Programa de crédito para a agricultura orgânica no Acre**. Rio Branco, AC: DFA/AC-MMA, 2000. 42 p.

SOUZA, F. A. de; AQUINO, A. M. de; RICCI, M. dos S. F. **Compostagem**. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2001. 10 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 50).

UFAC. Arboreto. O uso do coquetel de adubos verdes na recuperação de áreas degradadas no estado do Acre. Rio Branco, AC: UFAC, 1999. 34 p.

VALE, F. R. do; GUEDES, G. A.; GUILHERME, L. R. G. **Manejo da fertilidade do solo**. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 1995. 206 p.

Capítulo 12

Potencial para o Sistema Plantio Direto no Acre

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado
Beáta Eموke Madari
Alberto Carlos de Campos Bernardi

Introdução

O termo plantio direto vem sendo bastante mencionado no Brasil. Essa técnica de plantio é conhecida há muito tempo em algumas regiões, pois foi introduzida no País no início dos anos 70 na Região Sul. Desde então, a adoção por parte dos agricultores tem sido cada vez mais crescente, expandindo-se para a região dos Cerrados e avançando na região Peri Amazônica (como por exemplo o norte do Mato Grosso). Hoje, a área agrícola sob plantio direto no Brasil é de aproximadamente 20 milhões de hectares e as principais culturas cultivadas nesse sistema são os grãos (como milho, soja, trigo, arroz, cevada e aveia).

O plantio direto é a semeadura, na qual a semente é colocada no solo não revolvido (sem prévia aração ou gradagem leve niveladora), usando-se semeadeiras especiais. A semeadeira deve ser específica de fábrica ou adaptada para realizar o corte da palha da cultura anterior e abrir um pequeno sulco com profundidades e larguras suficientes para garantir a adequada cobertura e contato da semente com o solo (Fig. 1).

É importante lembrar que no plantio direto não se utilizam os implementos denominados de arado, grade leve niveladora ou grade aradora que são comuns na agricultura brasileira e no preparo do solo antes da semeadura. Aliás, uma vez adotado, o plantio direto não deve ser utilizado intercalado com arado, grade niveladora, grade pesada aradora (ou grade Rome).

Deve-se entender que a manutenção de restos de culturas comerciais (como arroz e milho) ou de adubos verdes ou plantas de cobertura (como crotalária e milheto) na superfície do solo é importantíssima para o sucesso do plantio direto. Ou seja, a superfície do solo deve ficar sempre e em grande parte coberta com palha (Fig. 2).

Foto: Edson Patto



Fig. 1. Semeadura direta em pequena propriedade.



Fig. 2. Detalhe da cobertura do solo após cultivo de milho em sistema plantio direto.

No plantio convencional, usa-se o arado e depois passa-se várias vezes a grade niveladora no solo, enquanto no plantio direto essas operações não são realizadas.

Na História da Civilização observa-se que o plantio direto, de certa forma, já era praticado por civilizações antigas, tais como os egípcios e os incas, que, incapazes de revolver manualmente o terreno todo para plantio, faziam um pequeno buraco para introduzir a semente de uma planta. Hoje ainda é possível ver uma derivação desse modo de semeadura – a matraca (Fig. 3).

Foto: R. Derpsch



Fig. 3. Matraca ou saraquá.

Entretanto, somente no século passado, no final dos anos 40, é que o plantio direto propriamente dito surgiu, graças ao aparecimento dos herbicidas (substâncias que matam plantas daninhas). O uso de herbicidas em plantio direto e convencional será mencionado mais adiante. Outro aspecto relevante no sucesso do plantio direto foi o desenvolvimento da rotação de culturas com plantas de cobertura para a formação de palha.

Além disso foi importante para a expansão do plantio direto o desenvolvimento de semeadeiras especiais, já que inicialmente foram desenvolvidas máquinas compatíveis apenas com agricultura comercial de larga escala, o que obrigava os pequenos produtores a engenhosas adaptações (Fig. 4).

Foto: Edson Araújo



Fig. 4. Primeiras adaptações feitas para a adoção do plantio direto em pequenas propriedades agrícolas.

Atualmente, o mercado já dispõe de equipamentos para a semeadura desenvolvidos exclusivamente para o plantio direto e voltados ao pequeno produtor (Fig. 5), o que veio facilitar em muito a adoção desse sistema na agricultura familiar, pois o pequeno produtor possui grande limitação de escala para a mecanização e a disponibilidade de máquinas adaptadas a essa realidade tem sido fundamental.



Fig. 5. Semeadeira desenvolvida especialmente para o plantio direto em pequenas propriedades.

Por que Adotar o Plantio Direto?

Muitos produtores estão motivados em adotar o plantio direto, por oferecer melhor rendimento das lavouras que o plantio convencional, principalmente se houver um ano mais seco. Além disso, os agricultores do Sul e dos Cerrados brasileiros, ao eliminarem a aração e gradagem do solo, constataram economia de até 60% no custo de investimento em combustíveis para a produção e, eliminando as operações de preparo do solo, pode-se plantar na época recomendada a variedade que se deseja.

Em comparação com o solo sob aração e gradagens, para se ter uma idéia da vantagem do plantio direto quanto à semeadura, destacam-se dois aspectos: a) no solo sob plantio direto, após vários dias de chuva, já é possível transitar com a semeadora após 2 dias, devido à alta taxa de infiltração e condutibilidade hidráulica; b) a umidade do solo sob plantio direto é mantida por períodos mais longos (até cerca de 12 dias), devido à cobertura morta (palha) na sua superfície. Assim, o solo sob plantio direto oferece maior flexibilidade de tempo para a operação da semeadura.

Outro importante aspecto é que o plantio direto protege o solo contra a erosão causada pelas fortes chuvas nos Trópicos. Essa proteção se dá porque o plantio direto propicia as melhores condições para que a superfície do solo fique coberta pela palha da cultura anterior evitando, assim, o impacto direto da gota de chuva.

Apenas para lembrar, a erosão causada pela chuva ocorre se o solo estiver descoberto, sem nenhuma cobertura vegetal ou palhada, como normalmente se observa após preparo com arado e grade. Com a chegada de uma chuva, o impacto da gota na superfície causa um encrostamento que impede a infiltração da água no solo. A água da chuva se acumula e, com o declive do terreno (mesmo com 2%), forma-se uma enxurrada que carrega solo, semente, adubos e pesticidas para os rios e lagos.

Para se ter uma idéia do potencial de perda de solos, estudos conduzidos em Rio Branco indicam valores de até 170 Mg ha⁻¹ (1 Mg ha⁻¹ = 1 tonelada ha⁻¹) de solo em área descoberta, preparada com aração e gradagem no sentido do declive e mantida capinada durante todo o período chuvoso. No mesmo tipo de preparo do solo, cultivado com a sucessão arroz–feijão–milho, e manutenção dos restos culturais, as perdas de terra foram reduzidas para 48 Mg ha⁻¹. São valores ainda elevados, porém indicativos do potencial da cobertura do solo na proteção contra a erosão.

Além de evitar as perdas de solo, a cobertura também contribui para melhorar o regime hídrico. No mesmo estudo anterior, foi possível constatar que enquanto no solo descoberto houve uma perda de água por deflúvio superficial de 11.680 m³ ha⁻¹, somente a manutenção dos restos de cultura foi suficiente para diminuir a perda de água para 6.795 m³ ha⁻¹. Isto representa um armazenamento equivalente a uma chuva de 488 mm, já que 4.885 m³ ha⁻¹ se infiltram no solo com a presença da cobertura formada pelos restos de cultura.

Esses resultados constataam a necessidade de manter a superfície do solo coberta o ano todo para combater a erosão e o plantio direto deve ser compreendido como uma alternativa que concilia a necessidade de uma agricultura competitiva de alta produtividade com as necessidades de conservação dos recursos ambientais.

A Importância da Rotação de Culturas e Plantas de Cobertura

O sucesso do plantio direto depende muito da rotação de culturas envolvendo plantas de cobertura ou adubos verdes. Por exemplo, a introdução do milheto na rotação de culturas nos Cerrados consolidou o plantio direto na região central do País (Altmann, 2001).

Embora praticamente não haja diferença entre planta de cobertura e adubo verde, alguns consideram que a primeira visaria mais à formação de palha e o segundo forneceria nutriente, especialmente nitrogênio, para a cultura principal subsequente.

No Sul do Brasil, pesquisas realizadas no início dos anos 80 no Paraná, pelo Instituto Agronômico do Paraná (Iapar), resultaram em vasta seleção de plantas entre gramíneas, leguminosas e brássicas (Calegari, 1995), já tendo atualmente recomendações de rotação de culturas regionalizada no Estado (Paraná, 1994). Gramíneas como a aveia para os estados do Sul do Brasil e para a região sul dos Cerrados, e milheto para o centro-norte dos Cerrados têm sido bastante eficientes na formação de palha em esquemas de rotação com soja e milho (Calegari, 2001). Por outro lado, leguminosas como o nabo forrageiro e a crotalária são reconhecidas fontes de nitrogênio. O nabo forrageiro, por exemplo, fornece por tonelada de massa seca produzida cerca de 23 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 43 kg ha⁻¹ de K₂O, 29 kg ha⁻¹ de CaO e 6 kg ha⁻¹ de MgO. É importante enfatizar que a rotação de culturas também traz

benefícios no controle de pragas e doenças por quebrar o ciclo de pragas, fungos e bactérias, paralelo a um incremento no número de inimigos naturais. No Estado do Acre, tem-se constatado que a palha de culturas como feijão se decompõe muito rapidamente, não sendo apropriada para a formação de cobertura morta, que normalmente sucede cultivos de gramíneas, como milho e arroz. É provável que a menor relação C/N das leguminosas, aliada a altas temperaturas e umidade, impeça a formação da palhada pelas leguminosas.

A associação ou o consórcio de plantas de cobertura também pode ser feito, ou seja, associar, por exemplo, gramíneas e leguminosas. A mistura de espécies, além de melhorar as características físicas do solo (agregação, estruturação), produz resíduos com relação C/N intermediária, favorecendo a mineralização paulatina do nitrogênio e promovendo, ao longo dos anos, um maior equilíbrio e acúmulo de carbono no perfil do solo (Calegari, 2001).

Outro benefício importante da rotação de culturas é seu efeito na população e nas espécies de plantas daninhas, pois permite o uso alternado de herbicidas, com mecanismos de ação diferenciados evitando, assim, a seleção e o surgimento de espécies resistentes (Melhorança et al., 1998).

Adoção do Sistema de Plantio Direto e o Controle de Plantas Daninhas

De modo geral, para o agricultor adotar o plantio direto deve ter disponível uma semeadeira específica ou adaptada (Fig. 5 e 4, respectivamente) e informar-se sempre sobre o novo procedimento, no qual a semeadura é feita sem prévio revolvimento do solo, o que exigirá profundo conhecimento sobre o emprego de processos integrados de controle de plantas daninhas e manejo da palha.

Há no Brasil diversas associações de plantio direto, clubes de amigos da terra e instituições de pesquisa e extensão rural que podem auxiliar em muitas dúvidas, como por exemplo: Cooperativados Agricultores de Plantio Direto (www.cooplantio.com.br) e Associação de Plantio Direto no Cerrado (apdc@tba.com.br).

É muito importante não introduzir o plantio direto em toda a área da propriedade agrícola. Como no Acre as áreas de plantio normalmente são pequenas, recomenda-se a implantação em cerca de 2 a 5 ha por propriedade, incorporando áreas restantes pouco a pouco à medida que se adquire domínio da técnica e maior controle da infestação de plantas daninhas.

O tamanho da área deve considerar a capacidade técnico-econômica do agricultor em adequar a fertilidade química e física do solo, além do manejo da palha e principalmente do controle integrado de plantas daninhas, que envolve não apenas o uso de herbicidas, mas também o próprio manejo da palha.

Deve-se evitar o plantio em áreas com sérias restrições de drenagem, como naquelas em que predominam Gleissolos e alguns Plintossolos.

Depois de selecionada, a área deve passar, quando necessário, por uma adequação da fertilidade física que consiste em:

a) Corrigir danos na estrutura do solo, como os ocasionados por colheitadeiras ou caminhões carregados, operados em solos muito úmidos.

b) Eliminar os sulcos ou valetas de erosão.

c) Eliminar a compactação do solo ou as camadas adensadas que afetam o rendimento das culturas.

A maioria dos solos do Estado está sendo mecanizada apenas recentemente e muitos produtores ainda desconhecem os problemas derivados dos longos anos sob plantio convencional, como a formação de “pé-de-arado”, resultado da aração sempre feita a uma mesma profundidade (18-20 cm).

A presença do “pé-de-arado” pode ser constatada cavando-se um pequeno buraco com enxadão. Se houver a formação do “pé-de-arado”, os primeiros 15 cm de solo serão facilmente removíveis, mas, ao se atingir a profundidade de 18 cm, o golpe do enxadão no solo sofrerá forte resistência à penetração devido à existência de uma camada mais adensada. Esta camada impede o crescimento

radicular em profundidade, dificultando às plantas a absorção de água de camada mais profundas.

A adequação da fertilidade química consiste basicamente em corrigir a acidez do solo, elevando a saturação de bases necessária para o desenvolvimento da cultura menos tolerante à acidez, que estiver sendo planejada para ser cultivada na rotação. Por exemplo, se for planejada a rotação arroz–feijão–milho, a acidez do solo deve ser corrigida considerando os valores de saturação de bases indicados para o feijão, que é a lavoura mais exigente nesse aspecto. É importante realizar a incorporação do calcário, o mais profundamente possível, aplicando-se metade da quantidade necessária por meio da aração e a outra metade por gradagem.

Um ponto importantíssimo na adoção do plantio direto refere-se ao manejo integrado de plantas daninhas. No plantio convencional, arado e herbicidas são importantes ferramentas que o agricultor utiliza no combate às plantas daninhas. No plantio direto esse combate é feito pelos herbicidas e pela palha acumulada na superfície do solo originada de diferentes plantas.

Poucos enfatizam a importância da palha na supressão do crescimento de plantas daninhas. O agricultor que conhece cada espécie de planta daninha e seu nível de infestação nas diferentes glebas da propriedade está dando grande passo para a implantação bem sucedida do plantio direto. É

importante estar atento, pois a adoção do plantio direto pode ser inviabilizada se não forem implantadas práticas culturais que visem diminuir a infestação de plantas daninhas, especialmente das espécies perenes de reprodução vegetativa como a grama-seda (*Cynodon dactylon*), capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e capim-massambará (*Sorghum halepensis*) (Melhorança et al., 1998).

Entretanto, considerando que outras plantas daninhas podem também se tornar um grande problema, deve-se fazer um levantamento minucioso de todas as espécies e do nível de infestação de cada uma.

O agricultor deve adotar a rotação de culturas com plantas de cobertura, ao contrário de anos sob monocultura intercalada por pousio. O esquema de rotação de culturas deve ser bem planejado, considerando-se as características agroecológicas regionais e condições socioeconômicas do agricultor.

Perspectivas de Adoção do Plantio Direto no Estado do Acre

Os solos do Acre apresentam alto risco de erosão hídrica quando descobertos, principalmente entre outubro e março, seja em função das elevadas precipitações existentes no Estado, onde é comum ocorrerem chuvas de até 114,4 mm em 24 horas (Embrapa, 1992), seja em função das características de relevo e dos próprios solos.

Mesmo na região leste do Estado, onde o relevo é menos movimentado e os solos apresentam melhor drenagem, embora, ainda limitante, é alta a susceptibilidade à erosão. Resultados preliminares em Argissolo com 3% de declividade indicam que a perda de solo e água pode ser reduzida de 24,8 Mg ha⁻¹ e 53% (% de escoamento superficial) para apenas 85 kg ha⁻¹ e 1,5% em solo sob sucessão mucuna cinza, milho + mucuna cinza e feijão (Embrapa, 1992). Pelos resultados pode-se constatar também para o Acre a importância do cultivo consorciado de culturas econômicas com adubos verdes no controle da erosão hídrica.

As espécies de leguminosas de maior potencial para a adubação verde e cobertura do solo no Estado, com as respectivas produções potenciais, são (Embrapa, 1992):

Espécies anuais:

Mucuna-cinza (*Stizolobium pruriens*): 11,4 Mg ha⁻¹.

Mucuna-rajada (*Stizolobium deeringianum*): 11,4 Mg ha⁻¹.

Calopogônio (*Calopogonium muconoides*): 5,8 Mg ha⁻¹.

Espécies perenes:

Fleminga congesta: 19,8 Mg ha⁻¹.

Tephrosia candida: 19,0 Mg ha⁻¹.

Desmodium ovalifolium: 13,0 Mg ha⁻¹.

O calopogônio, por exemplo, pode ser cultivado em associação com o arroz, com gramíneas forrageiras (como braquiária e colonião) ou mesmo intercalado com plantas frutíferas (como mangueira). A vantagem de utilizar leguminosas como o calopogônio reside no aporte de nitrogênio ao solo que contribui para reduzir a quantidade de adubo mineral nitrogenado necessário para atender às necessidades nutricionais das culturas comerciais. É interessante consultar a publicação “Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná” (Calegari, 1995) que aborda as características dos adubos verdes de verão (exigência de clima e solo) e oferece sugestões de manejo, que podem também ser úteis para o Acre.

Diante da situação fundiária do Estado e da necessidade de adotar práticas de controle da erosão que sejam eficientes na conservação dos recursos hídricos e edáficos, é possível elencar as seguintes situações em que o plantio direto poderia ser adotado:

- 1) Na renovação e recuperação de pastagens degradadas – em muitas áreas em estádios iniciais do processo de degradação ou onde as pastagens necessitam ser reformadas, é possível substituir temporariamente a pastagem por lavoura. Nesse caso, após o período das secas recomenda-se uma roçada ou um pastoreio mais intenso para promover o abaixamento da pastagem, aplicando-se um herbicida sistêmico assim que se iniciarem as

brotações. Se necessário, num prazo de 15 a 20 dias, pode-se aplicar herbicida de contato. O plantio da lavoura (milho, arroz, feijão, soja) seria feito direto na palha, em seu período normal. Duas semanas após a emergência da cultura deve-se aplicar um herbicida seletivo. No plantio da lavoura, se houver muita palha deixada pela pastagem, deve-se dar atenção à possível necessidade de reforço na adubação de cobertura com nitrogênio (Machado et al., 1998).

2) Nas áreas cultivadas com grãos em grande escala – embora ainda seja reduzido o número de produtores no Estado que cultiva áreas maiores que 100 ha para a produção de grãos, observa-se que eles têm utilizado o plantio convencional. Para que os problemas ambientais (como erosão, assoreamento de rios e lagoas, etc.) não se agravem, recomenda-se que a prática de plantio direto seja introduzida paulatinamente nessas propriedades, na proporção de 5% a 10% da área cultivada e, como exposto anteriormente, a incorporação de novas áreas seja feita aos poucos (5-10 hectares) com a familiarização da técnica.

3) Nas áreas de assentamento dos projetos de colonização e reforma agrária – nesse caso, existem duas situações distintas que devem ser avaliadas: na primeira, em áreas de assentamento nas quais a mecanização é indicada, principalmente naquelas regiões onde tem havido um forte estímulo para adotá-la, com o financiamento para a aquisição de máquinas e equipamentos pelas associações de

produtores, inclusive tratores, para o preparo do solo, plantio, adubação e colheita, recomenda-se que, no primeiro ano, após análise do solo, seja verificada a necessidade de correção da acidez do solo e, a partir dessa correção, introduzido o sistema de plantio direto sempre acompanhado de um técnico experiente com a tecnologia. Esses assentamentos, entre os quais o Projeto Pedro Peixoto é o mais importante, foram implantados sobre solos com médio a alto potencial de mecanização e, portanto, apropriados para o plantio direto mecanizado, seja em pequenas áreas ou em áreas mais extensas. Na segunda situação, os assentamentos foram realizados em áreas com restrição à mecanização, seja pelo relevo ou tipo de solo predominante. Nesse caso, o plantio direto somente é indicado em pequenas áreas, onde é possível utilizar máquinas adequadas à agricultura familiar.

4) Nos pólos agroflorestais – o cultivo de grãos (arroz, feijão ou milho) intercala-se com o cultivo da mandioca, seja em consórcio simultâneo ou seqüencial. Esses pólos estão distribuídos em uma diversidade muito grande de ambiente e, portanto, torna-se difícil indicar uma recomendação, mesmo que genérica. Uma característica marcante, contudo, é a pequena área disponível para cultivo por família (normalmente inferior a 5 ha), o que dificulta até mesmo a aquisição de máquinas motorizadas em face da limitação de escala. Assim, não sendo possível adquiri-las, a alternativa mais rentável para o plantio direto provavelmente será a utilização da matraca, que já vem sendo empregada pelos agricultores dos pólos. Entretanto, a laboriosa

capina manual deve ser substituída por métodos de controle do mato que mantenham a cobertura do solo e, nesse caso, a tecnologia atualmente disponível que pode ser adotada sem limitações de escala é o uso de herbicidas em combinação com o cultivo de plantas de cobertura. Outra possibilidade, que ainda deve ser testada principalmente quanto à viabilidade econômica, é a utilização de roçadeiras costais a gasolina associada ao uso de herbicidas sistêmicos.

Além da disponibilidade de sementes de plantas de cobertura ou adubos verdes e custo de herbicidas, provavelmente o nível de escolaridade do produtor acreano pode representar uma dificuldade adicional para o sucesso da adoção do plantio direto em face da demanda por maior tecnificação nesse sistema (como cuidados no uso de herbicidas e descarte de embalagens, combinação de gramíneas e leguminosas na rotação de culturas). Cabe, portanto, ao serviço de extensão rural, sindicatos rurais, empresas privadas e organizações de agricultores fazer com que os impactos negativos da mecanização no Estado não comprometam a sustentabilidade desses agroecossistemas, induzindo assim cada vez mais ao uso de técnicas de plantio direto. Para a transição do plantio convencional ao plantio direto é necessário financiamento, o qual deve ser direcionado ao pequeno produtor durante os 3 a 5 anos de duração dessa fase. Organizações não-governamentais podem igualmente auxiliar na mobilização dos financiamentos, providenciar aperfeiçoamento

técnico e agir como intermediárias entre agências governamentais e grupos locais. Finalmente, recursos financeiros seriam úteis no planejamento rural participativo, como também incentivos para produtores, treinamento, excursões e assistência técnica a partir de regiões no Brasil com experiência em plantio direto.

Referências Bibliográficas

ALTMANN, N. Sistemas de rotação de culturas e seus efeitos ambientais e econômicos no Centro-Norte do Cerrado. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 5, 2001, Brasília. **Anais**; sustentabilidade, sim! Dourados, MS: UFMS; Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p. 29-30. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 31).

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1995. 118 p. (IAPAR. Circular, n. 80).

CALEGARI, A. Sistemas de rotação de culturas e seus efeitos ambientais e econômicos no Centro-Sul do Cerrado. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 5, 2001, Brasília. **Anais**; sustentabilidade, sim! Dourados, MS: UFMS; Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p. 23-28. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 31).

CALEGARI, A.; HECKLER, J. C.; SANTOS, H. P.; PITOL, C.; FERNANDES, F. M.; HERNANI, L. C.; GAUDÊNCIO, C. A. Culturas, sucessões e rotações. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C. e FONTES, C. Z. **Sistema plantio direto**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa-SPI, Dourados: Embrapa-CPAO. 1988. p. 59-80.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre. Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre – CPAF/AC: Edição Especial 15 anos –1976-1991. Rio Branco: Embrapa-CPAF/AC. 1992. 64 p.

MACHADO, L. A. Z.; SALTON, J. C.; PRIMAVESI, O.; FABRÍCIO, A. C.; KICHEL, A. N.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; GUIMARÃES, C. M. Integração Lavoura-Pecuária. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C. e FONTES, C. Z. **Sistema plantio direto**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa-SPI, Dourados: Embrapa-CPAO. 1998. p. 218-244.

MELHORANÇA, A. L.; CONSTANTIN, J.; PEREIRA, F. A. R.; GAZZIERO, D. L. P.; VALENTE, T. O.; ROMAN, E. S. Plantas daninhas e seu controle. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C. e FONTES, C. Z. **Sistema plantio direto**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa-SPI, Dourados: Embrapa-CPAO. 1998. p. 177-194.

MONDARDO, A.; BISCAIA, R.M. 1981. Controle da erosão. IN: IAPAR (ed.) Plantio direto no estado do Paraná. Londrina: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), Circular 23. p. 33-42.

OLIVEIRA, V. H. de; ALVARENGA, M. I. N. **Principais solos do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre; UEPAE, 1985. 40 p. (Embrapa Acre. Documentos, 5).

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. Viçosa: **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 2, p. 393-486, 2002.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. 2. ed. Curitiba: 1994. 372 p.

SÁ, J. C. de M. Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In. SIQUEIRA, J. O. et al. **Inter-relação entre fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 267-320.

Capítulo 13

Manejo da Fertilidade do Solo em Sistemas Agroflorestais

Tadário Kamel de Oliveira
Sérvulo Casas Furtado
Renato Luiz Grisi Macedo
Eufraan Ferreira do Amaral
Idésio Luís Franke

Introdução

A produção do conhecimento científico referente ao manejo da fertilidade do solo em sistemas agroflorestais (SAFs) ainda está em evolução. Neste capítulo, procurou-se enfatizar os pontos principais, baseando-se na experiência dos autores e em um trabalho de revisão de diversas publicações sobre sistemas agroflorestais, considerando que alguns assuntos mereceriam a elaboração de uma obra específica e mais aprofundada.

O manejo da fertilidade do solo em sistemas agroflorestais envolve um grande número de práticas e técnicas diversificadas, considerando-se os vários tipos de sistema, as inúmeras interações entre os seus componentes e as formas variadas de implantação e manejo. Assim, para compreender as técnicas relacionadas ao manejo da fertilidade do solo em sistemas agroflorestais é aconselhável conhecer os diferentes tipos de sistemas e como seus componentes interagem entre si e com os fatores do ambiente.

Sistemas agroflorestais são formas de uso e manejo dos recursos naturais nas quais espécies lenhosas (árvores, arbustos, palmeiras) são utilizadas em consórcio com cultivos agrícolas e/ou com animais, em uma mesma área, de forma simultânea ou em uma seqüência temporal (Montagnini et al., 1992).

Os sistemas agroflorestais podem ser compreendidos, sob o ponto de vista estritamente agrônomo, como sistemas de consórcio entre dois ou mais componentes, em que pelo menos um deles seja uma planta lenhosa e perene. O componente arbóreo pode desempenhar tanto funções de produção (madeira, fruto, resina, látex, etc.) como de serviço (proteção, sombreamento, adubação), ou mesmo ambas as funções simultaneamente.

Outro critério para identificar um sistema agroflorestal é que pelo menos um dos componentes seja manejado para produção agrícola, inclusive pastagens. Finalmente, para considerar um sistema de produção como agroflorestal, devem necessariamente ocorrer interações ecológicas e econômicas positivas entre os diversos componentes; um sistema agroflorestal geralmente tem dois ou mais produtos; o ciclo completo de um sistema agroflorestal é sempre maior que um ano; e mesmo o mais simples dos sistemas agroflorestais é mais complexo econômica e ecologicamente que um sistema de monocultura.

Os sistemas agroflorestais são classificados de diferentes maneiras, segundo sua estrutura no espaço, seu desenho através do tempo, sua importância relativa e a função dos diferentes componentes, assim como os objetivos da produção e suas características sociais e econômicas. De forma geral, segundo a natureza dos componentes e os tipos de combinações entre eles, estes sistemas podem ser classificados em:

Sistemas silviagrícolas ou agrossilviculturais: caracterizados pelo consórcio de espécies arbóreas com cultivos agrícolas e/ou perenes. Enquadram-se nesta classe os sistemas de cultivo em faixas, taungya, multiestratificados comerciais, agrofloresta sucessional e capoeira melhorada.

Sistemas silvipastoris: preconizam a inserção de espécies arbóreas dentro da atividade pecuária ou a criação de animais dentro de povoamentos florestais. De forma bastante simplificada, é o consórcio de espécies arbóreas e pastagens.

Sistemas agrossilvipastoris: caracterizados pelo consórcio do componente arbóreo com cultivos agrícolas e animais. Enquadram-se nesta classe os sistemas agrossilvipastoris típicos e os quintais agroflorestais. Por exemplo: um quintal de uma pequena propriedade agrícola na Amazônia, com diversas frutíferas, espécies florestais e pequenos animais como aves e suínos.

Cercas vivas e quebra-ventos também são considerados sistemas ou práticas agroflorestais, inseridos em sistemas silviagrícolas e silvipastoris ou apenas como limite da propriedade.

Em virtude de toda complexidade, da gama de situações e interações possíveis, neste capítulo será feita uma abordagem direcionada para o recurso solo em sistemas agroflorestais, com ênfase especial no manejo da fertilidade.

A Fertilidade do Solo e os Tipos de Sistemas Agroflorestais

Os sistemas agroflorestais devem ser manejados para que o próprio sistema produza ou mantenha boa parte dos recursos dos quais a produção depende, já que sua implantação visa atingir um maior grau de sustentabilidade, em relação aos sistemas de produção convencionais (agrícolas, pecuários e florestais). Em parte, este elevado grau de auto-sustentabilidade deriva de três características principais associadas aos sistemas agroflorestais: maior aporte de matéria orgânica ao solo, maior grau de diversidade biológica e intensificação dos processos naturais de ciclagem biogeoquímica.

O componente arbóreo é o principal responsável por esta elevada sustentabilidade. O dossel das copas, formado pela diversidade de espécies vegetais, proporciona cobertura do solo, aliada à deposição de camada densa de material orgânico, gerada continuamente pela queda das folhas e ramos das diferentes culturas. Isso aumenta a proteção do solo contra erosão, diminui o escoamento superficial, promove maior infiltração de água, reduz a temperatura do solo, aumenta a quantidade de matéria orgânica e, conseqüentemente, melhora seus atributos químicos, físicos e biológicos, além de reduzir a ocorrência de plantas daninhas.

As espécies arbóreas, por possuírem raízes mais longas, exploram maior volume de solo e são

capazes de absorver nutrientes e água que os cultivos agrícolas herbáceos não conseguiriam alcançar, uma vez que, em geral, as raízes absorventes destes cultivos concentram-se na camada superior do solo.

A diversidade biológica, e por conseguinte do sistema radicular das espécies envolvidas, contribui ainda para uma exploração mais intensa do volume de solo, aumentando a eficiência no aproveitamento da água e dos nutrientes para as plantas. Esta melhor eficiência possibilita maior retenção de nutrientes na biomassa vegetal, protegendo-os da lixiviação (nitrogênio, cálcio, potássio e enxofre). Dependendo das espécies utilizadas, os sistemas agroflorestais podem ser importante fonte de nutrientes, como por exemplo, no caso do nitrogênio fixado por leguminosas.

A ciclagem biogeoquímica também é muito influenciada pelo componente arbóreo. As árvores podem contribuir para manter a ciclagem de nutrientes mediante os seguintes mecanismos (Montagnini et al., 1992):

- 1) Desenvolvimento de uma camada densa de raízes com micorrizas, similar à floresta natural em sua função de diminuir a lixiviação de nutrientes e aumentar a absorção de fósforo disponível.
- 2) Produção de abundante folhagem, que contribui para aumentar a quantidade de húmus no solo ao final da decomposição.

3) Fonte adicional de nitrogênio, por meio de espécies fixadoras desse elemento.

4) Absorção de nutrientes das camadas mais profundas do solo, levando-os às camadas superficiais. Tanto aqueles lixiviados quanto aqueles liberados pela decomposição da rocha matriz.

Outros efeitos benéficos das árvores sobre a fertilidade dos solos podem incluir a melhoria na estrutura do solo e da estabilidade de agregados, além de favorecer uma maior ciclagem dos principais nutrientes da decomposição da serrapilheira. O dossel das árvores ainda tem importante papel na interceptação da água das chuvas, melhorando a absorção direta de nutrientes pelas folhas. Como possível efeito prejudicial há a possibilidade de aumento da acidez do solo e da produção de substâncias alelopáticas, o que poderia afetar negativamente a atividade microbiana em situações específicas. Entretanto, a presença das árvores proporciona inúmeros efeitos benéficos nos solos (Tabela 1).

Tabela 1. Possíveis efeitos benéficos das árvores sobre os solos.

Processo	Efeito principal	Evidência científica
Produção de biomassa	Adição de matéria orgânica	Disponível
Fixação de nitrogênio	Aumento do conteúdo de N	Disponível
Chuvas	Influência sobre a quantidade e distribuição de chuvas e seu aporte de nutrientes	Não completamente demonstrado
Proteção contra a erosão hídrica e eólica	Redução da perda de solo e nutrientes	Disponível
	Absorção em camadas profundas e deposição em superfície	Não completamente demonstrado
Absorção/reciclagem/liberação de nutrientes	Conservação de nutrientes que poderiam perder-se por lixiviação	Não demonstrado
	Liberação de nutrientes no momento requerido pelos cultivos (por meio do manejo)	Disponível
Processos físicos	Melhora das propriedades físicas (retenção de água, drenagem, etc.)	Disponível
Aumento do crescimento e proliferação de raízes	Aumento da biomassa de raízes, substâncias promotoras de crescimento, associações microbianas	Parcialmente demonstrado
Qualidade e dinâmica da serrapilheira	Melhoria da qualidade da serrapilheira mediante a maior diversidade de espécies e manejo sincronizado da quantidade e tipo de biomassa aplicada	Atualmente muito estudado (cultivos em aléias e outros experimentos de cultivos consorciados)

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Processo	Efeito principal	Evidência científica
Modificação do microclima	Criação de microclima favorável, efeitos de quebra-ventos e barreiras	Disponível
Processos bioquímicos/biológicos	Moderação de efeitos em condições de extrema acidez, alcalinidade ou outras condições desfavoráveis dos solos	Parcialmente demonstrado

Fonte: Montagnini et al. (1992).

Apesar do componente arbóreo conferir vantagens a todos os sistemas agroflorestais, cada tipo apresenta determinado conjunto de características que podem ser utilizadas com propósitos especiais, segundo as necessidades de manutenção ou mesmo de recuperação da fertilidade do solo. As práticas de manejo do solo variam em função do local, das condições tecnológicas do produtor e do tipo de sistema agroflorestral, por isso, devem ser vistas de forma particular e individualizada, de acordo com cada modelo analisado.

Quintais Agroflorestais

Quintais agroflorestais consistem no consórcio de plantas de diversas espécies arbóreas e arbustivas, normalmente frutíferas, em arranjos aparentemente aleatórios. Outros tipos podem estar presentes (produtoras de grãos, hortaliças, medicinais, ornamentais, condimentares, etc.) e, eventualmente, algumas espécies animais de pequeno porte (principalmente aves). Sua principal característica é esta diversidade, que fornece uma produção variada de alimentos e outros produtos úteis durante todo o ano.

São sistemas em que há também grande variação na capacidade produtiva das espécies. Muitas vezes, os quintais agroflorestais asseguram o suprimento de produtos para o consumo familiar, não havendo comercialização do excedente, que é deixado decompor no próprio solo, fazendo com que a exportação de nutrientes seja baixa e possa, em

boa parte, ser reposta pelos ingressos naturais (precipitação pluviométrica, fixação biológica de nitrogênio, etc.).

Ecologicamente, são sistemas agrícolas com bastante semelhança aos ecossistemas naturais, com exceção de que há grande concentração de espécies úteis para o homem (frutíferas, principalmente), em detrimento daquelas com outros papéis ecológicos. Além da grande diversidade de espécies, apresentam elevada capacidade de captura da energia solar, elevadas taxas de ciclagem de nutrientes, uso eficiente do espaço e alto grau de estabilidade.

A estabilidade da produção é uma característica importante e indica que estes sistemas apresentam elevado grau de sustentabilidade, sendo capazes de produzir ininterruptamente durante décadas, quando tomados alguns cuidados elementares, o que é relevante, dado o caráter migratório da agricultura na Amazônia Brasileira.

Os quintais agroflorestais são sistemas com poucas necessidades de ingressos de insumos e capacidade constante de gerar produtos para consumo. Há pouca necessidade de capinas, devido ao elevado grau de sombreamento promovido pelas árvores dominantes. Em alguns casos, o solo fica exposto pelo excessivo sombreamento, fato que não é agravado devido à pequena extensão desses quintais, da proteção da copa das árvores e da serrapilheira depositada sobre o solo, contribuindo

para conservar sua capacidade produtiva. Especialmente em terrenos declivosos é sempre recomendável manter a serrapilheira cobrindo completamente o solo.

Podem-se aplicar cinzas vegetais, sobras de alimento e resíduos de animais, em torno dos troncos das árvores frutíferas e canteiros. Havendo disponibilidade, recomenda-se também realizar a cobertura morta e a aplicação de compostos orgânicos e da biomassa proveniente de podas e folhas de áreas próximas.

Se possível, deve-se fazer a análise de solo para verificar a necessidade de adubação fosfatada nas covas de plantio ou mesmo de calagem corretiva. Realizando estas práticas, haverá grandes benefícios na formação do pomar e na produção futura, devido ao vigoroso crescimento das plantas.

Normalmente, os quintais agroflorestais são planejados sem a introdução de espécies de adubos verdes. Entretanto, sempre que possível, esta prática deve ser recomendada. Quando for feito o plantio das espécies frutíferas arbóreas, recomenda-se o cultivo de leguminosas próximo ao entorno da futura projeção da copa dessas árvores, enquanto as espécies principais não atingirem seu completo desenvolvimento.

É importante fazer o plantio de espécies de leguminosas arbóreas ou arbustivas intercaladas com as demais espécies vegetais, de forma que

possam ser posteriormente podadas e sua biomassa distribuída na área. Esta prática proporcionará um importante aporte de nitrogênio, aumentando a fertilidade do solo.

A deposição de biomassa, fixação biológica de nitrogênio, além do sombreamento e proteção do solo, entre outras funções em um sistema agroflorestal, são desempenhadas pelas chamadas árvores de serviço, sendo fundamentais na manutenção da fertilidade do solo, não somente nos quintais, como também em outros tipos de sistema agroflorestal.

Sistemas Agroflorestais Comerciais

Os sistemas agroflorestais comerciais consistem na organização racional dos quintais agroflorestais para obtenção de produtos direcionados especificamente ao mercado consumidor. Também conhecidos como consórcios agroflorestais comerciais multiestratos ou multiestratificados, são uma mistura de um número limitado de espécies perenes, em geral menos de dez, de reconhecido valor comercial, tendo como propósito a exploração agrônômica e econômica, formando e aproveitando diversos estratos verticais.

Deve existir um plano agrônômico e econômico prévio para a implantação do consórcio, no qual ficarão especificadas as espécies, os espaçamentos, as práticas culturais, perspectivas de rentabilidade, retorno de investimento, etc. A densidade de cada

espécie e seu arranjo, tanto na estrutura vertical como horizontal, visam maximizar a capacidade produtiva por unidade de área, em função de aspectos agrônômicos como viabilidade dos tratos culturais e colheita, a minimização da competição inter e intra-específica e otimização da área agrícola disponível.

Normalmente, o consórcio neste sistema deverá ser constituído por uma ou mais espécies perenes comerciais, associadas às “espécies de serviço”. Entre as espécies perenes comerciais indicadas para a região destacam-se o cafeeiro, o cacaueteiro, as árvores produtoras de frutos e nozes (castanheira-do-brasil, cupuaçu) e as palmeiras (pupunha, coqueiro, açazeiro, abacaba).

As espécies de serviço desempenham diversas funções, tais como fornecer sombra ou proteção aos cultivos agrícolas, produzir madeira com grande demanda no mercado (mogno, freijó, paricá), manter ou aumentar a fertilidade do solo pela deposição de matéria orgânica e nitrogênio, além de apresentar potencial apícola (ingá-cipó, freijó, etc.) e proteger o solo contra o calor do sol e o impacto direto das chuvas.

No momento da formação de um sistema agroflorestal multiestratificado, recomenda-se a amostragem de solo na área total e, de acordo com a sua fertilidade, a adubação segundo as exigências específicas de cada espécie, considerando-se na recomendação o arranjo e o espaçamento a ser utilizados para cada componente do sistema.

Práticas como adequada abertura de covas de plantio e aplicação de esterco e adubo fosfatado são sempre aconselháveis. Recomenda-se também o plantio em nível, a cobertura morta próxima aos troncos das árvores e frutíferas e a manutenção da cobertura do solo nas entrelinhas de plantio, visando controlar a erosão e intensificar a ciclagem de nutrientes.

A manutenção da cobertura do solo nas entrelinhas dos cultivos perenes é especialmente importante nos primeiros anos após a implantação do sistema e pode ser assegurada pela serrapilheira, pelo manejo da vegetação espontânea e/ou de leguminosas podadas periodicamente, para evitar competição por luz, água, nutrientes e espaço.

Ao implantar o sistema é importante considerar a adubação de formação. Nesse aspecto, deve-se priorizar a necessidade de uma adubação fosfatada na cova ou, eventualmente, uma fosfatagem corretiva em toda a área, se o solo apresentar, simultaneamente, baixos teores de fósforo e baixa capacidade de fixação.

Embora muitas espécies cultivadas em sistemas multiestratos sejam relativamente tolerantes à acidez do solo, deve-se sempre considerar a necessidade da aplicação da calagem, que poderá ser efetuada na cova de plantio, em faixas ou área total. Por exemplo, em um sistema multiestrato que tenha o cafeeiro como um dos componentes, a ausência de calagem ou adubação fosfatada na cova, em solos ácidos ou com baixo teor de fósforo

disponível, comprometerá de forma irreversível a sua capacidade produtiva e dificilmente esta correção poderá ser feita de forma eficiente após a formação da lavoura.

A introdução de espécies de leguminosas fixadoras de nitrogênio também é vantajosa. Ocorrerá um efeito compensatório sobre a “perda” de parte da área útil, que seria destinada ao cultivo de espécies leguminosas anuais ou perenes, porque por meio de podas a biomassa das leguminosas serve como fonte de matéria orgânica, nitrogênio e ainda contribui para o controle de plantas daninhas. Entre as leguminosas que poderiam ser plantadas têm-se as arbóreas (ingá, eritrina, gliricídia), as arbustivas (guandu, crotalária, flemíngia) e as herbáceas (feijão-de-porco, desmódio, puerária, mucuna).

Por outro lado, se os produtos comerciais apresentarem elevado valor comercial, pode ser interessante utilizar fontes minerais de nitrogênio que propiciam um efeito mais eficiente em curto prazo. Neste sistema é importante planejar a adição de nitrogênio, seja por meio de adubos verdes ou de adubos minerais. Sem esta reposição poderá haver perda da capacidade produtiva do sistema, a ponto de sua produtividade tornar-se antieconômica.

Além do nitrogênio, também é importante avaliar a necessidade da reposição de outros nutrientes, principalmente potássio, que muitas vezes não é adicionado na adubação de formação.

Embora nos sistemas agroflorestais, a ciclagem biogeoquímica contribua para aumentar a disponibilidade de vários nutrientes nas primeiras camadas de solo, nos multiestratificados haverá uma remoção constante via colheita, geralmente maior que a entrada natural.

No Estado de Rondônia já foi constatada, por exemplo, em sistema multiestrato composto por cupuaçu, pupunha e castanha-do-brasil, uma drástica redução do estoque de cátions no solo, particularmente K, ao longo da faixa de plantio de cupuaçu. Isto exemplifica que a exportação de nutrientes pode comprometer a sustentabilidade do sistema. Assim, é importante fazer acompanhamento da fertilidade do solo, em função de cada extrato horizontal, e se houver qualquer indicação de perda da fertilidade, que se reponha via adubação, seja qual for a fonte (esterco, composto orgânico, adubo mineral, biofertilizante, etc.).

Em algumas situações, a adubação orgânica pode não ser suficiente para sustentar a elevada extração de nutrientes causada por uma cultura em intensa produção, aliada aos efeitos prejudiciais da erosão e da lixiviação (em alguns Latossolos, por exemplo). Deve-se então prever uma adubação mineral complementar para nutrir as plantas cultivadas, em função dos níveis de disponibilidade de nutrientes no solo, da duração do ciclo, necessidades fisiológicas da cultura, do nível de produção esperado, das condições climáticas do local e da disponibilidade de recursos financeiros do produtor.

Medidas que reduzam a exportação de nutrientes devem ser tomadas, como por exemplo, o retorno dos resíduos das colheitas de frutos aos locais de cultivo.

Nos sistemas já formados deverão ser feitas avaliações da fertilidade do solo de forma localizada, nas faixas de plantio, sob a projeção das copas de cada cultura, tendo em vista o requerimento nutricional diferenciado por espécie.

Sempre que possível deve-se realizar a análise foliar para acompanhar o estado nutricional de cada espécie componente e fazer as correções quando houver indicação para tal.

Outras práticas de manejo são importantes, como a realização de capinas seletivas para a manutenção de cobertura viva, no momento de maior potencial erosivo, e de cobertura morta nos momentos de menor disponibilidade hídrica.

Manejo de Capoeiras

O sistema de manejo de capoeiras é tradicionalmente um componente da agricultura migratória na Amazônia, que consiste basicamente em abandonar áreas agrícolas por um dado período de tempo (5 a 15 anos ou mais) e depois reincorporar estas áreas ao sistema produtivo, por meio da derrubada e queima da vegetação secundária que se desenvolveu no local. Este período de abandono, também denominado “pousio”, consiste no tempo necessário para que, uma vez cessadas as principais

saídas de nutrientes (erosão, exportação pela colheita), haja uma recuperação da fertilidade do solo.

Do ponto de vista sucessional, pode ser considerado um sistema agroflorestal, pois nos estádios finais, antes de sua reincorporação ao sistema produtivo, a capoeira deverá estar dominada por espécies arbóreas ou arbustivas, inclusive de interesse comercial.

O sistema agroflorestal manejo de capoeiras, capoeira melhorada ou enriquecimento de capoeira consiste na melhoria da capoeira tradicional por meio da introdução de outras espécies na área.

O objetivo principal deste sistema é diminuir o período de pousio das áreas de capoeira, a serem utilizadas em agricultura, por meio do restabelecimento da fertilidade do solo, ou gerar um retorno econômico para o agricultor, com a inserção de espécies de interesse comercial na capoeira, visando à produção de frutos, resinas, mel ou madeira, em médio e longo prazo.

A seleção e a condução de espécies da regeneração natural também podem ser adotadas, nas quais são fornecidas condições favoráveis para que espécies desejáveis de valor comercial venham a desenvolver-se mais rapidamente, ou seja, tratamentos silviculturais como desbaste seletivo, corte de cipós, cortes de liberação.

A função de restaurar a fertilidade do solo pode ser desempenhada por uma espécie arbórea, leguminosa

arbustiva ou herbácea, dependendo do objetivo do sistema.

O papel da leguminosa na restauração da fertilidade do solo é fundamental neste processo. Para tanto, pode ser recomendado o plantio de leguminosas herbáceas (puerária, feijão-de-porco, mucuna) e de leguminosas arbustivas ou arbóreas (guandu, flemíngia, eritrina, gliricídia, ingá), ou ainda, a seleção de espécies da regeneração natural.

A utilização de leguminosas de rápido crescimento (mucuna, puerária, feijão-de-porco) é indicada quando se pretende deixar a área em pousio por curto período de anos. Assim, faz-se o plantio da leguminosa e aproximadamente após 2 anos, depois do corte da biomassa, semeia-se a cultura principal, que poderá desenvolver-se sem necessidade de capinas e ainda apresentar redução de problemas com doenças (mela-do-feijoeiro, por exemplo). Nesse sistema, espera-se melhor proteção do solo com o acúmulo de matéria orgânica e melhor produtividade da cultura comercial.

Em áreas mais degradadas, que demandam um maior tempo para sua recuperação, devem-se plantar leguminosas arbustivas ou arbóreas, quando a capoeira ainda estiver nova (primeiros anos de regeneração). O plantio pode apresentar uma distribuição aleatória ou ser realizado em linhas definidas.

O estabelecimento de espécies arbóreas pioneiras

em capoeiras manejadas também pode promover e auxiliar na recuperação de uma área, devido ao seu rápido crescimento e estratégias especializadas de acúmulo de nutrientes, tornando-as habilitadas para absorver e concentrar nutrientes na biomassa, mesmo em níveis muito baixos de concentração no solo. Os nutrientes acumulados na biomassa dessas espécies retornarão ao sistema quando a área voltar a ser utilizada com cultivos agrícolas.

Outra prática muito importante no manejo das capoeiras é a eliminação do processo de queima da biomassa, após o período de pousio. Nesse caso, evita-se fazer a derruba e queima da vegetação secundária que se formou na área e utilizam-se equipamentos que permitem o corte ou ainda a trituração da biomassa, a qual é deixada para decompor no solo. Este processo expõe muito menos o solo à erosão e evita as perdas de vários nutrientes durante a queima da biomassa, principalmente nitrogênio e enxofre.

Para se ter uma idéia da importância da capoeira melhorada, estima-se que durante os primeiros 3 anos e meio de regeneração de pousio, o acúmulo de nitrogênio e fósforo na superfície do solo, na maioria das capoeiras melhoradas, supera o nível encontrado no pousio natural. As espécies presentes na capoeira também determinam sua eficiência e rapidez na recuperação da área. Por exemplo, em capoeira enriquecida com taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel), em uma densidade de 1.666 árvores.ha⁻¹, observou-se, após um período de 8 anos, uma produção de serrapilheira quatro vezes superior,

em comparação à área de capoeira não manejada, além de maiores teores de nitrogênio, cálcio, magnésio e potássio (Monchiutti et al., 1998).

Tal fato indica que a escolha da espécie no melhoramento da capoeira é fundamental na recuperação de áreas abandonadas pela agricultura migratória, principalmente por reduzir o tempo necessário de pousio e promover a reabilitação do solo para um novo ciclo de cultivo. Deve-se considerar também a possibilidade de conversão da capoeira, de um sistema de agricultura migratória para um sistema de produção com espécies perenes conduzidas da regeneração natural ou introduzidas na área.

Qualquer que seja o sistema utilizado na melhoria da capoeira, é importante que o processo de queima seja eliminado, sob pena de perder-se muito dos nutrientes recuperados durante o período de pousio. Recomenda-se a realização de análises de solo anuais para monitoramento da fertilidade e verificação da eficiência das práticas de manejo adotadas.

Cultivo em Faixas

Enquanto o abandono da área em pousio, com a finalidade de formar capoeiras, visa essencialmente recuperar áreas degradadas ou que perderam ou apresentaram diminuição da sua capacidade produtiva, o cultivo em faixas de espécies arbóreas (cultivo em aléias ou *alley cropping*) em associação com culturas anuais, visa tanto recuperar a

capacidade produtiva de solos em início de processo de degradação, como também manter esta capacidade produtiva por período maior de tempo, em relação à prática da agricultura migratória.

O cultivo em faixas consiste no plantio de árvores ou arbustos, geralmente fixadores de nitrogênio, intercalados em faixas com cultivos agrícolas. As árvores são freqüentemente podadas, com a finalidade de fornecer nutrientes acumulados em sua biomassa para as culturas associadas. A poda também contribui para diminuir a competição por água, luz e nutrientes, bem como controlar plantas daninhas, por promover uma maior cobertura do solo. A biomassa das plantas podadas, além de liberar nutrientes durante sua decomposição (mineralização), produz benefícios ao melhorar atributos físicos do solo (estrutura, porosidade, menor compactação).

As recomendações básicas para cultivo em faixas baseiam-se no uso de espécies que produzam grande quantidade de fitomassa, com sistema radicular profundo, que suportem podas e sejam capazes de fixar o nitrogênio por meio de associações simbióticas (glicírdia, eritrinas, ingá, flemíngia, leucena).

O cultivo em faixas deve ser realizado sempre em nível, por assim contribuir para o controle da erosão.

A distância entre as linhas das plantas produtoras de biomassa será determinante da largura da faixa de plantio da cultura comercial. Podem-se utilizar faixas de 5 a 10 m ou mais. Neste último caso,

deve-se assegurar se a produção de biomassa no sistema será suficiente para uma ciclagem eficaz de nutrientes e, no caso de faixas com menor largura, considerar que pode ocorrer competição com a cultura comercial.

Quanto maior a degradação do solo ou menor a fertilidade, mais próximas deverão ser as distâncias entre as linhas de plantio das espécies arbóreas. Em solos mais férteis deve-se optar pelas maiores distâncias, evidentemente, considerando a maior disponibilidade de recursos para as culturas comerciais nas entrelinhas.

O espaçamento e a densidade da leguminosa na faixa dependerão das suas características e da fertilidade do solo. Pode-se empregar linha simples ou fila dupla, em espaçamentos de 1 x 0,75 m, 1 x 0,5 m ou 0,5 x 0,5 m. Se o solo for fértil, pode-se aumentar a densidade de plantio da leguminosa na faixa, o que favorecerá a transferência dos nutrientes absorvidos (P, K, Ca, Mg, S) para a cultura consorciada. Se o solo for de baixa fertilidade, esta transferência poderá contribuir para exaustão muito rápida do estoque de nutrientes e assim afetar a capacidade da faixa em fornecer nitrogênio e outros nutrientes para a cultura principal. Quanto maior a densidade de plantio (menor espaçamento) maior será a produção de biomassa e a extração de nutrientes das faixas que podem ser transferidos para a cultura principal. O aporte de nitrogênio pela leguminosa também tende a aumentar em maiores densidades de plantio.

Na recuperação de solos com grau de degradação de difícil reversibilidade podem-se utilizar as aléias como terraços vivos, plantando-se em murundus (camalhões), de duas a três linhas de plantio em nível e com espécies de enraizamento profundo e fácil brotação após a poda, usando-se sempre espécies lenhosas fixadoras de nitrogênio (acácia, gliricídia, mulungu, leucena) e leguminosas de cobertura (feijão-de-porco, mucuna, puerária, crotalária, guandu, flemíngia) em rotação com o cultivo principal nos terraços (Dubois et al., 1996).

O manejo da poda será determinante da capacidade da leguminosa em fornecer nutrientes e biomassa para a cultura principal. Assim, espécies que tolerem podas mais drásticas (mais próximas do nível do solo) fornecerão maior quantidade de biomassa para o cultivo principal.

A poda deverá ser feita, no máximo, até o período da floração das espécies arbóreas, ocasião em que a quantidade de nutrientes acumulados na fitomassa é maior. Além disso, evita-se que a planta frutifique e disperse suas sementes, podendo infestar completamente a área e tornar-se planta daninha. Podem-se fazer duas ou três podas anuais, dependendo da brotação após a poda e da produtividade de biomassa da espécie.

O material vegetal pode ser distribuído nas faixas, triturado ou cortado com facão em pedaços de 20-30 cm, para proporcionar uma melhor cobertura do solo e decomposição mais uniforme. Materiais com menor relação C/N (carbono/nitrogênio) irão

decompor mais rapidamente, o que contribuirá para a liberação mais rápida dos nutrientes, a serem disponibilizados para as culturas intercalares.

O plantio das culturas comerciais pode ser realizado logo depois da poda, de forma a facilitar a operação de plantio sob os resíduos em superfície e permitir que a liberação de nutrientes pela biomassa cortada possa corresponder ao período de maior demanda nutricional da cultura principal. Deve-se cuidar ainda, para evitar qualquer efeito prejudicial que a liberação de substâncias pela biomassa das árvores possa causar na germinação das sementes da cultura principal.

A adubação da cultura principal deve ser planejada considerando-se o aporte de nutrientes pela biomassa da leguminosa, pelas exigências da cultura principal e pela fertilidade do solo. Pode ser necessário também aplicar fertilizantes na faixa da leguminosa, caso seja constatada fertilidade muito baixa do solo neste local. Este fertilizante será posteriormente aproveitado pela cultura principal, quando for feito o corte da biomassa e sua aplicação na faixa principal.

Finalmente, deve-se ficar atento para evitar a competição radicular dentro do sistema de cultivo em faixas. Por exemplo, sabe-se que na distância de até 1 m da faixa das árvores, nos primeiros 10 cm de profundidade, mais de 50% das raízes de ingá (*Inga edulis*) são raízes finas (diâmetro menor que 3 mm), aumentando para mais de 90% nos primeiros 30 cm de solo (Smyth, 1992). Essa

distribuição é semelhante àquela encontrada em culturas anuais e significa que existe grande probabilidade de competição entre *Inga edulis* e as culturas agrícolas no sistema de cultivo em faixas. Pode-se adotar como solução, iniciar a primeira linha de plantio da cultura comercial além de 1 m da linha de plantio de ingá.

Uma alternativa para diminuir a intensidade da competição pelo sistema radicular é realizar a poda das árvores, que promove substancial mortalidade de raízes finas. As raízes mortas constituem entrada adicional de matéria orgânica e de nutrientes no sistema. Essa matéria orgânica pode estar mais bem distribuída para decomposição, porque as raízes já estão incorporadas ao solo e, portanto, os nutrientes podem ficar disponíveis para as plantas mais rapidamente.

De qualquer modo, deve-se evitar, por meio do manejo, sempre que possível, a coincidência entre os períodos de maior absorção de nutrientes pela cultura principal e pelas espécies de leguminosas.

O sistema de produção em aléias pode assegurar a manutenção da capacidade produtiva da terra e, portanto, no caso de culturas de ciclo curto, permitir alongar os períodos de produção na mesma área de cultivo. Mesmo assim, este sistema gasta progressivamente as reservas de nutrientes do solo e requer períodos de descanso ou a aplicação, em algum momento, de pequenas quantidades de adubo, independente da fonte.

Taungya

O sistema taungya consiste no cultivo intercalar de espécies agrícolas anuais com espécies arbóreas, durante os primeiros anos de estabelecimento destas últimas. Tem como objetivo reduzir os custos de implantação e formação de reflorestamentos, antecipando receitas e otimizando a adubação residual utilizada nas culturas anuais. À medida que o componente arbóreo vai se desenvolvendo, diminui-se a densidade do cultivo anual até sua completa eliminação.

Neste sistema destacam-se duas interações: a interferência entre os cultivos e as árvores (competição e efeitos alelopáticos) e a provisão de sombra das árvores para os cultivos. O grau de competição por água, luz, nutrientes e espaço dependerá das espécies utilizadas, da densidade e do tipo de manejo.

No primeiro ano, normalmente a competição é maior para as espécies arbóreas do que para os cultivos agrícolas. Contudo, a competição excessiva, proporcionada pelas espécies arbóreas ao longo dos anos, poderá reduzir o rendimento dos cultivos e ocasionar maior predisposição das plantas a enfermidades ou ao ataque por insetos. O grau de sombreamento dos cultivos pelas árvores determinará o final desse tipo de sistema agroflorestal e o início de uma plantação florestal pura. Assim, a duração do período de cultivo intercalar será determinada pela densidade de plantio das árvores. Para densidades elevadas o período de cultivo será curto ou vice-versa.

Neste tipo de associação, as plantações florestais crescem melhor em relação aos monocultivos, pois podem estar mais livres de pragas e doenças, além de ter seu crescimento favorecido por efeitos residuais dos insumos empregados nos cultivos agrícolas, dos tratamentos culturais e por reduzir a competição causada pelas plantas daninhas, já que as culturas agrícolas estão presentes inclusive na mesma linha de plantio das espécies arbóreas.

O manejo do solo em sistema taungya deve ser prescrito em todas as recomendações para o plantio das espécies anuais e florestais, como plantio em nível e adubação adequada no sulco e nas covas, respectivamente. A manutenção dos restos culturais na área também é recomendável (milho, por exemplo).

Sempre que possível, deve-se preferir a utilização de leguminosas no consórcio com a espécie florestal principal. A espécie arbórea principal pode ser tanto nativa da Amazônia (tatajuba, parapará, freijó, mogno, cedro, paricá, etc.) quanto exótica (teca, eucalipto e outras).

Sistema Silvistoril

Os sistemas silvistoris são sistemas de produção nos quais árvores são introduzidas na pastagem ou o pastoreio ocorre em plantações florestais. As árvores podem ser plantadas em linha simples ou dupla, cultivadas de forma aleatória na pastagem ou em pequenos bosques (conjunto de árvores em espaçamento mais adensado) e ainda plantadas em

nível, nos terraços construídos para controle de erosão. Outras formas de implantação de sistemas silvipastoris são o plantio ao longo das cercas, junto aos tocos na pastagem e por ocasião da reforma do pasto, na integração lavoura x pecuária.

Os animais podem ser introduzidos no pasto arborizado, assim que as árvores atingirem altura e DAP superiores a 3 m e 10 cm, respectivamente. Geralmente, esse porte é suficiente para que os animais não danifiquem as árvores, mas acredita-se que com o avanço das pesquisas científicas, será possível estabelecer estratégias que permitam a convivência dos animais com as árvores ainda bastante jovens (desde o plantio). Especificamente para as condições amazônicas, nos roçados que futuramente formarão áreas de pastagem ou nas pastagens já formadas, existem espécies de árvores jovens, nascidas de sementes ou de rebentos e brotações de tocos, que representam a regeneração natural no sistema e podem ser conduzidas para formar fustes de boa qualidade, conferindo benefícios como proteção ao solo e regulação do microclima (Fernandes et al., 1994). Contudo, deve-se preferir também as espécies arbóreas leguminosas fixadoras de nitrogênio.

Sistema Agrossilvipastoril

Os sistemas agrossilvipastoris são representados pela consorciação de animais com o componente arbóreo e cultivos agrícolas em uma mesma área. O que os difere dos sistemas silvipastoris é a presença dos cultivos agrícolas.

Nos sistemas agrossilvipastoris ocorre a combinação de árvores com cultivos agrícolas e com atividade pecuária, seguindo geralmente uma seqüência temporal. Nos primeiros anos utiliza-se a associação de cultivos anuais com árvores, e dependendo do ritmo de crescimento das árvores, o pasto pode ser estabelecido após o segundo ou terceiro ano, seguindo-se posteriormente a entrada dos animais na área.

Uma prática interessante é introduzir leguminosas na pastagem (desmódio, puerária, amendoim forrageiro, etc.), que além de aumentar a cobertura do solo, podem contribuir para a fixação biológica de nitrogênio.

Outros tipos de interações, relacionadas com o recurso solo, podem ocorrer nos sistemas agrossilvipastoris. A presença do componente animal modifica e pode acelerar alguns aspectos da ciclagem de nutrientes, porém se a carga animal for elevada, a compactação do solo pode afetar o crescimento das árvores e outras plantas associadas.

Tanto nos sistemas agrossilvipastoris quanto nos silvipastoris, recomenda-se empregar, dentro das possibilidades, as mesmas técnicas de manejo da fertilidade do solo utilizadas para as espécies florestais e para as pastagens convencionais, por exemplo, adubação da pastagem, lotação adequada, rotação do gado, isolamento no período de reforma ou o plantio de culturas anuais para renovação do pasto.

Considerações Finais

As várias opções agroflorestais discutidas envolvem maior intensificação no uso da terra e mão-de-obra, quando comparadas com o cultivo itinerante, extrativismo e pastagens tradicionais. Tais opções têm potencial para fornecer trabalho e alimentos necessários ao povo da Amazônia, minimizar os riscos da produção agrícola e fornecer uma série de oportunidades para o aumento da renda familiar. No entanto, a pesquisa agroflorestal é necessária para acelerar o desenvolvimento e a extensão de tecnologias apropriadas, além de dar suporte técnico, que será um fator fundamental para viabilizar políticas de desenvolvimento sustentável.

Os conhecimentos e tecnologias sobre sistemas agroflorestais estão ainda sendo desenvolvidos, existindo a necessidade de informações básicas a respeito de espaçamento ou definição de espécies a serem utilizadas, manejo, entre outros. Entretanto, na falta de maiores detalhes, de forma geral, pode-se afirmar que grande parte das recomendações de manejo da fertilidade do solo em sistemas tradicionais pode ser aplicada em sistemas agroflorestais, em função do nível tecnológico e da opção de cada agricultor. É fundamental, contudo, que o técnico tenha bom senso ao identificar e recomendar a melhor prática para o momento, diante das variadas situações possíveis. Devem-se analisar aspectos econômicos e ambientais antes de decidir entre adubação orgânica e mineral, promover podas e desbastes em determinadas culturas, empregar leguminosas para recuperação da fertilidade do solo, manejá-las no momento correto, reformar a pastagem

ou recomendar o isolamento de determinada área por certo período.

No Estado do Acre, os riscos de lixiviação serão altos naqueles solos que não apresentam impedimentos à drenagem. Portanto, recomenda-se nestes casos fracionar a adubação, seja qual for a fonte. Vale ressaltar ainda que pode ocorrer excessiva exportação de nutrientes com as colheitas, em determinado momento e dependendo do tipo de sistema agroflorestal, mas existem medidas, desde a implantação e condução do sistema, que podem evitar ou retardar este problema, assim como as práticas citadas anteriormente.

Não se devem esperar receitas ou pacotes tecnológicos para sistemas agroflorestais, visto sua complexidade. É importante, contudo, compreender como as partes atuam para promover ações que otimizem o sistema e ajudem a manter a sustentabilidade ambiental, econômica e social por longos períodos.

Os sistemas agroflorestais são sistemas de produção com elevada produtividade de biomassa total por unidade de área, que podem reduzir perdas de solo por erosão, de nutrientes por lixiviação, minimizar a utilização de recursos externos ao sistema e conferir alto grau de sustentabilidade à propriedade rural.

Uma vez concretizada a possibilidade de aliar rendimento econômico à geração de benefícios sociais e ecológicos, os sistemas agroflorestais são altamente

promissores em contribuir para o desenvolvimento sustentável da Amazônia.

Referências Bibliográficas

CARVALHO, M. M. **Arborização em pastagens cultivadas**. Juiz de Fora: EMBRAPA-CNPGL, 1998. 37 p. (EMBRAPA-CNPGL. Documentos, 64).

CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., 1994, Porto Velho. **Anais**. Colombo: Embrapa-CNPGL, 1994. 2 v. (Embrapa-CNPGL. Documentos, 27).

CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS: no contexto da qualidade ambiental e competitividade, 2., 1998, Belém.. **Resumos expandidos**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1998, 246 p.

CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural, 3., 2000, Manaus. **Anais**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. 461 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 7).

CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS: sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos – sustento da vida e sustento de vida, 4., 2002, Ilhéus. **Anais**. Ilhéus: CEPLAC, 2002. 1 CD-ROM.

DUBOIS, J. C. L. Alternativas agroflorestais para a recuperação de solos degradados na região norte do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1., 1992, Curitiba. **Anais**... Curitiba: UFPR/FUPEF, 1992. p. 107-125.

DUBOIS, J. C. L.; VIANA, V. M.; ANDERSON, A. B. **Manual agroflorestral para a Amazônia**. Rio de Janeiro: REBRAF, 1996. v. 1. 228 p.

FERNANDES, E. C. M.; MATOS, J. C. de S.; ARCOVERDE, M. F.; LUDEWIGS, T. Estratégias agroflorestrais para redução das limitações químicas do solo para produção de fibra e alimento na Amazônia Ocidental. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., 1994, Porto Velho. **Anais**. Colombo: Embrapa-CNPQ, 1994. p. 207-224 (Embrapa-CNPQ. Documentos, 27).

GOMES, T. C. de A.; LUNZ, A. M. P.; MORAES, R. N. de S.; LOPES, V. M. B. Tropical legumes effects on agroforestry system sustainability in the Western Brazilian Amazon. In: INTERNATIONAL SYSTEMS MULTI-STRATA AGROFORESTRY SYSTEMS WITH PERENNIAL CROPS, 1999, Turrialba, Costa Rica. **Anais...** Turrialba: CATIE, 1999. p. 139-143.

LUNZ, A. M. P.; FRANKE, I. L. **Princípios gerais e planejamento de sistemas agroflorestrais**. Rio Branco: EMBRAPA-CPAF/AC, 1998. 26 p. (EMBRAPA-CPAF/AC. Circular Técnica, 22).

MAC DICKEN, K. G. Agroforestry management in the humid tropics. In: MAC DICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. **Agroforestry**: classification and management. New York: Wiley Interscience, 1990. p. 98-149.

MAC DICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. Introduction to agroforestry. In: MAC DICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. **Agroforestry**: classification and management. New York: Wiley Interscience, 1990. p. 1-30.

MACEDO, R. L. G. Fundamentos básicos para implantação e manejo de sistemas agroflorestais. In: **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2000. p. 1-31.

MC GRATH, D. A. **Ecological sustainability in Amazonian agroforests**: an on-farm study of phosphorus and nitrogen dynamics. Following natives forest conversion, 2000. 200 p. Dissertação de Pl. D. Universidade da Flórida.

MOCHIUTTI, S.; MELÉM JÚNIOR, N. J.; FARIAS NETO, J. T. de; CASTRO, A. W. V. de. Utilização do taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) para recuperação de solos degradados pela agricultura migratória. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2., 1998, Belém, PA. No contexto da qualidade ambiental e competitividade. **Resumos expandidos**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1998. p. 69-71.

MONTAGNINI, F. (Coord.) et al. **Sistemas agroforestales**: principios y aplicaciones en los trópicos. 2. ed. San José: Organización para Estudios Tropicales, 1992. 622 p.

NAIR, P. K. R. **An introduction to agroforestry**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers / ICRAF, 1993. 499 p.

SMYTH, S. M. L. Ciclagem de nutrientes e a importância das raízes no sistema de consórcio alley-cropping. In: MESA REDONDA SOBRE RECUPERAÇÃO DE SOLOS ATRAVÉS DO USO DE LEGUMINOSAS, 1991, Manaus. **Trabalhos e Recomendações**. Belém: EMBRAPA-CPATU/GTZ, 1992. p. 27-32. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 67).

YARED, J. A. G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; MARQUES, L. C. T. **Agrossilvicultura**: conceitos, classificação e oportunidades para aplicação na Amazônia brasileira. Belém: Embrapa-CPATU, 1998. 39 p. (Embrapa-CPATU. Documentos, 104).

YOUNG, A. Agroforestry and its potencial to contribute to land development in the tropics. **Journal of Biogeography**, n. 15, p. 19-30, 1988.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. Wallingford: CAB International, 1990. 276 p.

Capítulo 14

Ciclagem de Nutrientes e Manejo do Solo em Florestas Plantadas

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Introdução

O Estado do Acre possui a maior parte de seu território coberta por florestas naturais. As composições florísticas dessas florestas são, entretanto, bastante variadas, principalmente em função dos diferentes tipos de solo que ocorrem no Estado (capítulo 1).

Apesar da extensão da área coberta por florestas naturais, calcula-se que o cultivo de florestas plantadas seja no futuro próximo uma importante fonte de renda para a região, tanto pela possibilidade da introdução de espécies exóticas de alto valor comercial e excelentes taxas de crescimento (teca, eucalipto, etc.), como também pelo plantio de espécies florestais nativas (andiroba, copaíba, cedro, etc.). Devido à abundância de áreas florestais nativas com inúmeras espécies de madeira de alto valor no mercado, a silvicultura somente poderá apresentar algum desenvolvimento se baseada no cultivo de espécies com alto valor econômico e altas taxas de crescimento.

Embora haja receio de que o aumento de áreas plantadas com espécies madeireiras possa ocasionar maior pressão para o desmatamento de áreas de florestas nativas, deve-se considerar a possibilidade de que o plantio dessas espécies concorra para diminuir a pressão por madeira em áreas de floresta nativa, pelos seguintes motivos:

a) Aumento da oferta de madeira de alto valor comercial, em médio prazo, em locais mais próximos das serrarias, diminuindo os custos de exploração e transporte.

b) Possibilidade da oferta escalonada de madeira com fuste de boa qualidade.

c) Incorporação no sistema de produção florestal de áreas degradadas ou em processo de degradação e, portanto, inviáveis para os sistemas de produção agrícola.

Esse último aspecto pode ser particularmente importante na economia do Estado, já que muitas áreas atualmente destinadas a pastagens ou à agricultura itinerante e que apresentam baixa produtividade, se incorporadas no sistema de produção florestal, podem apresentar excelente capacidade de produção, principalmente porque muitos fatores que determinam essa perda de produtividade nos demais sistemas algumas vezes não são limitantes na silvicultura.

O fato de haver grande restrição em alguns setores da sociedade local desestimulando o cultivo de florestas plantadas, alegando que essas ocasionam perda de biodiversidade se comparadas com as florestas nativas, também deve ser avaliado mais criteriosamente, já que o desenvolvimento de maciços florestais homogêneos pode diminuir a pressão pela exploração de áreas de florestas nativas, ajudando assim, a preservar a biodiversidade.

Acrescente-se que as florestas devem ser plantadas principalmente em áreas de solos pesados, de difícil mecanização e nas áreas de maior declividade que já tenham sido desmatadas em função de atividades antrópicas anteriores e, principalmente, naqueles solos que necessitam de pousio ou descanso por longos períodos de anos, respeitando-se as áreas de vegetação nativa em torno da rede de drenagem natural e corpos d'água.

Por outro lado, não se deve ignorar que as florestas plantadas, sob o ponto de vista de uso do solo, constituem importantes práticas tanto para a recuperação como para a conservação dos recursos edáficos e hídricos de uma região, em função da cobertura do solo (manta orgânica e dossel vegetativo), da ciclagem de nutrientes, da acumulação rápida do carbono atmosférico (CO₂) e da melhoria das relações hídricas.

O objetivo deste capítulo será abordar alguns aspectos da ciclagem de nutrientes mais diretamente relacionados com as florestas plantadas, bem como sugerir práticas silviculturais que possam ser adotadas para o manejo dos solos sob reflorestamento, com vistas a maximizar os benefícios advindos da exploração florestal, tanto sob o ponto de vista de conservação dos recursos edáficos como da lucratividade econômica do sistema.

Ciclagem de Nutrientes em Florestas Plantadas

No Estado do Acre coexistem solos de alta e de baixa fertilidade natural; assim, dependendo da fertilidade do solo, alguns aspectos da ciclagem de nutrientes serão determinantes da produtividade florestal em certas condições.

Dessa forma, para a determinação do sistema de manejo do solo mais adequado, é importante compreender os aspectos básicos da ciclagem de nutrientes em florestas plantadas, de forma que se possa eleger para cada situação quais os aspectos mais limitantes ou relevantes.

De forma geral, dois grandes ciclos de nutrientes têm sido reconhecidos nos ecossistemas florestais: o ciclo geoquímico e o ciclo biológico, sendo esse último comumente dividido em ciclo biogeoquímico e bioquímico.

Ciclo Geoquímico

O ciclo geoquímico consiste nas transferências de nutrientes entre o ecossistema florestal e outros compartimentos da biosfera. Assim, trata das entradas e saídas de nutrientes do ecossistema.

As principais entradas de nutrientes no ecossistema ocorrem por intemperismo, precipitação, fixação assimbiótica e simbiótica e fertilização. As principais saídas ocorrem por lixiviação, erosão, volatilização e remoção por exploração florestal (retirada de madeiras ou outros tipos de produtos).

A contribuição do intemperismo mineral para a nutrição das florestas plantadas é de difícil determinação, envolvendo muitas vezes a análise de grande número de variáveis.

Entretanto, a despeito dessas dificuldades, enquanto se espera que na maioria dos solos brasileiros seja baixa a contribuição do intemperismo para a nutrição florestal, essa situação não é esperada nos solos do Estado do Acre, onde se tem constatado a presença de minerais primários em proporções relativamente mais elevadas que em solos de mesma classe de outras partes do País.

Acrescente-se a isso a constatação de que mesmo em solos altamente intemperizados, algumas espécies florestais (povoamentos de eucalipto) têm sido capazes de absorver nutrientes do solo a partir de frações não prontamente trocáveis (como por exemplo, frações não- trocáveis de potássio).

A exemplo do potássio, outros nutrientes podem ser mais “facilmente” absorvidos por determinadas espécies florestais em comparação com a maioria das espécies agrícolas. Isso significa que os estoques totais de nutrientes disponíveis para os povoamentos florestais podem suplantar as quantidades trocáveis determinadas pelos métodos convencionais de avaliação da fertilidade do solo.

Se além desse fato for considerada também a elevada presença de minerais primários e secundários, normalmente ricos em nutrientes, como as micas, os feldspatos, a gipsita, a montmorilonita

e as vermiculitas, junto ao pH extremamente ácido dos solos, que torna esses minerais instáveis, potencializando sua liberação, haverá na prática uma contribuição muito significativa do intemperismo mineral para o fornecimento de nutrientes aos povoamentos florestais.

Na prática, significa que nos solos de baixo pH (principalmente naqueles mais ácidos que o pH 4,5) e onde se verifica a ocorrência de argilas de alta CTC (indicativo da presença de argilominerais do tipo 2:1 ou 2:2 e de minerais primários), o intemperismo mineral resultará provavelmente numa das mais importantes fontes de nutrientes.

Outra entrada de nutrientes no sistema são as adições atmosféricas pela precipitação. No Estado do Acre, embora não haja adição decorrente da poluição, como ocorre nas áreas industriais, o grande número de queimadas contribui para que esse tipo de adição seja importante, transferindo os nutrientes de um sistema para outro, empobrecendo o local da queimada e enriquecendo outros locais onde há deposição das cinzas.

Com relação especificamente ao ciclo do nitrogênio, a fixação não biológica também pode ser relevante, haja vista a alta frequência de relâmpagos e a elevada precipitação pluviométrica, em determinados períodos do ano (capítulo 5).

A fixação biológica também é outra forma de entrada de nitrogênio que nunca deve deixar de ser considerada (capítulo 4). Embora se restrinja

somente ao nitrogênio, trata-se provavelmente do componente geoquímico, junto ao fósforo, que apresenta o maior potencial para proporcionar rápidas respostas ao crescimento do povoamento florestal, estimulando-o.

A fixação biológica ocorre de forma simbiótica ou assimbiótica, dependendo do organismo e espécie vegetal associados (capítulo 4). Entretanto, o pH extremamente ácido dos solos acreanos pode contribuir para inibir o desenvolvimento de muitos tipos de bactérias diazotróficas, embora haja um grande número delas tolerante a baixos valores de pH, muitas associadas a leguminosas nativas (fixação simbiótica) ou a gramíneas (fixação assimbiótica). A fixação biológica por meio de outros tipos de organismos do solo, como as algas, embora pouco estudada, também deve ser considerada.

A contribuição da fixação biológica de nitrogênio para o crescimento do povoamento florestal pode ser importante logo nos primeiros anos de implantação, contribuindo significativamente para reduzir as necessidades de investimentos com fertilizantes.

Os fertilizantes constituem outra forma de adição de nutrientes no ecossistema florestal e podem ser do tipo orgânico ou mineral. Os fertilizantes orgânicos, normalmente por dificuldades de manuseio e transporte, são pouco empregados em povoamentos florestais, embora, possam se constituir importante alternativa em algumas

localidades do País, como por exemplo, próximo aos grandes centros onde o composto de lixo urbano pode ser utilizado como fonte de nutriente, com amplas vantagens ambientais em comparação com a utilização dessas fontes em sistemas agrícolas convencionais.

Especificamente para as condições do Estado do Acre, onde a reserva para alguns nutrientes no solo é em muitos casos suficiente (cálcio, magnésio e potássio, principalmente), a utilização de fontes nitrogenadas e principalmente fosfatadas de nutrientes minerais pode constituir uma maneira indiscutível de promover o enriquecimento do ecossistema e de maximizar a produtividade florestal e a lucratividade das explorações florestais.

Entretanto, para obter o máximo aproveitamento dos nutrientes aplicados, devem-se distinguir três estágios nutricionais dos povoamentos florestais:

Estágio 1 (antes do fechamento da copa) – caracteriza-se pela elevada demanda de nutrientes para a formação da copa, sem que haja retorno pela queda de folhas. Será nesta fase que melhores respostas podem ser esperadas pela adição de fertilizantes, já que praticamente toda a necessidade nutricional das plantas depende do fornecimento via solo.

Estágio 2 (fechamento da copa) – caracteriza-se pela intensificação da ciclagem bioquímica e biogeoquímica, em que ocorre redistribuição dos nutrientes absorvidos entre partes da planta e

também seu retorno ao solo, pela queda das folhas e galhos.

Estágio 3 (fase clímax ou de acúmulo de biomassa no lenho) – caracteriza-se pela manutenção ou mesmo redução da área fotossintética do povoamento e, portanto, com uma drástica diminuição na demanda de nutrientes.

Assim, o fornecimento de nutrientes deve ocorrer principalmente no estágio 1 e deve-se basear naquele nutriente que apresenta menor disponibilidade no solo. Daí, a importância da adubação fosfatada para garantir o estabelecimento de um povoamento florestal vigoroso.

No que se refere às perdas ou saídas de nutrientes do ecossistema por meio das transferências geoquímicas, é importante salientar que ocorrem normalmente na maioria dos ecossistemas naturais, porém, dependendo do tipo de manejo do solo, podem ser amplificadas a ponto de comprometer a produtividade florestal logo nos primeiros ciclos de corte da exploração.

A intensidade de cada um dos cinco processos principais de perdas (lixiviação, queima, erosão, volatilização e exploração florestal) varia em relação ao nutriente considerado e com as condições edafoclimáticas dominantes durante cada processo.

A lixiviação, sob a perspectiva geológica, está entre os principais processos relacionados à formação dos solos de baixa fertilidade no Brasil, que se

caracteriza pela dessilicação (perda de sílica – responsável pela formação dos solos com predomínio, na fração argila, de óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro) e acidificação (perda de cátions alcalinos e alcalinos terrosos).

Contudo, mesmo considerando escalas de tempo de poucos anos, principalmente nos solos bem drenados e com baixa capacidade de troca de cátions – o que implica diretamente na baixa capacidade de retenção de cátions –, a lixiviação constitui um dos principais processos responsáveis pela perda de nutrientes catiônicos (potássio, magnésio e cálcio) e aniônicos (nitrato e sulfato, este último em menor intensidade).

Entretanto, no Estado do Acre, esses processos de perda ocorrem com maior intensidade apenas nos Latossolos, sendo menos intensos ou mesmo insignificantes nas demais classes, o que se explica pelo predomínio de solos com drenagem deficiente (capítulo 1).

Outro processo de saída de nutrientes, praticamente nulo sob condições naturais, são as perdas por erosão. À medida que se intensifica o preparo do solo, o desmatamento e a exposição do solo à precipitação direta, a erosão se torna um dos principais componentes de perdas dos ecossistemas.

Considerando que a erosão provoca a perda de solos não só por meio de sulcos e voçorocas, mas também de forma superficial (erosão laminar) e que grande parte das reservas minerais de muitos solos

encontra-se normalmente nos primeiros centímetros, a degradação e a perda da sua capacidade produtiva estão estritamente relacionadas à intensidade dos processos erosivos.

As operações de preparo convencional do solo (aração, gradagem aradora ou niveladora) e outras práticas que contribuem para deixá-lo descoberto, como as capinas, atuam no sentido de acelerar e intensificar os processos erosivos.

Nesse sentido, a prática de queima de resíduos vegetais (florestais ou não) também concorre para aumentar a exposição do solo aos processos erosivos. Além disso, a queima, por si só, favorece a perda de nutrientes, como nitrogênio e enxofre, por volatilização, além de conduzir a uma drástica redução do conteúdo de matéria orgânica. Favorece ainda a perda de nutrientes como cálcio e magnésio pelo processo de convecção dos ventos.

Embora o processo de queima resulte em um aumento momentâneo da fertilidade do solo em decorrência da adição das cinzas na sua superfície, esse aumento aparente consiste apenas em uma pequena fração do nutriente que seria mantido no sistema e que poderia ser mineralizado e disponibilizado para o povoamento florestal (capítulo 5). Com o processo de queima, invariavelmente, haverá o empobrecimento do ecossistema e perda de sua produtividade futura. Por esse motivo, a queima não deve ser recomendada em nenhuma etapa do processo de limpeza ou preparo da área, devendo-se optar por alternativas, como trituração

e corte da vegetação anterior, ou técnicas de cultivo mínimo¹ com auxílio de herbicidas.

Outro processo de perda de nutriente (nitrogênio, particularmente) não associado diretamente à queima é a volatilização do amônio em solos com pH alcalinos. Entretanto, esse tipo de perda será provavelmente desprezível sob as condições de elevada acidez da grande maioria dos solos acreanos.

O quinto processo de perda de nutrientes é o da exportação por meio dos produtos florestais (madeireiros e não-madeireiros). Em termos absolutos, é o processo que mais remove nutrientes do sistema. A quantidade removida depende de vários fatores, como densidade do povoamento, idade de corte, componente da árvore explorado, espécie cultivada e qualidade do sítio (fertilidade do solo, principalmente).

De modo geral, pode-se dizer que a quantidade de nutrientes exportados será tanto maior quanto:

- a) Mais fértil for o solo.
- b) Maior for a quantidade de biomassa exportada.
- c) Menor for a eficiência nutricional da espécie cultivada.

O efeito da idade de corte depende do estágio de desenvolvimento do povoamento, já que árvores

¹Prática de plantio que considera o menor número possível de intervenções no solo.

mais novas tendem a apresentar maiores concentrações de nutrientes em seus tecidos lenhosos que aquelas de idade mais avançada. Entretanto, como com o avanço da idade aumenta a quantidade de biomassa exportada, obviamente haverá também maiores quantidades de nutrientes exportados nessa situação.

Duas importantes estratégias podem ser desenvolvidas para minimizar a exportação de nutrientes. A primeira consiste em não retirar da área de exploração componentes da árvore sem utilidade comercial. Por exemplo, as cascas das árvores apresentam normalmente uma elevada concentração de nutrientes em seus tecidos, principalmente em relação às concentrações observadas nos tecidos do lenho, e para alguns elementos, como por exemplo, o cálcio, as quantidades alocadas na casca podem representar uma fração considerável do total do nutriente contido na parte aérea das árvores. Assim, na exploração, deve-se preferir aqueles processos que permitam a extração somente dos componentes utilizáveis comercialmente e, sempre que possível, folhas, galhos e cascas devem ser deixados no local de exploração.

A segunda estratégia, embora menos óbvia, é a mais importante sob o ponto de vista ecológico. Consiste em otimizar a capacidade de produção do povoamento, de forma que se obtenha aumento do coeficiente de utilização biológico, ou seja, maximizar a quantidade de biomassa produzida em

relação à quantidade de nutrientes exportados pelo componente explorado. Com isso, será possível obter maiores quantidades de carbono fixado da atmosfera, com sua transformação em produtos madeireiros, a um menor custo nutricional.

Ciclos Biogeoquímico e Bioquímico

O ciclo biogeoquímico inicia-se pela transferência do nutriente do solo para a planta e encerra-se com o retorno do nutriente ao solo. Essa transferência dá-se pelo processo de absorção, enquanto a transferência do nutriente da planta para o solo ocorre pela deposição de resíduos orgânicos e pela lavagem do nutriente de partes da árvore com a água da chuva.

A quantidade de nutrientes absorvida pela árvore depende de fatores inerentes a cada espécie (exigência nutricional, associações simbióticas) como também da capacidade do solo em fornecer o nutriente, razão pela qual se espera maior absorção nos solos mais férteis, se outros fatores não forem impeditivos.

O principal processo de retorno do nutriente para o solo consiste na queda de folhas e galhos e na formação da serrapilheira. As folhas normalmente constituem a maior proporção da biomassa dos resíduos que caem ao solo e também os resíduos com maior concentração, embora, devido ao ciclo bioquímico, grande parte dos nutrientes seja translocada das folhas velhas e senescentes para os tecidos mais jovens.

O ciclo bioquímico (translocação do nutriente dentro da planta) é particularmente importante para os nutrientes mais móveis, como nitrogênio, fósforo e potássio.

Os processos de transferência biogeoquímica e bioquímica apresentam grandes impactos na produtividade. Contudo, sob o ponto de vista da sustentabilidade dos recursos edáficos e da economia de nutrientes, são menos importantes, já que não implicam, ao menos diretamente, em perdas ou entradas de nutrientes do ecossistema.

Práticas de Manejo do Solo

As técnicas relacionadas com o preparo do solo (limpeza da área, preparo da área e tratos culturais), com as práticas conservacionistas e com a adubação são as mais importantes no sentido de se manejar o ecossistema para mantê-lo sustentável.

Preparo da Área

Tradicionalmente, o preparo da área consiste em limpá-la, entocando os resíduos vegetais em leiras para que possam depois ser queimados. Após a limpeza, segue-se o preparo da área, com subsolagem, uma aração profunda e várias passagens de grade, até que a área em preparo se apresente bem uniforme. Finalmente, os tratos culturais deverão remover toda a vegetação espontânea, principalmente na linha ou em torno das covas de plantio, as quais deverão ser mantidas livres da competição pelo mato. Normalmente, faz-

se uso do fogo para ajudar tanto na limpeza da área como na queima da vegetação espontânea.

Esse sistema de preparo do solo, contudo, é totalmente contra-indicado por promover enormes perdas de nutrientes, seja favorecendo os processos erosivos, seja favorecendo a volatilização e convecção pelos ventos com a combustão dos resíduos vegetais.

Dependendo da situação inicial, dois tipos de preparo da área podem ser adotados, sem causar os danos advindos do preparo convencional.

O primeiro aplica-se naquelas áreas onde ocorreu grande desenvolvimento da vegetação secundária (capoeiras) de forma que não seja possível o manejo da área sem que essa vegetação seja removida.

Nesse caso, recomenda-se o corte e a trituração da capoeira por meio de equipamentos apropriados. Esse processo promoverá a formação de uma camada de material vegetal sobre o solo, concorrendo para minimizar os processos erosivos. O não uso do fogo contribuirá para evitar perdas por volatilização ou convecção pelo vento, mantendo quase integralmente os estoques de nutrientes contidos na biomassa da vegetação secundária.

Em áreas mais limpas ou naquelas provenientes da exploração de povoamentos de florestas plantadas, pode-se adotar o cultivo mínimo, que consiste em preparar apenas uma estreita faixa de solo, normalmente, a linha de plantio (uma faixa estreita),

de forma que possa ser realizado o coveamento e a aplicação de herbicidas seletivos, deixando-se a cada duas ou três linhas de plantio os resíduos vegetais maiores (galhos e troncos) e nas demais linhas os materiais mais frágeis, permitindo assim o tráfego de máquinas para as operações dos tratos culturais e exploração.

Em ambos os casos deve-se fazer uso de herbicidas, para evitar a competição pelas ervas daninhas, de forma que com a dessecação da vegetação espontânea pelos herbicidas, esta atue como uma cobertura de material morto sobre o solo.

Assim, as únicas operações mecanizadas para a limpeza e preparo do solo que devem ser adotadas são o corte e trituração de capoeiras (quando se fizer necessário), a roçada mecânica, uso de subsoladores na linha de plantio (cultivo mínimo) e, se houver necessidade, máquinas para abertura de covas. Mesmo essas últimas devem ser evitadas, pela compactação que causam nas paredes das covas de plantio.

Práticas Conservacionistas

As principais práticas conservacionistas que devem ser adotadas são a locação de estradas em nível, para diminuir o escoamento superficial da água de chuva, o plantio de leguminosas, para aumentar a cobertura do solo e fornecer nitrogênio após o corte da leguminosa, e o plantio em nível. Essas práticas, quando adotadas com o cultivo mínimo ou o corte e

trituração de capoeiras, são bastante efetivas no controle da erosão e na minimização das perdas de nutrientes.

Manejo da Adubação

O último fator que deve ser manejado é o fornecimento dos nutrientes em maior grau de limitação, de forma a promover um rápido crescimento inicial das árvores e fechamento mais rápido do dossel, o que contribuirá para diminuir o impacto direto da chuva sobre o solo descoberto ou pouco protegido.

Para aqueles solos com argilas de alta atividade, normalmente não será necessária a correção da acidez, mesmo que a valores de pH tão baixos como 4,0 ou menor, já que as espécies florestais são altamente tolerantes à acidez do solo e as quantidades de cálcio, magnésio e potássio normalmente são suficientes para o crescimento do maciço florestal. Os baixos valores de pH também tendem a favorecer a retenção de nitrogênio na forma de amônio (capítulo 5).

Isso significa que a calagem somente seria recomendada caso a saturação de bases nesses solos de alta CTC fosse menor que 10%, situação rara, à exceção de alguns Gleissolos e outros solos Aluviais.

Assim, recomenda-se a prática da adubação fosfatada e, preferencialmente, o plantio de

leguminosas para o fornecimento de nitrogênio. Poderá ser necessária alguma adubação nitrogenada para favorecer o crescimento inicial das mudas após seu pegamento, até que a leguminosa plantada em consórcio se desenvolva e possa ser incorporada, fornecendo o nitrogênio necessário para o primeiro estágio de desenvolvimento da floresta.

Nos solos de baixa CTC, além da adubação fosfatada, poderá ser necessária a adição de outros nutrientes, como potássio e nitrogênio nos primeiros 2 anos após o plantio, e uma calagem para o fornecimento de cálcio e/ou magnésio, elevando-se a saturação de bases para valores mínimos de 25% a 35%.

Conclusão

As florestas plantadas podem constituir, num futuro próximo, uma importante fonte de renda e alternativa para uso dos solos no Estado, principalmente naquelas áreas onde predominam solos com baixa aptidão para agricultura mecanizada.

A implantação de maciços florestais deve ser planejada, contudo, no sentido de preservar os recursos edáficos, evitando-se que haja perda da sustentabilidade do sistema pelo uso indevido desses recursos. As tecnologias já estão disponíveis e dependem apenas do correto planejamento das atividades de implantação e exploração.

Referências Bibliográficas

BARROS, N. F. & NOVAIS, R. F. de. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Editora Folha de Viçosa, 1990. 330 p.

MILLER, H. G. Nutrient cycles in forest plantations, their change with age and the consequence for fertilizer practice. In: AUSTRALIAN FOREST NUTRITION WORKSHOP: productivit in perpetuity, 10, 1981, Canberra. **Proceedings**. Canberra: CSIRO, 1981. p. 12-27.

Capítulo 15

Fluxo de Nutrientes em Florestas Tropicais Manejadas

Luís Cláudio de Oliveira

Introdução

As florestas naturais são tidas muitas vezes como ecossistemas equilibrados, como se o fluxo total de entrada e saída de nutrientes fosse igual, fazendo com que o balanço seja nulo. Esta visão, entretanto, não corresponde à realidade, pois para cada nutriente em particular, o balanço pode ser positivo (indicando acúmulo), negativo (indicando perdas) ou nulo (indicando equilíbrio).

Em ecossistemas florestais, balanço de nutrientes consiste na avaliação das entradas e saídas por meio de processos naturais e antrópicos. Esse balanço pode ser feito para um ano, um período de anos ou para um ciclo inteiro de exploração, no caso de florestas manejadas. Embora sejam poderosas ferramentas de análise, alguns processos de entrada e saída de nutrientes são de difícil mensuração. Mesmo assim, o balanço de nutriente (ΔE) indicará as alterações sofridas em um determinado ecossistema em relação ao estoque total (E), ou seja, estará aumentando ($\Delta E > 0$), diminuindo ($\Delta E < 0$) ou permanecendo estável ($\Delta E = 0$).

O balanço de nutrientes pode ser determinado considerando-se as entradas e saídas de cada elemento no ecossistema, da seguinte maneira:

$\Delta E = \Sigma e - \Sigma s$, onde:

ΔE = balanço do nutriente, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$

Σe = somatório das entradas, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$

Σs = somatório das saídas, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$

O conhecimento do balanço de nutrientes em ecossistemas florestais pode ser utilizado como indicador de estresse, se adotado como característica de um ecossistema inteiro e não somente de uma comunidade de plantas. Neste sentido, uma baixa taxa de perdas e balanços positivos indicam que a floresta está em fase de construção, como ocorre durante a sucessão secundária (Vitousek & Reiners, 1975); enquanto uma alta taxa de perdas e balanço negativo irão sugerir que a floresta está em senescência ou estresse.

Em florestas manejadas, o balanço de nutrientes é útil para a determinação de perdas e restauração dos comportamentos cíclicos de nutrientes vitais, visando determinar a durabilidade de ciclos de exploração para que haja recuperação das quantidades exportadas pela retirada de madeira ou outros subprodutos florestais.

O balanço de nutrientes em florestas tropicais é também fundamental à compreensão de processos geoquímicos, bem como para desenvolver modelos comparando os efeitos da modificação da vegetação original pelo corte ou substituição completa por outra cobertura vegetal.

Nesse sentido, o objetivo deste capítulo é mostrar como o conhecimento dos fluxos de nutrientes em florestas tropicais pode ser útil para determinar o efeito de diferentes impactos sobre a cobertura florestal original, como também subsidiar o manejo florestal sustentável.

Balço de Nutrientes em Florestas Tropicais Úmidas

Os fluxos de nutrientes dentro e entre diferentes ecossistemas podem ser avaliados pelas transferências observadas entre a atmosfera, hidrosfera, crosta terrestre e a biosfera. Quando essas transferências concorrem para aumentar o estoque de um nutriente dentro de um dado ecossistema são denominadas de entrada; por outro lado, quando concorrem para diminuir o estoque de um dado nutriente, são chamadas de saída.

Existem diferentes classificações para tratar as transferências, também denominadas de ciclos de nutrientes, entre diversos compartimentos de um ecossistema ou entre este e sua vizinhança. De modo geral, contudo, são reconhecidas como principais vias de entrada de nutrientes as transferências a partir da atmosfera (fixação biológica e química de nitrogênio), do intemperismo e pela precipitação. Como saídas têm-se as transferências feitas pelo escoamento superficial (run-off), pela lixiviação, emissão de gases e partículas perdidas para a atmosfera (nutrientes perdidos por fogo e volatilização) e exploração de florestas.

O intemperismo é o principal fator envolvido na disponibilização de nutrientes como cálcio, magnésio, potássio, ferro e fósforo, que são elementos constituintes dos minerais primários. Esses elementos podem circular através da vegetação florestal por muitos anos, mas são

perdidos eventualmente por escoamento superficial e/ou lixiviação.

Nos ecossistemas em que a biomassa está em sua fase de acumulação, as transferências para fora do ecossistema são menores para aqueles nutrientes em suprimentos menores, desde que estes estejam retidos mais fortemente do que outros imediatamente disponíveis (Tabela 1).

Alguns estudos, por questões metodológicas, têm assumido que a contribuição do suprimento de nutrientes a partir da intemperização é desprezível, dividindo então o ciclo geoquímico (capítulo 14) em dois ciclos principais: biológico e hidrológico.

O ciclo biológico apresenta a biomassa como seu maior compartimento para o estoque de nutrientes e, o ciclo hidrológico, o solo.

Dentro do ciclo hidrológico, a lixiviação representa a principal transferência, responsável pela maior parte das perdas do sistema, as quais também são possíveis como resultados da extração de biomassa ou por migração de animais.

Tabela 1. Entradas e saídas de elementos da Floresta Experimental de Hubbard Brook, New Hampshire.

Nutriente	Entradas (%)		Saídas
	Atmosfera	Intemperismo	% em relação às entradas
P	1	99	1
N	100	0	19
K	11	89	24
Fe	0	100	25
Ca	9	91	59
Cl	100	0	74
Mg	15	85	78
S	96	4	90
Na	22	78	98

Fonte: Likens et al. (1981).

Em florestas tropicais existem duas maneiras de minimizar perdas por drenagem de água: a) por meio de processos que venham a favorecer a evapotranspiração; b) minimizando a concentração de nutrientes na água drenada, evitando a sua transferência do ciclo biológico para o hidrológico.

A precipitação, por sua vez, representa uma das mais importantes transferências, responsável pela entrada de nutrientes no sistema, mesmo considerando que existe uma grande variação na composição da água da chuva sobre florestas tropicais. À exceção do potássio, as concentrações médias de nutrientes são normalmente altas e, quando considerado o índice pluviométrico, indicam valores relativamente elevados de entradas de nutrientes com a água da chuva, como o observado

para cálcio (16 kg ha⁻¹ ano⁻¹ no Amapá e 14 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na Malásia), embora valores muito menores também tenham sido observados, como a entrada de somente 4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em Manaus (Tabela 2).

Tabela 2. Entradas de nutrientes (kg ha⁻¹ ano⁻¹) por meio de chuvas, em diferentes florestas tropicais, em ordem decrescente para Ca.

Autor	País	Precip. anual (mm)	Ca	Mg	K	Na	P	N	Cl
Dalal (1979)	Trinidad	1.595	34,8	7,5	19,3	41,0	-	9,3	-
Jordan (1972)	Porto Rico	3.760	21,8	4,5	18,0	57,2	-	14,7	-
Poels (1989)	Suriname	2.143	15,9	2,6	13,7	9,4	0,8	-	18,9
Russel (1983)	Brasil (Amapá)	2.352	15,8	3,3	10,1	-	0,1	-	-
Kenworthy (1970)	Malásia	2.500	14,0	3,3	12,5	-	-	-	-
Nye (1961)	Ghana	1.850	12,8	11,3	17,6	-	0,4	16,3	-
Mathieu (1976)	Ivory Coast	1.320	11,9	11,9	5,3	5,3	-	13,2	13,2
Bruynzeel (1982)	Indonésia	4.768	10,0	4,3	9,5	13,4	-	-	-
Bruynzeel (1985)	Indonésia	4.670	9,8	4,2	14,5	13,1	0,9	15,4	15,4
Klinge/Fittkau (1972)	Brasil (Manaus)	2.545	3,8	3,1	-	-	0,1	87,3	87,3
Brasell (1980)	Austrália	2.520	2,8	2,8	4,5	20,9	-	-	-

Fonte: Adaptada de Poels (1989).

Nas florestas naturais manejadas, as perdas pela drenagem e as entradas pela precipitação são normalmente consideradas as principais transferências, facilitando assim a determinação do balanço de nutrientes de um sítio pela medida da deposição atmosférica e pelas perdas pelo deflúvio.

Estudos realizados com base nessas medidas têm apontado que a entrada de nutrientes através da chuva é o fator mais importante e parcialmente responsável pelas variações observadas no balanço de nutrientes (Tabela 3).

O balanço de nutrientes assim determinado pode ser positivo ou negativo, dependendo do nutriente avaliado. Assim, em um Latossolo da Venezuela, observou-se que, à exceção do nitrogênio, o balanço foi positivo, refletindo talvez uma flutuação temporal no balanço de nutrientes (Tabela 3). Em termos absolutos, representa um acúmulo de 6,9 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de potássio, 5,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de cálcio, 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Mg e 0,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de fosfato. Para nitrogênio (amônio e nitrato), é possível que o balanço negativo determinado pelo fluxo hidrológico seja compensado pela fixação química ou biológica, não medida neste estudo.

O balanço de nutrientes pode, entretanto, ser afetado pelo manejo da exploração florestal, conforme constatado em dois sítios florestais do Suriname, onde foram avaliados os fluxos de nutrientes em uma pequena bacia de 295 ha, dividida entre uma área manejada (bacia *Western Creek*, de 155 ha, na qual foram explorados 20 m³ ha⁻¹ de madeira e feito o envenenamento de árvores não-comerciais) e uma área com florestas intocadas (bacia de *Eastern Creek*, de 140 ha). As áreas da bacia cobertas por florestas intocadas acumulam anualmente cerca de 9 kg de cálcio, 12 kg de potássio e 0,5 kg de fósforo, perdendo anualmente

2 kg de magnésio e 9 kg de sódio, enquanto as áreas cobertas por florestas tratadas perdem, a mais, anualmente, 2 kg de cálcio, 0,5 kg de magnésio, 1 kg de potássio e 4 kg sódio por ha (Tabela 4).

Tabela 3. Média de entrada de nutrientes através da chuva e perda devido à lixiviação do solo em São Carlos, Venezuela*.

Nutriente	Entrada (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Lixiviação (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Varição anual (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Potássio	10,59	3,66	+ 6,93
Cálcio	8,83	3,48	+ 5,35
Magnésio	2,44	0,96	+ 1,48
Fosfato	0,25	0,00	+ 0,25
Amônio	5,39	7,28	- 1,89
Nitrato	0,74	4,28	- 3,54

*Dados, exceto fósforo, são médias de 7,79 (período de 15 de setembro de 1975 a 30 de junho de 1983, no qual a precipitação foi de 27.100 mm e a lixiviação de 13.250 mm. Para fósforo o período foi de 31 de julho de 1981 a 30 de junho de 1983, no qual a precipitação foi de 6.789 mm e 3.441 mm de lixiviação).

Fonte: Jordan (1989).

As saídas de sódio e magnésio do ecossistema foram maiores que as entradas por meio da chuva e contrastam com cálcio, potássio e fósforo. Isso sugere que o intemperismo do solo e substrato produzem mais sódio e magnésio do que é necessário pela vegetação, mas cálcio, potássio e fósforo insuficientes. Cálcio pode ter sido mais retido pelo ecossistema devido a sua escassez, fósforo devido a sua escassez e baixa mobilidade, e potássio provavelmente por ser muito demandado pela vegetação.

Dos elementos estudados, cálcio e fósforo apresentam-se em níveis mínimos. Considerando que a fixação de fósforo é provavelmente pequena nestes solos (em função dos baixos níveis de ferro e de argilas silicatadas de baixa atividade), a baixa disponibilidade desse elemento pode ser causada puramente pela sua ausência no solo.

É importante ressaltar que embora as perdas tenham sido maiores na área manejada, o fato de o balanço de nutrientes para a bacia de *Western Creek* ter mostrado acúmulo de cálcio, potássio e fósforo, durante todo o período, permite concluir que o tratamento silvicultural não resultou em perda dos principais nutrientes essenciais, embora tenham ocorrido perdas de magnésio e sódio (Tabela 5).

Resultados desse tipo não podem ser facilmente generalizados, uma vez que os fluxos de nutrientes variam entre sítios, como é o caso do balanço de cálcio em diferentes locais, que pode ser tanto positivo como negativo (Tabela 6). Isso significa que pode haver grandes diferenças no balanço de um único nutriente entre diferentes tipos de florestas ou condições edafoclimáticas.

Ainda, o balanço negativo não deve ser interpretado como evidência definitiva de que essas florestas estavam sob estresse, uma vez que a permanência do balanço negativo por um longo período de tempo talvez ocasionasse uma pressão de seleção natural, o que poderia favorecer as espécies mais adaptadas e, assim, alterar o próprio balanço dos nutrientes.

Tabela 4. Precipitação e deflúvio e fluxo de nutrientes correspondente na área do projeto para o período 1979–1984, Suriname.

Ano (nov.-out.)	Precip. (mm)	Deflúvio (mm)	Bacia	Ca	Mg	K	Na	P
(kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)								
1979/80	1.967	-	-	14,3	2,1	12,5	8,5	0,7
	-	296	Intocada	5,2	3,2	1,5	12,2	0,2
	-	296	Manejada	5,6	3,2	1,7	14,0	0,2
1980/81	2.467	-	-	18,8	2,8	17,1	11,7	1,0
	-	601	Intocada	7,9	4,9	2,7	21,5	0,3
	-	601	Manejada	9,5	5,5	3,7	32,3	0,5
1981/82	2.351	-	-	17,9	2,6	15,8	11,5	0,9
	-	864	Intocada	12,4	6,9	3,7	32,3	0,5
	-	864	Manejada	16,5	7,7	6,0	39,8	0,5
1982/83	1.788	-	-	13,7	2,0	12,0	8,9	0,7
	-	294	Intocada	4,7	2,7	1,6	12,4	0,2
	-	294	Manejada	6,5	3,0	2,0	15,0	0,2
1983/84	1.667	-	-	12,1	1,8	10,6	7,4	0,6
	-	164	Intocada	2,5	1,5	1,1	6,5	0,1
	-	-	Manejada	3,0	1,7	1,3	7,8	0,1

Continua...

Tabela 4. Continuação.

Ano (nov.-out.)	Precip. (mm)	Deflúvio (mm)	Bacia	Ca	Mg	K	Na	P
(kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)								
Média	2.143	-	-	16,2	2,4	14,4	10,2	0,8
	-	514	Intocada	7,6	4,4	2,4	19,6	0,3
	-	514	Manejada	9,5	4,9	3,4	23,6	0,3
Balanço	1.629	-	Intocada	8,6	-2,0	12,0	-9,4	0,5
	1.629	-	Manejada	6,7	-2,5	11,1	-13,4	0,5

Fonte: Poels (1989).

Tabela 5. Balanço de nutrientes da área Western Creek, Suriname*.

Ano (nov.-out.)	Ca	Mg	K	Na	P
1979/80	8,7	-1,1	10,8	-5,5	0,5
1980/81	9,3	-2,7	13,4	-13,7	0,7
1981/82	1,4	-5,1	9,8	-28,3	0,4
1982/83	7,2	-1,0	10,0	-6,1	0,5
1983/84	9,1	0,1	9,3	-0,4	0,5

*Entrada por chuva menos lixiviação (kg ha⁻¹ ano⁻¹).

Fonte: Poels (1989).

Tabela 6. Balanço de cálcio em vários ecossistemas.

Formação, associação e localização	Cálcio (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)			Autor
	Saída (R)	Entrada (A)	A - R	
Rain forest, Amazon Basin Spodosol	2,8	16,0	+13,2	Herrera (1979)
Tropical rainforest, Malaysia	2,1	14,0	+11,9	Kenworthy (1971)
Tropical rainforest, Suriname, Ultisols	7,6	16,2	+8,6	Poels (1987)
Rain forest, Amazon, Basin Oxisol	3,5	8,8	+5,3	Jordan (1989)
Evergreen forest, Ivory Cost	3,8	1,9	-1,9	Bernhard-Reversat (1975)
Montane tropical rain forest, Puerto Rico	43,1	21,8	-21,3	Jordan et al. (1972)
Tropical rain forest, New Guinea	24,8	0,0	-24,8	Turvey (1974)
Tropical moist forest, Panamá	163,2	29,3	-133,9	Golley et al. (1975)

Fonte: Adaptada de Jordan (1989).

Reposição Natural das Perdas Devidas à Exploração Florestal

A exploração de madeiras e outros produtos florestais concorrem para intensificar as perdas de nutrientes, tornando muitas vezes o balanço de nutrientes negativo.

Estas perdas (exploração + lixiviação) podem ser compensadas pelas entradas que ocorrem pela precipitação, o que torna possível estimar o tempo necessário para que os estoques dos nutrientes se recuperem, auxiliando na estimativa do ciclo de rotação da floresta.

O ciclo de exploração assim determinado será variável em relação ao sítio e ao nutriente avaliado (Tabela 7): para cálcio, potássio e nitrogênio esses tempos foram calculados em 54, 8 e 63 anos respectivamente, nas condições de florestas da Costa Rica. Já nas florestas do Suriname, o tempo correspondente, para cálcio, potássio e fósforo foi de 11, 3 e 3 anos, respectivamente.

Embora outros fatores devam ser considerados na determinação do ciclo de exploração, se esta for de alta intensidade (houver a retirada de grandes volumes de madeira), pode ser importante para a sustentabilidade futura do ecossistema que o tempo de recuperação não considere apenas os aspectos relativos à dinâmica populacional das espécies exploradas, mas também o balanço de nutrientes e o tempo necessário para recuperar os estoques anteriores à intervenção antrópica. Os resíduos da

exploração, copas danificadas e derrubadas permanecem na área explorada (Jonkers & Schimidt, 1984), contendo nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na ordem de 650 e 1.550 kg ha⁻¹, para a exploração de 15 e 46 m³ ha⁻¹, e uma vez que são compostos em 90% por galhos finos e grossos, decompõe-se de forma lenta, liberando anualmente quantidades de nutrientes entre 75 e 175 kg ha⁻¹. Esses valores são baixos comparados com os nutrientes liberados da liteira em florestas intocadas, mas suficientes para terem efeito significativo no crescimento das árvores remanescentes (Jonkers, 1987).

Tabela 7. Utilização do balanço de nutrientes para estimar os tempos de retornos em função de perdas de nutrientes como resultado da exploração madeireira na Costa Rica e Suriname.

Local/processo	N	P	K	Ca	Referência
Costa Rica (floresta tropical úmida)	-	-	-	-	Ewel et al. (1981); Lewis (1981)
Perdas (kg ha ⁻¹)	-	-	-	-	
Exploração	111	4,0	-	96	
Escoamento	329	11,0	-	392	
Total	440	15,0	-	488	
Entrada precipitação (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	7	2,0	4	9	
Tempo de retorno em anos	63	8,0	-	54	
Suriname (floresta tropical alta)	-	-	-	-	Poels (1989)
Perdas (kg ha ⁻¹)	-	-	-	-	
Exploração	30	1,0	25	60	
Escoamento	-	0,3	3	10	
Total	-	1,3	29	70	
Entrada precipitação (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	-	0,8	14	16	
Tempo de retorno em anos	-	3,0	3	11	

Ciclagem de Nutrientes por meio de Liteira

Estudos de fluxos de nutrientes em florestas tropicais envolvem a medida dos principais estoques na vegetação e o solo e os fluxos entre eles, sendo os mais freqüentemente avaliados a queda de liteira, decomposição, biomassa e seu estoque de nutrientes. A queda de liteira é o mais importante fator na transferência de matéria orgânica e elementos químicos da vegetação para a superfície do solo em ecossistemas florestais (Ogawa, 1978; Proctor, 1984; Proctor et al., 1983b). Estima-se que totaliza 83% do N, 85% do P, 41% do K, 71% do Ca e 60% do Mg retornados para o solo através da copa (Cole & Rapp, 1981).

No contexto da produção de liteira, plantas em habitats pobres em nutrientes produzem menos e com menor concentração de nutrientes do que plantas em habitats ricos. Fertilização com N, P, ou N e P aumentou a produção de liteira em florestas tropicais em Kalimantan (Mirmanto et al., 1999) e na Venezuela (Tanner et al., 1992). N, P e K mostram um padrão semelhante em diferentes florestas tropicais e Mg mostra quantidades menores (Tabela 8). Em termos de manejo florestal é importante notar que os nutrientes retornados pela liteira, apesar da baixa concentração, não limitam a produtividade do sítio, uma vez que as espécies que ocorrem estão adaptadas ou evoluíram nessas condições.

Tabela 8. Comparação de nutrientes retornados na liteira entre florestas tropicais.

Pais e local	Floresta	Liteira (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	N (mg g ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)	K (mg g ⁻¹)	Ca (mg g ⁻¹)	Mg (mg g ⁻¹)	Autores
Cameroon, Korup NP	Semidecídua (Ectomicorrizica)	5,6	17,1	0,640	4,9	12,9	2,4	Chuyong et al. (2000)
Cameroon, Korup NP	Semidecídua)	5,0	17,1	0,680	4,3	11,9	2,5	Chuyong et al. (2000)
Costa do Marfim, Banco (platô)	Sempre verde	8,7	15,0	0,690	2,2	5,6	4,6	Bernhard (1970)
Costa do Marfim, Banco (vale)	Sempre verde	7,9	18,0	1,600	9,1	9,5	4,1	Bernhard (1970)
Costa do Marfim, Yapo (vale)	Sempre verde	6,4	14,0	0,500	2,8	13,2	2,9	Bernhard (1970)
Costa do Marfim, Yapo (vale)	Sempre verde	5,9	14,0	0,530	4,9	13,6	3,2	Bernhard (1970)
Brasil, Manaus	Igapó	5,3	15,0	0,240	2,9	5,3	1,3	Adis et al. (1979)
Brasil, Manaus	Terra firme	6,4	15,0	0,260	2,1	4,8	1,8	Franken et al. (1979)
Brasil, Manaus	Várzea	4,3	13,0	0,280	2,6	3,5	0,2	Franken et al. (1979)

Continua...

Tabela 8. Continuação.

Pais e local	Floresta	Liteira (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	N (mg g ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)	K (mg g ⁻¹)	Ca (mg g ⁻¹)	Mg (mg g ⁻¹)	Autores
Brasil, Manaus	Terra firme	5,6	15,0	0,300	1,8	2,2	1,8	Klinge & Rodriguez (1968a,b)
Brasil, Belém	Terra firme	8,0	17,0	0,410	1,7	3,1	2,8	Klinge (1977)
Brasil, Belém	Várzea	7,5	12,0	0,360	2,6	8,7	3,0	Klinge (1977)
Brasil, Belém	Igapó	6,7	12,0	0,360	3,2	8,0	3,8	Klinge (1977)
Brasil, Ilha de Maracá	Sempre verde	6,3	13,0	0,580	4,7	7,4	2,7	Scott et al. (1993)
Venezuela, San Carlos	Oxisol	7,9	16,0	0,320	2,4	1,7	0,7	Medina & Cuevas (1989)
Venezuela, San Carlos	Caatinga	5,6	7,0	0,500	2,1	7,7	3,1	Medina & Cuevas (1989)

Continua...

Tabela 8. Continuação.

Pais e local	Floresta	Liteira (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	N (mg g ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)	K (mg g ⁻¹)	Ca (mg g ⁻¹)	Mg (mg g ⁻¹)	Autores
Venezuela, San Carlos	Cerrado	6,1	16,0	1,500	7,4	21,0	4,0	Franco (1989)
Malásia, Pasoh	Dipterocarp	6,4	12,0	0,300	3,8	7,0	2,2	Lim (1978)
Sarawak, Gunung Mulu, NP	Alluvial	6,6	9,0	0,267	2,6	24,0	2,0	Proctor et al. (1983b)
Sarawak, Gunung Mulu, NP	Dipterocarp	5,4	9,5	0,105	4,5	1,5	1,1	Proctor et al. (1983b)
Sarawak, Gunung Mulu, NP	Dipterocarp	6,7	10,0	0,170	4,3	5,1	1,2	Proctor et al. (1983b)

Fonte: Proctor (1984); Scott et al. (1993).

Considerações Finais

Estudos de fluxos de nutrientes em florestas naturais manejadas podem ser importantes para determinar a capacidade de exploração dos sítios florestais.

A reposição dos nutrientes exportados via fertilização é uma prática desaconselhável sob o ponto de vista operacional e, assim, os mecanismos naturais de entrada de nutrientes no sistema devem ser considerados na determinação dos ciclos de exploração, com o intuito de não permitir que os ecossistemas manejados mais intensamente apresentem perda de nutrientes e, portanto, possam entrar em estresse, o que poderia comprometer sua rápida recuperação.

Em muitos solos do Estado do Acre a contribuição do intemperismo poderá ser significativamente superior na reposição das perdas, em relação a outros ecossistemas amazônicos, sugerindo que mais estudos sejam feitos nesse sentido. Uma vez comprovada a maior contribuição do intemperismo para a entrada de nutrientes nos ecossistemas florestais do Estado, poder-se-á promover uma exploração florestal mais intensa, sem riscos de comprometimento da capacidade produtiva do sítio.

Para alguns nutrientes, entretanto, como é o caso do fósforo, as reservas minerais são muito baixas também nos solos do Acre e, nesse caso, a contribuição do intemperismo pode ser desprezível, o que torna outras fontes de entrada mais importantes para a manutenção do estoque desse nutriente nas florestas naturais manejadas.

Referências Bibliográficas

BORMANN, F. H. & LIKENS, G. E. Nutrient cycling. **Science**, v. 155, p. 424-429, 1967.

BRASELL, H. M. & GILMOUR, D. A. The cation composition of precipitation at four sites in far north Queensland. **Australian Journal of Ecology**, v. 5, p. 397-405, 1980.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrological and biogeochemical aspects of man-made forests in South - Central Java, Indonesia. The Netherlands: Free University of Amsterdam, 1982. Tese.

BRUIJNZEEL, L. A. **Biogeochemical aspects of coniferous plantations in Central Java, Indonesia, I.** Composition of bulk precipitation. *Malayan Forester*, 1985.

CHUYONG, C. B.; NEWBERRY, D. M.; SONGWE, N. C. Litter nutrients and retranslocation in a central African rain forest dominated by ectomycorrhizal trees. **New Phytologist**, v. 148, p. 493-510, 2000.

COLE, D. W.; RAPP, M. Elemental cycling in forest ecosystems. In: REICHLER, D. H., ed. **Dynamic principles of forest ecosystems**. Cambridge, University Press, 1981. p. 341-409.

DALAL, R. C. Composition of trinidad rainfall. **Water Resources Research**, v. 15, n. 5, p. 1217-1223, 1979.

EWEL, J.; BERISH, C.; BROWN, B.; PRICE, N.; RAICH, J. Slash and burn impacts on a Costa Rican wet forest site. **Ecology**, v. 62, p. 816-829, 1981.

HOLDRIDGE, L. R. **Life zone ecology**. San José, Costa Rica: Tropical Science Center, 1967.

JONKERS, W. B. J.; SHIMIDT, P. Ecology and timber production in tropical rain forest in Suriname. **Interciencia**, v. 9, p. 290-298. 1984.

JONKERS, W. B. J. Vegetation structure, damage, and silviculture in a tropical rain forest in Suriname. Wageningen: Agricultural University, 1987, 171 p.

JORDAN, C. F.; KLINE, J. R.; SASSCER, D. S. Relative stability of mineral cycles in forest ecosystems. **American Naturalist**, v. 106, p. 237-254, 1972.

JORDAN, C. F. **An Amazonian rain forest: the structure and function of a nutrient stressed ecosystem and the impact of slash- and- burn agriculture**. Georgia, USA: Unesco, 1989.

KLINGE, H. & FITTKAU, E. J. Filterfunktionen im ökosystem des zentralamazonischen regenwaldes. **Mitteilungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft**, v. 16, p. 130-135, 1972.

KENWORTHY, J. B. Water and nutrient cycling in a tropical forest. In: FLENLY, J. R., ed. **The water relations of malaysian forests, First Aberdeen-Hull Symposium on Malayan Ecology**. England: Hull, 1970. p. 49-59.

LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H.; JOHNSON, N. M. Interactions between major biogeochemical cycles in terrestrial ecosystems. In: LIKENS, G. E., ed. **Some Perspectives of the major Biogeochemical Cycles**. New York: Wiley, 1981. p. 93-112.

MANOKARAN, N. Nutrient concentration in precipitation, through fall and stemflow in a lowland tropical rainforest in peninsular Malaysia. Malay. **Nature Journal**, v. 30, p. 423-432, 1978.

MATHIEU, P. Influence des apports atmosphériques et du pluviollessivage forestier sur la qualité des eaux de deux bassins versants en Côte d'Ivoire. Cahiers **ORSTOM**. Série Géologique, v. 8, n. 1, p. 11-32, 1976.

MIRMANTO, E.; PROCTOR, J.; GREEN, J.; NAGY, L. Suriantata. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization in a lowland evergreen rainforest. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B**, v. 354, p. 1825-1859, 1999.

NYE, P. H. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. **Plant Soil**, v. 13, n. 4, p. 333-346, 1961.

OGAWA, H. Litter production and carbon cycling in Pasoh forest. The Malayan **Nature Journal**, v. 30, p. 367-373, 1978.

POELS, R. L. H. **Soils, water and nutrients in a forest ecosystem in Suriname**. Agricultural University, Wageningen. 1989.

PROCTOR, J. Tropical forest litterfall: the data set. In "Tropical rainforest: The Leeds symposium. In: CHADWICK, A. C.; SUTTON, S. L., eds. **Leeds Philosophical Natural History Society**. Leeds. 1984. 276 p.

PROCTOR, J.; ANDERSON, J. M.; FOGDEN, S. C. L.; VALLACK, H. W. Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak. II. Litterfall, litter standing crop and preliminary observations on herbivory. **Journal of Ecology**, v. 71, p. 261-283, 1983b.

RUSSELL, C. E. Nutrient cycling and productivity of native and plantation forests at Jari Florestal, Para, Brasil. Athens, USA: University of Georgia, 1983. Tese.

SCOTT, D. A.; PROCTOR, J.; THOMPSON, J. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maraca Island, Roraima, Brasil: II litter and nutrient cycling. **Journal of Ecology**, v. 80, p. 705-717, 1993.

WARING, R. H.; ROGERS, J. J.; SWANK, W. T. Water relations and hydrologic cycles. In: REICHLE, D. E., ed. **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge, University Press, 1981b. p. 205-264.

VITOUSEK, P. M. and REINERS, W. A. Ecosystem succession and nutrient retention: a hypothesis. **BioScience**, v. 25, p. 376-381, 1975.

TANNER, E. V. J.; KAPOS, V.; FRANCO, W. Nitrogen and phosphorus fertilisation effects on Venezuelan montane forest trunk growth and litterfall. **Ecology**, v. 73, n. 1, p. 78-86, 1992.

Capítulo 16

Manejo do Solo em Pastagens Plantadas

Paulo Guilherme Salvador Wadt
Moacyr Bernardino Dias-Filho
João Paulo Guimarães Soares

Introdução

A principal atividade no setor primário no Estado do Acre é a pecuária de corte, ocupando, atualmente, uma área de aproximadamente 1,8 milhão de hectares. Essa atividade, predominantemente baseada no sistema extensivo de produção, insere-se nas propriedades agrícolas familiares, nas médias e grandes fazendas e seu nível tecnológico varia de baixo a médio. Nas maiores propriedades, há adoção de algumas tecnologias, como uso de pastagens consorciadas com leguminosas, cercas elétricas, suplementação mineral no cocho e pastejo rotacionado intensivo. A pecuária leiteira no Estado é ainda pouco expressiva tanto em termos econômicos, como de ocupação do solo.

A tendência de crescimento do rebanho bovino poderá aumentar as pressões para a expansão territorial das áreas destinadas a pastagens. Esse cenário poderá contribuir para intensificar os processos de degradação dessas áreas em virtude da superlotação das pastagens, resultando em impactos ambientais negativos, como a remoção de matas ciliares, aumento da emissão de dióxido de carbono para a atmosfera, exposição das encostas convexas e grotões à erosão, assoreamento dos rios e diminuição da biodiversidade local.

Faz-se urgente e necessário adotar estratégias de manejo que possibilitem a manutenção ou o aumento da produtividade das áreas de pastagens já implantadas e a recuperação daquelas já

degradadas. Para isso, a adubação das pastagens pode estar entre uma das principais medidas capazes de causar impactos positivos.

A degradação das pastagens, que em alguns tipos de solos é bastante comum, ocorre após poucos anos de uso, sendo um dos principais problemas que afetam as pastagens plantadas. As causas prováveis são o manejo inadequado (por exemplo, o uso excessivo do fogo e a superlotação das pastagens), a morte das gramíneas não-tolerantes ao encharcamento (intolerantes ao déficit de oxigênio no solo) e os ataques sucessivos da cigarrinha-das-pastagens. Evidências apontam também que a morte de pastagens pode estar associada, nos solos mal drenados e cultivados com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, à infestação por *Fusarium* spp. e nematóides.

A superlotação das pastagens, por provocar a exposição do solo, causando a erosão e lixiviação dos nutrientes, pode conduzir à perda gradual de sua produtividade (capacidade de suporte) e, conseqüentemente, da rentabilidade da pecuária. Nesse sentido, a adoção de técnicas de conservação do solo, a utilização de forrageiras adaptadas às condições locais e a adubação de manutenção das pastagens, além do uso de leguminosas forrageiras, associação de agricultura-pecuária e sistemas silvipastoris, poderão contribuir para ampliar a capacidade de suporte atual, sem provocar a expansão das áreas de pastagens, com base em novos desmatamentos.

O objetivo deste capítulo é a recomendação de técnicas de manejo da fertilidade do solo que otimizem a disponibilidade de nutrientes para as plantas forrageiras pela adoção de estratégias voltadas à melhoria das associações simbióticas e de conservação do solo.

Manejo da Fertilidade do Solo em Pastagens Plantadas

O manejo de pastagens cultivadas pode ser considerado sob cinco fases distintas: estabelecimento, manutenção, recuperação, reforma e renovação.

Na fase do estabelecimento das pastagens, recomenda-se condicionar o solo para que este propicie a formação de plantas vigorosas e de bom desenvolvimento radicular.

Normalmente, o estabelecimento da pastagem é feito em área recém-desmatada, ou em substituição a alguma lavoura, ou em áreas de pousio (capoeiras), normalmente oriundas de pastagens abandonadas. Dependendo da situação, pode haver diferentes sistemas de manejo para o estabelecimento das pastagens nessas condições.

Quando da formação da pastagem em área originalmente sob capoeira, especial atenção deve ser dada à disponibilidade do elemento fósforo no solo, devido a sua importância no desenvolvimento inicial das plantas forrageiras, particularmente das raízes, e a sua baixa disponibilidade natural nos solos da região.

O nitrogênio é outro elemento essencial para as pastagens. Aumenta-se a sua disponibilidade no sistema enriquecendo a capoeira com espécies leguminosas nos primeiros anos de pousio. Pode-se planejar a pastagem para consorciá-la com leguminosa forrageira, contribuindo, também, para diminuir a necessidade de adubação de manutenção de nitrogênio e estimular a ciclagem do fósforo no solo devido às maiores taxas de decomposição das raízes e da liteira nas pastagens consorciadas com leguminosas.

É importante ressaltar que mesmo os capins podem fixar nitrogênio, por meio da fixação biológica não-simbiótica. A quantidade de nitrogênio fixada pode ser suficiente para diminuir a necessidade de adubações nitrogenadas da pastagem. Visando também otimizar essa simbiose, deve-se atentar para a melhoria das condições químicas do solo (correção da acidez e fertilização fosfatada).

Em pastagens também ocorrem associações das raízes com fungos micorrízicos, que são importantes para melhorar a absorção de nutrientes pouco móveis no solo, como o fósforo, o zinco e o cobre, já que esses fungos atuam como extensões das raízes.

Em pastagens bem formadas, a necessidade de adubações de manutenção deve ser vista sob dois enfoques: a) reposição dos nutrientes exportados na forma de carne ou leite, mais as perdas naturais, que podem ser agravadas por práticas inadequadas de manejo como o superpastejo e o emprego de

queimas freqüentes (causando perdas de nutrientes por volatilização, lixiviação e erosão); b) correção de possíveis desequilíbrios nutricionais que limitem a produtividade das pastagens.

Em comparação a sistemas agrícolas ou de forrageiras sob regime de cortes (capineiras), a necessidade de reposição dos nutrientes exportados pela produção de carne ou leite a pasto é relativamente baixa. Além disso, quando as pastagens são bem manejadas, as perdas de nutrientes causadas por erosão ou deflúvio superficial são pequenas e, se tomadas as medidas corretas, também podem ser minimizadas durante a formação do pasto, quando o solo permanece descoberto por maiores períodos. O manejo correto das pastagens aumenta a eficiência da ciclagem de nutrientes, minimizando, dessa forma, as suas perdas.

Assim, os custos serão maiores para manutenção das pastagens com problemas de fertilidade do solo não corrigidos na fase de estabelecimento, enquanto nas demais, as necessidades de reposição serão relativamente baixas.

Finalmente, a recuperação, reforma e renovação das pastagens podem consistir nas fases mais críticas e onerosas, principalmente se necessárias em solos de menor fertilidade natural (Latosolos e Argissolos).

A recuperação das pastagens envolve o uso de práticas culturais e/ou agrônômicas, visando ao restabelecimento da cobertura do solo e do vigor das plantas forrageiras (como adubação de manutenção e vedação de piquetes, controle de invasoras sobre semeadura da espécie existente), e seu custo normalmente é inferior ao da reforma ou renovação. Por reforma entende-se a realização do replantio da pastagem, com a mesma espécie e geralmente com a entrada de máquinas (como escarificação do solo, ressemeadura, correção da acidez do solo, etc.). A renovação consiste em utilizar a área degradada para a formação de uma nova pastagem com outra espécie forrageira, geralmente mais produtiva, adotando-se práticas mais eficientes de melhoria das condições edáficas, como a aplicação de calcário, adubo no estabelecimento e manutenção, e uso mais racional da pastagem.

Contudo, antes de abordar especificamente as recomendações de manejo, é necessário tratar das exigências nutricionais e ecológicas das diferentes espécies forrageiras.

Gramíneas e Leguminosas Forrageiras Cultivadas no Acre e suas Exigências de Fertilidade e Condições Físicas do Solo

Em geral, as exigências nutricionais das gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais são inferiores à da maioria das plantas agrícolas de ciclo anual. Essa característica é vantajosa quando a pastagem é formada em sistema de rotação com uma cultura agrícola que recebeu adubação. Essa prática pode contribuir para minimizar o custo de recuperação das pastagens, já que o efeito residual da adubação aplicada na lavoura, quando realizada nas quantidades recomendadas para boas produtividades, em geral é suficiente para atender às demandas nutricionais das forrageiras, principalmente em solos com boas reservas de cátions (cálcio, magnésio, potássio).

Apesar dessas características, as espécies forrageiras apresentam diferentes graus de exigência quanto à fertilidade do solo, que devem ser considerados tanto na escolha da espécie ou cultivar a ser plantada, como na formulação de suas adubações. Para fins práticos, as gramíneas e leguminosas podem ser classificadas em três grupos, segundo seu grau de exigência quanto à fertilidade do solo: alto, médio e baixo (Tabela 1).

Assim, as recomendações de calagem e fertilizantes a serem aplicadas para a adubação das forrageiras foram feitas em função do grau de exigência da gramínea ou leguminosa em fertilidade do solo, das

informações de fertilidade do solo, do tipo de exploração da pastagem (gramínea exclusiva ou consórcio gramíneas–leguminosas) e, finalmente, do histórico da área (formação em área recém-desbravada, renovação ou formação em sucessão à lavoura e manutenção de pastagens) (capítulo 17).

Por outro lado, a escolha da forrageira para a implantação na pastagem é fundamental, pois o uso de uma planta não adaptada, torna-a mais susceptível às condições do meio ambiente (características físicas e químicas do solo, pragas e doenças), ocasionando a rápida degradação das pastagens.

Tabela 1. Grau de exigência de gramíneas e leguminosas forrageiras à fertilidade do solo.

Gramíneas	Grau de exigência	Recomendada para o Acre
<i>Andropogon gayanus</i> cv. Planaltina e Baeti	Médio	-
<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu*	Médio	Sim
<i>Brachiaria decumbens</i>	Baixo	Sim
<i>Brachiaria humidicola</i>	Baixo	Sim
<i>Brachiaria ruziziniensis</i>	Baixo	-
<i>Cynodon nlemfluensis</i> (Estrela Africana Roxa)	Alto	Sim
<i>Cynodon dactylon</i> (Coast-Cross, Tifton)	Alto	-
<i>Hyparrhenia rufa</i> (Jaraguá)	Médio	-
<i>Paspalum atratum</i> cv. Pojuca	Baixo	Sim
<i>Panicum maximum</i> cv. Massai	Médio	Sim
<i>Panicum maximum</i> cv. Vencedor	Alto	-
<i>Panicum maximum</i> cv. Centenário	Alto	-
<i>Panicum maximum</i> cv. Colômbio	Alto	-
<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia-1	Alto	Sim
<i>Panicum maximum</i> cv. Tobiata	Alto	-
<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	Médio	Sim
<i>Pennisetum purpureum</i> (Elefante, Napier)	Alto	Sim
<i>Setaria anceps</i>	Baixo	-
Leguminosas		
<i>Arachis pintoi</i> cv. Belmonte	Baixo	Sim
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Baixo	-
<i>Leucaena leucocephala</i> (leucena)	Alto	-
<i>Neonotonia wightii</i> (soja perene)	Alto	-
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Baixo	Sim
<i>Stylosanthes guianensis</i> cv. Mineirão	Baixo	-
<i>Stylosanthes guianensis</i> cv. Bandeirante	Baixo	-
<i>Stylosanthes macrocephala</i> cv. Pioneiro	Baixo	-
<i>Stylosanthes</i> sp. cv. Campo Grande	Baixo	-

*Susceptível à síndrome da morte das pastagens em solos sujeitos à má drenagem.

Fonte: Adaptada de Vilela et al. (1999).

Os critérios para a escolha da planta forrageira devem obedecer às características da área em que ela será plantada como: tipo, profundidade, fertilidade, estrutura e textura do solo, topografia, declividade, susceptibilidade à erosão, culturas de coberturas anteriores, possibilidade e duração de encharcamento, ocorrência de pragas, tipo e manejo que será adotado (utilização ou não de fertilizantes na formação e manutenção, forma de estabelecimento), além da espécie e raça do animal que se pretende usar e a expectativa da produção.

Com relação a esses fatores, as plantas forrageiras podem apresentar respostas diferenciadas, principalmente quanto à adaptação e tolerância às adversidades (Tabela 2). Recomenda-se, portanto, conhecer as exigências de cada espécie ou variedade antes de decidir qual será plantada em cada local.

Tabela 2. Exigências de adaptação e tolerância das gramíneas e leguminosas forrageiras a alguns componentes ambientais abióticos.

Espécie	Relevo	Exigências mínimas			Tolerância	
		Profundidade do solo	Textura do solo	Proteção contra erosão	Sombreamento	Encharcamento
<i>Brachiaria decumbens</i>	Ondulado	Médio	Arenosa	Alta	Médio	Médio
<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Ondulado	Profundo	Arenosa	Alta	Médio	Baixo
<i>Brachiaria humidicola</i>	Montanhoso	Raso	Média	Alta	Médio	Alto
<i>Panicum maximum</i> cv. Colônia	Plano	Profundo	Arenosa	Baixa	Médio	Médio
<i>Pennisetum purpureum</i> (Elefante, Napier)	Plano	Profundo	Argilosa	Baixa	Baixo	Baixo
<i>Stylosanthes guianensis</i> cv. Mineirão	Plano	-	Arenosa	Baixa	Baixo	Baixo
<i>Calopogonium mucunoides</i>	-	Médio	Média	Média	Baixo	Médio
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Ondulado	-	Média	Média	Médio	Bom
<i>Leucaena leucocephala</i> (leucena)	Plano	Profundo	-	Baixa	Médio	Baixo
<i>Neonotina wightii</i> (soja perene)	Ondulado	Médio	Argilosa	Média	Médio	Baixo

Fonte: Adaptada de Alcântara et al. (1993), Dias-Filho & Carvalho (2000) e Rodrigues et al. (1993).

Recomendações para o Manejo da Fertilidade do Solo em Pastagens Plantadas

O sistema de manejo de pastagens no Estado do Acre é o pastejo rotacionado extensivo¹, com capacidade de suporte de aproximadamente 1,0 UA ha⁻¹ ano⁻¹, entretanto, o sistema de pastejo contínuo ainda predomina nas pequenas propriedades familiares. O sistema de pastejo rotacionado intensivo vem sendo utilizado de forma crescente nas grandes propriedades, elevando a capacidade de suporte das pastagens consorciadas com gramíneas e leguminosas para até 3 UA ha ano.

Manejo da Fertilidade do Solo para o Estabelecimento de Pastagens

Muito embora o estabelecimento das pastagens possa ser feito em área recém-desmatada, em áreas de capoeiras ou em sucessão a áreas utilizadas com lavouras, no Estado do Acre, dá-se quase que exclusivamente em áreas recém-desmatadas e, portanto, as outras formas de estabelecimento serão abordadas no item Reforma e Recuperação de Pastagens.

¹Pastejo contínuo com carga variável.

A oeste do vale do Rio Acre ocorrem solos eutróficos de alta CTC, com fertilidade natural elevada e grandes reservas, principalmente de potássio, cálcio e magnésio. Contudo, na região leste do Rio Acre, notadamente nos Latossolos, o estoque de nutrientes do sistema solo-planta em áreas florestadas concentra-se, principalmente, na vegetação e na serrapilheira.

Com a derrubada e queima da floresta, parte desses nutrientes transfere-se para os primeiros centímetros do solo por meio das cinzas e detritos vegetais. Outra parte é perdida via volatilização, lixiviação, escoamento superficial ou erosão causada pelo vento e água das chuvas.

Nutrientes como o nitrogênio e o enxofre, que sofrem volatilização intensa durante a queima, são rapidamente perdidos para a atmosfera. O fósforo e potássio podem ser perdidos principalmente por erosão e lixiviação, respectivamente, embora também sejam suscetíveis a perdas por volatilização, durante a queima (principalmente o fósforo). As perdas de cálcio e magnésio tendem a ser menores, porém, em alguns casos, não menos importantes (capítulo 5).

Para um manejo racional das pastagens, torna-se fundamental compreender esses conceitos, visto que a conservação dos nutrientes adicionados ao solo após o preparo da área será proporcional à velocidade de cobertura desse solo pela pastagem.

Assim, pode-se dizer que a capacidade produtiva e a longevidade das pastagens implantadas serão determinadas, entre outros fatores, pelo estoque de nutrientes que possa ser transferido do compartimento biomassa vegetal da floresta para os compartimentos solo-planta no ecossistema de pastagens cultivadas. Isso significa que, nesse tipo de estabelecimento de pastagens, em sua fase de implantação, não é necessária a fertilização mineral ou a correção do solo, mas somente a adoção de técnicas de manejo que contribuam para minimizar as saídas (perdas) de nutrientes.

Assim, técnicas de manejo voltadas para o controle da erosão hídrica ganham maior relevância. Nesse sentido, duas tecnologias podem ser recomendadas:

- a) Promoção de uma rápida cobertura do solo na fase de formação da pastagem.
- b) Construção de terraços para disciplinar o escoamento superficial das águas das chuvas.

A tecnologia recomendada para minimizar a erosão durante a fase de formação da pastagem está na promoção de uma rápida cobertura do solo pelas forrageiras semeadas. Para isso é essencial o uso de sementes de qualidade na quantidade adequada para assegurar uma boa formação das pastagens.

A incorporação no solo dos nutrientes oriundos da biomassa florestal via processos biológicos, notadamente pelas raízes, e sua distribuição no perfil pelo desenvolvimento do sistema radicular e da

atividade dos macro e microorganismos têm grande importância na promoção de um rápido desenvolvimento da pastagem.

Esse processo é particularmente importante para as gramíneas, que possuem raízes do tipo fasciculado, com amplo desenvolvimento lateral e em profundidade. O sistema radicular das gramíneas forrageiras e a alta mobilidade de muitos nutrientes na planta possibilitam essa distribuição no perfil do solo. Como a renovação das raízes nas gramíneas forrageiras é intensa, a morte dessas raízes proporcionará a liberação dos nutrientes para o solo, porém, com melhor distribuição do que ocorreria com plantio de espécies agrícolas ou florestais.

A rápida cobertura do solo, portanto, constitui uma forma eficiente de conservar o potencial produtivo dos solos recém-desmatados por um período mais longo de tempo.

A prática normalmente adotada para a formação das pastagens consiste em duas etapas: no primeiro ano faz-se a queima da vegetação original e a semeadura do capim (ou mistura de capins) e da leguminosa e, na segunda etapa, nova queima após as primeiras chuvas (segundo ano) com o propósito de favorecer a germinação da sementeira produzida pela gramínea (ou mistura das gramíneas) e pela leguminosa no primeiro ano. Essa segunda queima é uma prática desaconselhável sob o ponto de vista de conservação dos nutrientes, pois torna a expor o solo aos agentes erosivos num período (2º ano do

plântio) em que a própria vegetação já estaria contribuindo para controlar esses processos de perda. Essa prática, embora possa parecer vantajosa a princípio, por permitir uma rebrota mais vigorosa, conduz o sistema a um esgotamento mais rápido de sua fertilidade, o que pode ser crítico para a longevidade das pastagens nos solos de menor CTC do Estado.

A melhor formação das pastagens consegue-se, portanto, com investimento na aquisição de sementes de boa qualidade e na semeadura de maior densidade de sementes por área.

Esse investimento é compensado por pastagens bem formadas e de melhor estado nutricional, o que resulta no aumento da capacidade de suporte e, também, em maior ganho de peso dos animais.

A possibilidade de aumentar o prazo necessário para a reforma da pastagem ou mesmo de diminuir a necessidade de fertilizantes minerais para sua recuperação traz também um ganho econômico expressivo, pois mesmo considerando que o custo de formação de pastagens com a aquisição de sementes de alto poder germinativo e de melhor qualidade seja duplicado, poderá ser vantajoso se contribuir para minimizar a necessidade de adubação nas etapas seguintes de manutenção e recuperação, já que a formação mais rápida e uniforme da pastagem contribuirá para uma incorporação também mais rápida dos nutrientes na biomassa dos capins.

Outra tecnologia possível consiste na construção de terraços para disciplinar o escoamento superficial das águas das chuvas. Esses terraços, dependendo do tipo de solo, podem ser em nível ou desnível e contribuir para minimizar os processos erosivos, notadamente se for adotado algum sistema de integração lavoura-pecuária.

A análise de solo não é essencial nessa etapa, embora possa ser útil, principalmente para verificar os níveis de disponibilidade de fósforo e o valor atual da saturação de bases.

Recomenda-se também atenção para o aspecto da cobertura florestal anterior. Tratando-se de área com domínio de tabocas (bambus) ou de uma cobertura florestal pouco densa, sugere-se utilizar espécies com baixo a médio grau de exigência quanto à fertilidade de solo e, nesse caso, maior atenção quanto à análise de solos.

Tendo em vista que grande parte dos solos do Acre apresenta problemas de drenagem da água das chuvas, seja pela presença de argilas de alta atividade ou de plintita nos horizontes subsuperficiais, é essencial que na escolha das espécies forrageiras a serem utilizadas seja considerada a sua adaptação ao encharcamento do solo.

Manejo da Fertilidade do Solo para a Manutenção da Produtividade de Pastagens

Nessa etapa, a adoção de técnicas de manejo da fertilidade do solo é de grande importância para manter a produtividade das pastagens ao longo do tempo, evitando sua degradação e, com isso, eventuais investimentos para a reforma ou recuperação dessas áreas.

A adubação de manutenção das pastagens deve ser planejada de forma a manter o nível de nutrientes em quantidades suficientes no sistema solo-planta. Os principais nutrientes para a produtividade da pastagem são o nitrogênio, o fósforo e o potássio, podendo-se requerer outros em função de condições específicas.

Na prática, a recomendação da adubação de manutenção de forrageiras baseia-se na análise do solo e do grau de exigência das espécies cultivadas.

Uma possibilidade para o refinamento dessa recomendação está no uso da análise foliar das forrageiras, que se feita com base em sistemas de interpretação como o DRIS², pode contribuir para a

²Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação.

determinação da ordem de requerimento dos nutrientes pela forrageira (capítulo 9), proporcionando formulações mais balanceadas e com maior probabilidade de aumentar a capacidade de suporte das pastagens. Isso é particularmente importante para o nitrogênio e o fósforo, dois dos nutrientes mais limitantes para a produtividade das gramíneas forrageiras. Dependendo da situação e disponibilidade em cada sistema, um ou outro será o mais limitante. Nesse caso, somente por meio da diagnose foliar será possível identificar qual deverá ser aplicado prioritariamente.

Finalmente, deve-se considerar a utilização do consórcio com leguminosas forrageiras, principalmente com o intuito de manter elevadas capacidades de suporte e substituir a adubação nitrogenada mineral.

A utilização de leguminosas forrageiras na pastagem contribui para reduzir a necessidade de fertilizantes nitrogenados, sem afetar a capacidade de suporte da pastagem e aumentando, dependendo da leguminosa escolhida, o seu valor protéico. Se o uso das leguminosas for feito com o acompanhamento da diagnose foliar será possível, inclusive, determinar que medidas de manejo podem ser implantadas, como aumentar a proporção de leguminosas no consórcio e realizar fertilização nitrogenada complementar ou à base de fertilizantes fosfatados ou potássicos.

Assim, os investimentos em fertilização podem ser mais bem concentrados naqueles nutrientes que apresentarem maior grau de probabilidade de resposta, possibilitando melhor taxa de retorno econômico, o que será importante, principalmente para aquelas espécies de forrageiras de maior grau de exigência.

No entanto, é possível que o consórcio de leguminosas e gramíneas apresente problemas de persistência da leguminosa na pastagem, os quais podem ser atenuados com o manejo ou utilização da leguminosa em plantios em faixas, como banco de proteína. Quando esse plantio é feito em faixas, o estabelecimento mais lento da leguminosa não é tão limitante se a pastagem for vedada para uso na época menos chuvosa ou no ano agrícola seguinte.

Espera-se que pastagens bem manejadas, com gramíneas consorciadas a leguminosas, tenham maior vida útil e sejam mais produtivas, principalmente devido à contribuição do nitrogênio fixado pelas bactérias simbióticas diazotróficas, associadas à leguminosa.

Manejo da Fertilidade do Solo para a Recuperação de Pastagens Degradadas

A recuperação de pastagens degradadas normalmente exige mais investimentos e a margem de lucro é significativamente menor que no caso dos investimentos em fertilização para a manutenção das pastagens. Portanto, devem ser

tomados todos os cuidados necessários para evitar a degradação das pastagens e, uma vez observados os primeiros sinais ou sintomas de degradação, devem-se adotar medidas emergenciais para a sua recuperação. A decisão sobre qual procedimento será adotado dependerá do estágio de degradação em que se encontra a pastagem³.

A degradação pode ser constatada com a redução na produção de biomassa da forragem, mesmo em épocas favoráveis ao crescimento. Segundo esse critério, podem-se definir seis estágios que caracterizaram a degradação da pastagem em virtude da diminuição na produtividade potencial, dada as condições a que a forrageira está submetida (Tabela 3).

O procedimento mais comum para a recuperação das pastagens é a mecanização da área, por meio de grade aradora ou arado de discos e grades niveladoras. Esse método é especialmente indicado quando a infestação por plantas invasoras estiver avançada.

Nesse caso, a incorporação dessas plantas ao solo poderá contribuir para aumentar o teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, a fertilidade do solo. Não se recomenda o uso do fogo, já que este poderá aumentar ainda mais as perdas de nutrientes, principalmente de nitrogênio, que pode ser baixo em áreas de pastagens degradadas.

³Uma revisão completa sobre os processos, causas e estratégias de recuperação de pastagens degradadas pode ser encontrada em Dias-Filho (2003).

Dependendo da fertilidade do solo, não se recomendará a adubação mineral, porém, essa situação é rara e ocorre somente quando a degradação da pastagem não ocasiona exposição acentuada do solo, provocando perda da sua fertilidade por erosão, lixiviação, etc., ou se a degradação resulta de fatores não relacionados à fertilidade do solo, como é o caso das pastagens degradadas em decorrência da síndrome da morte de pastagens em solos férteis do Estado.

À exceção dos casos de morte de pastagens, geralmente, áreas degradadas, com cobertura vegetal abundante, teriam solos mais férteis do que áreas com pouca ou sem cobertura vegetal.

Na grande maioria dos casos a recuperação das pastagens implica na necessidade de fertilizantes minerais para recompor a fertilidade do solo. As doses e quantidades necessárias devem ser ajustadas com base na análise de solo, no grau de exigência da forrageira e no capital disponível para a expansão do rebanho (devido ao aumento na produção de forragem, após a adubação).

Tabela 3. Estádios de degradação de pastagens conforme parâmetros restritivos e nível de deterioração.

Estágio de degradação	Parâmetros restritivos	Deterioração	
		Declínio na produtividade (%)	Grau
1	Vigor e qualidade	< 25	Leve
2	1 + pequena população de plantas	25-50	Moderado
3	1 + 2 + invasoras	50-75	Forte
4	1 + 2 + 3 + formigas e cupins	> 75	Muito forte
5	1 + 2 + 3 + 4 + fraca cobertura do solo	> 75	Muito forte
6	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + erosão	> 75	Muito forte

Fonte: Spain & Gualdrón (1991).

A alternativa mais rentável para a recuperação de pastagens é utilizar rotação com cultivos agrícolas. Na rotação, o plantio da pastagem deve ser precedido por uma safra de milho (ou outra gramínea exigente em fertilidade do solo), seguida ou não por uma safra de leguminosa de grãos (sendo a soja a cultura mais indicada). Os cultivos anteriores ao plantio da pastagem devem ser fertilizados para atender às exigências nutricionais de cada cultura, sendo a adubação residual suficiente para sustentar a recuperação inicial da pastagem, principalmente naqueles solos com maiores reservas de cálcio, magnésio e potássio. Em algumas situações, no entanto, adubações de manutenção deverão ser efetuadas.

O plantio de milho ou soja sem adubação deve ser desestimulado, pois, neste caso, essas culturas terão baixa produtividade, além de contribuir ainda mais para o esgotamento das reservas de nutrientes do solo. Se adubados corretamente, atingirão produtividades econômicas e proporcionarão uma excelente adubação residual para a implantação da pastagem.

Uma limitação nesse sistema é que normalmente as exigências de correção do solo para as lavouras são muito superiores as da pastagem, e como a calagem tem um efeito residual a longo prazo, seu investimento para proporcionar uma produtividade econômica na lavoura poderá não ser amortizado no primeiro ano.

Isso significa que se a lavoura exigir uma correção do solo pesada para atingir sua produtividade econômica, então esse sistema é desaconselhável porque a calagem tende a apresentar um efeito residual muito tênue para a formação das pastagens e seu custo dificilmente será amortizado com apenas um ano ou uma safra agrícola.

A associação agricultura–pecuária também é uma alternativa na recuperação das pastagens, tanto em função da sustentabilidade do sistema como pelo fator econômico. O arroz, milho, sorgo ou milheto pode ser semeado simultaneamente com a pastagem que aproveita o adubo residual deixado pela cultura. Conclui-se a renovação da pastagem com a realização da colheita da cultura principal.

Outro aspecto da viabilidade do plantio de culturas produtoras de grãos na reforma da pastagem está condicionado à disponibilidade de mão-de-obra ou de máquinas agrícolas para o plantio e colheita, além de mercado para comercialização dos grãos produzidos, o que em muitas situações do Estado do Acre ainda hoje é limitante.

Pastagens de Gramíneas Consorciadas com Leguminosas

Uma alternativa importante para a recuperação de áreas de pastagens degradadas consiste na introdução do consórcio com leguminosas forrageiras. Entretanto, é uma tecnologia que se aplica apenas a propriedades com nível tecnológico de médio a alto, podendo ser recomendada para pequenos, médios e grandes produtores.

Os benefícios das leguminosas forrageiras são vários: contribuem para o aumento da entrada de nitrogênio no sistema solo-planta, via fixação biológica, o que proporciona uma pastagem com maior valor nutritivo para o gado; extraem maiores quantidades de cálcio e de magnésio do solo e, portanto, disponibilizam esses nutrientes em maior quantidade para os animais e aumentam as taxas de decomposição das raízes e da liteira na pastagem, incentivando, assim, a ciclagem de nutrientes, particularmente o fósforo.

Tudo isso resulta em pastagens com maior valor nutritivo e produtividade, proporcionando melhoria nos índices produtivos e reprodutivos dos animais em pastejo e na rentabilidade do empreendimento.

A introdução das leguminosas em consórcio reduz a possibilidade de degradação das pastagens. Num primeiro momento, o aporte de nitrogênio e a reciclagem de fósforo contribuem para o melhor desenvolvimento das gramíneas. As leguminosas contribuem, ainda, para a atividade da biomassa microbiana pela maior disponibilidade de nitrogênio, o que se traduzirá em melhoria das condições físicas e químicas do solo.

Além de todas essas vantagens diretas no aumento da produtividade da pastagem e na melhoria da dieta dos animais em pastejo, a manutenção de leguminosas nas pastagens reduz a necessidade de adubação nitrogenada, o que representa uma economia indireta para o empreendimento.

Com a utilização de leguminosas forrageiras em consórcio, recomenda-se que a adubação seja baseada na espécie mais exigente em relação a cada nutriente, de forma a otimizar os fatores nutricionais e aproveitar as condições de clima.

Existem diversas possibilidades de uso de leguminosas após tratamento físico-mecânico. Elas podem ser plantadas, além do consórcio com as gramíneas, e utilizadas também para uso na época menos chuvosa, como banco de proteína, em que depois de certo tempo a área é plantada com gramíneas e o banco é usado para recuperar uma nova pastagem degradada. Podem-se cultivá-las com posterior incorporação como adubo verde e plantio de gramíneas ou utilizá-las em sistemas

silvipastoris. As principais leguminosas forrageiras recomendadas para o Estado seriam *Arachis pintoii* (amendoim forrageiro) e a *Pueraria phaseoloides* (puerária), entretanto existem outras como *Stylosanthes*, Guandu (*Cajanus cajan*) e soja perene (*Neotonia wigtii*).

Sistemas Silvipastoris

O plantio de árvores na recuperação de pastagens é uma alternativa que pode também ser utilizada visando à diversificação da produção e ao aumento da biodiversidade.

As árvores melhoram as condições químicas do solo, por meio da queda das folhas, e a mineralização da matéria orgânica, aumentando a disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, o crescimento e valor nutritivo do pasto no sub-bosque. Essas vantagens são maiores quando se trata de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio atmosférico.

O efeito benéfico das árvores se manifesta mais intensamente sobre a concentração de nitrogênio na forragem do que sobre a produção de matéria seca, indicando haver maior disponibilidade desse elemento para as plantas. Esse efeito pode ser visualmente observado em algumas épocas do ano, como nos períodos de estiagem, quando as forrageiras que crescem sob árvores apresentam-se mais verdes que aquelas fora da influência da copa. Isso ocorre devido ao efeito direto do sombreamento das árvores no aumento da atividade dos organismos do solo.

A desvantagem desse sistema pode estar na diminuição da área de cobertura do solo com a forrageira em função da competitividade das árvores por luminosidade direta, porém, esse fator pode ser menos importante se o plantio das árvores for planejado de forma a aumentar o controle da erosão em áreas sujeitas à formação de voçorocas.

A escolha das espécies arbóreas a serem plantadas depende do objetivo a ser alcançado. Leguminosas arbóreas contribuem para uma recuperação mais rápida da pastagem e fornecem nitrogênio, principalmente quando se utilizam técnicas como a inoculação de micorrizas e/ou rizóbios. O uso de madeiras de alto valor comercial pode, em longo prazo, constituir também uma boa reserva econômica.

Para a recomendação de sistemas silvipastoris deve-se buscar, principalmente, a viabilidade econômica da introdução de árvores em pastagens, além dos aspectos inerentes ao pastejo dos animais no sub-bosque de áreas reflorestadas.

Referências Bibliográficas

ALCÂNTARA, P. B.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; DONZELLI, P. L. Zoneamento edafoclimático de plantas forrageiras In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2., 1993, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal, SP: FUNEP, 1993. p. 1-16.

BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; GERALDES, A. P. de A.; FERNANDES, S. A. P. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronossequência de floresta tropical - pastagem de Paragominas. Piracicaba: **Scientia Agricola**, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1999.

CARVALHO, M. M.; FREITAS, V. D. P.; XAVIER, D. F. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 717-722, 2002.

DIAS-FILHO, M. B. & CARVALHO, C. J. R. de. Physiological and morphological responses of *Brachiaria* spp. to flooding. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 35, n. 10, p. 1959-1966, 2000.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens**. Processos, causas e estratégias de recuperação. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 152 p.

DIAS-FILHO, M. B. Growth and biomass allocation of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 35, n. 12, p. 2335-2341, 2000.

DIAS-FILHO, M. B. Photosynthetic response of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. Piracicaba: **Scientia Agricola**. v. 59, n. 1, p. 65-68, 2002.

DIAS-FILHO, M. B.; DAVIDSON, E. A.; DE CARVALHO, C. J. R. Linking biogeochemical cycles to cattle pasture management and sustainability in the Amazon basin. In: McCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. (Eds.). **The Biogeochemistry of the Amazon Basin**. New York: Oxford University Press, 2001. p. 84-105.

PICCOLO, M. C.; NEILL, C.; CERRI, C. C. Net nitrogen mineralization and net nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. **Plant and Soil**, v. 162, n. 1, p. 61-70, 1994.

RODRIGUES, T. J. D.; RODRIGUES, L. R. A.; REIS, R. A. Adaptação de plantas forrageiras às condições adversas. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2., 1993, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal, SP: FUNEP, 1993. p. 17-61.

SPAIN, J. M.; GUALDRÓN, R. Degradación y rehabilitación de pasturas In: LASCANO, C. E.; SPAIN, J. M. (Eds.). **Establecimiento y renovación de pasturas**. CIAT, Cali: 1991. p. 269-283.

VALENTIM, J. F.; SÁ, C. P. de; GOMES, F. C. da R.; SANTOS, J. C. dos. **Tendências da pecuária bovina no Acre entre 1970 e 2000**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2002, 30 p. (Embrapa Acre. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 38).

VALENTIM, J. F.; CARNEIRO, J da C. **Redução dos impactos ambientais da pecuária de corte no Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 1999. (Embrapa Acre. Impactos 99).

VALENTIM, J. F.; AMARAL, E. F. do; MELO, A. W. F de. **Zoneamento de risco edáfico atual e potencial de morte de pastagens de *Brachiaria brizantha* no Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2000, 26 p. (Embrapa Acre. Boletim de Pesquisa, 29).

VALENTIM, J. F. Effect of environmental factors and management practices on nitrogen fixation of rhizoma peanut and transfer of nitrogen from the legume to an associated grass. Flórida: Universidade da Flórida, 1987. 125 p. Dissertação de Doutorado.

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G. de; MACEDO, M. C. M. Calagem e adubação para pastagens na região do Cerrado. 2^a.ed. rev. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2000. 15 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 37).

Capítulo 17

Recomendação de Adubação para as Principais Culturas

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Introdução

As recomendações de adubação foram agrupadas por tipo de cultura, sendo realizadas para aquelas com potencial agrícola destinadas ao cultivo comercial no Estado do Acre.

Além das informações obtidas por meio de experimentação e ensaios regionais, necessárias para equacionar a recomendação de adubação e correção do solo, informações como composição química, produtividade das lavouras e exportação de nutrientes também são úteis.

Contudo, para as condições edafoclimáticas do Estado do Acre, não existem até o momento informações dessa natureza; portanto, foi necessário adaptar informações obtidas de outras regiões para elaborar as recomendações que se seguem.

Embora sabendo que não é o ideal, procurou-se adotar procedimentos técnicos com o objetivo de tornar as recomendações mais confiáveis. Entre esses, certamente o principal procedimento foi realizar, para culturas de maior valor agregado ou com maior potencial para seu desenvolvimento em grande escala, a integração entre a diagnose foliar e a análise de solos. Para outros grupos de cultura, as recomendações de adubação foram realizadas sem considerar a diagnose foliar.

Nesse sentido, o Estado do Acre está sendo o primeiro estado brasileiro a possuir tabelas de recomendação de adubação integrando a análise de solos e a diagnose foliar, muito embora, o método empregado seja recomendado oficialmente pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (Ribeiro et al., 1999).

A introdução da diagnose foliar no processo de recomendação de adubação vem antecipar uma demanda já verificada nos estados com maior tradição agrícola, porém, por razões diversas ainda não tem sido utilizada de forma oficial.

Entre os métodos disponíveis, optou-se pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), visto sua grande aceitação no meio produtivo, existindo inclusive disponibilidade de vários softwares capazes de organizar os dados de monitoramento nutricional e gerar as normas e os índices DRIS, necessários para a utilização dessa ferramenta.

Uma das grandes limitações na adoção do DRIS era a ausência de critérios para interpretação dos seus índices, o que foi sanado pela Comissão de Fertilidade do Solo de Minas Gerais, que adotou o método do Potencial de Resposta à Adubação.

Esse método classifica o estado nutricional das plantas em cinco categorias distintas, em relação a cada nutriente que tenha sido avaliado no processo de diagnose (Tabela 1).

Tabela 1. Significado do potencial de resposta à adubação em relação à interpretação dos valores dos índices DRIS obtidos da diagnose foliar de plantas.

Potencial de resposta à adubação	Significado
Muito alto	A planta apresenta alta probabilidade de aumentar a produtividade se for aumentada a dose do nutriente analisado na adubação. O nutriente avaliado é altamente insuficiente
Alto	A planta apresenta média probabilidade de aumentar a produtividade se for aumentada a dose do nutriente analisado na adubação. O nutriente avaliado <u>pode estar</u> insuficiente
Nulo	O nutriente avaliado está equilibrado e qualquer aumento na dosagem apresenta probabilidade nula de proporcionar aumentos da produtividade
Baixo	A planta apresenta média probabilidade de diminuir a produtividade se for aumentada a dose do nutriente analisado na adubação. O nutriente avaliado <u>pode estar</u> excessivo
Muito baixo	A planta apresenta alta probabilidade de diminuir a produtividade se for aumentada a dose do nutriente analisado na adubação. O nutriente avaliado é altamente excessivo

Assim, a recomendação de nutrientes para algumas culturas será variável em função da produtividade esperada e da disponibilidade do nutriente no solo, como agora também em função do estado nutricional das plantas.

Nos casos em que não há informação disponível sobre o estado nutricional da planta, as mesmas tabelas poderão ser utilizadas, adotando-se o potencial de resposta nulo como referência na definição da necessidade de adubos.

A utilidade do método do Potencial de Resposta à Adubação não se limita às alternativas apresentadas neste capítulo, sendo mais ampla e, inclusive, aplicada a outros nutrientes além daqueles indicados em cada cultura. Entretanto, isso foge do objetivo deste capítulo, que é apresentar um conjunto básico de recomendações visando manter a produtividade econômica e biológica das lavouras comerciais.

Grãos (Cereais, Leguminosas e Oleaginosas)

Cereais e leguminosas destacam-se como importante fonte de carboidratos, óleos e proteínas para a alimentação humana e animal.

O cultivo dessas plantas é responsável pela maior parte do consumo de fertilizantes em todo o mundo e certamente não será diferente com o desenvolvimento da agricultura no sudoeste da Amazônia.

Em geral, os cereais são altamente exigentes em fósforo, nitrogênio e potássio, apresentando este último elevada reciclagem, o que determina sua menor exportação. São normalmente exigentes em zinco (principalmente o arroz e o milho) e apresentam tolerância variável à acidez do solo, sendo o arroz altamente tolerante, enquanto o milho, por exemplo, apresenta comportamento dependente de características varietais.

Recomenda-se o plantio em rotação de cereais com leguminosas de grãos, já que os cereais tendem a aproveitar o nitrogênio fixado pelas leguminosas e não exportado, enquanto elas aproveitam-se do potássio reciclado.

Entre as leguminosas, destaca-se a soja, pela boa adaptação a solos de baixa fertilidade natural, quando devidamente corrigidos para a acidez. As leguminosas são exigentes em molibdênio, importante para a simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio.

Os cereais em geral são culturas que exigem elevado nível de especialização e de racionalização do uso de insumos para serem economicamente competitivos. Assim, embora sejam bastante cultivados em pequena escala, a melhor rentabilidade é obtida em cultivos de larga escala, como é o caso do arroz, milho, milho safrinha e soja.

Algumas culturas, entretanto, pelo diferencial no valor do produto, são também adequadas para produção em pequena escala (amendoim, milho doce e verde, milho pipoca, feijão).

Amendoim (*Arachis hypogaea*)

Informações Gerais

O amendoim é uma planta que se desenvolve bem e produz melhor em regiões quentes, com temperatura próxima a 30°C. Em temperaturas acima de 35°C pode haver prejuízo para o seu florescimento.

Em relação ao regime hídrico, precipitações entre 450 a 700 mm durante o ciclo total da cultura normalmente são suficientes para atender as suas necessidades, sendo importante que haja boa precipitação principalmente no período do florescimento e formação dos frutos.

O amendoim é uma planta exigente em solos bem drenados, bem aerados e que proporcionem uma fácil penetração dos “esporões”. Solos encharcados inibem o desenvolvimento da planta e a germinação das sementes.

De modo geral, o amendoim é considerado como pouco responsivo à adubação e exigente quanto à correção do solo. Se cultivado em sucessão a culturas bem adubadas, a adubação mineral pode ser dispensada.

A adubação deve ser feita na semente e no sulco de plantio. A adubação na semente deve consistir da inoculação com bactérias diazotróficas mais adição de molibdato de amônio, na proporção de 100 g do produto para cada 120 kg de semente, a ser aplicado numa área equivalente a 1 ha. Os

demais adubos de plantio, quando necessários, devem ser feitos no sulco.

Deve-se preferir a utilização de fertilizantes contendo enxofre, necessário na dose de aproximadamente 20 kg ha⁻¹. A calagem, quando indicada (Tabela 2), deve ser feita com antecedência mínima de 75 dias da data de plantio.

O espaçamento de plantio mais indicado é 0,60 m entre as linhas, com 15 a 20 plantas por metro linear de sulco (densidade de aproximadamente 100.000 plantas ha⁻¹). A produtividade esperada deve variar, normalmente, entre 1.500 e 3.000 kg ha⁻¹.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados na Tabela 2.

Tabela 2. Saturação de bases indicada na cultura do amendoim.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
60%	50%	40%

Adubação de Plantio

Deve ser realizada no sulco de plantio, conforme quantidades indicadas (Tabela 3).

Tabela 3. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura do amendoim.

Produtividade esperada kg ha ⁻¹	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação com P₂O₅ – kg ha⁻¹			
< 1.500	40	20	0
1.500 a 3.000	60	40	10
≥ 3.000	80	50	20
Adubação com K₂O – kg ha⁻¹			
< 1.500	20	0	0
1.500 a 3.000	30	20	10
> 3.000	40	30	20

Arroz (*Oriza sativa* L.)

Informações Gerais

O arroz pode ser cultivado em sistema de sequeiro (arroz de terras altas), várzeas inundadas ou em sistema de várzea sistematizada. É bastante tolerante a altas temperaturas, exigente em precipitação (aproximadamente 200 mm por mês, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura) e pouco exigente quanto às condições físicas ou químicas do solo. As recomendações foram feitas para o sistema de plantio em sequeiro.

Em geral, tolera bem solos ácidos, sendo especialmente exigente em zinco, cuja adubação deve ser feita com base no estado nutricional da planta (na falta de informação, adotar o potencial de resposta à adubação “nulo” para determinar a dosagem de zinco a ser aplicada) e na disponibilidade desse nutriente no solo. Alguns estudos indicam que o arroz é responsivo ao silício.

A população ideal de plantas por unidade de área é determinada por vários fatores, como características fenotípicas da planta, preparo do solo, época de semeadura, fertilidade do solo e cobertura das sementes. Recomenda-se espaçamento entrelinhas de 40 a 60 cm para cultivares de porte baixo e de 50 a 70 cm para cultivares de maior porte. A densidade de sementes deve ser de 60 a 70 por metro linear, para cultivares de menor porte, e de 50 a 60 por metro linear para cultivares de porte

maior. Em cultivo manual, pode-se usar de 40 a 80 cm entrelinhas, com 8 a 10 sementes por cova, espaçadas entre si em 15 cm. A produtividade econômica deve ser de 3.000 kg ha⁻¹.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 4), desde que a quantidade aplicada não ultrapasse a dose de 3 Mg ha⁻¹, pois o excesso de calagem poderá diminuir a disponibilidade de zinco.

Tabela 4. Saturação de bases indicada na cultura do arroz.

Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Tipo de solo	
	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
50%	40%	40%

Adubação de Plantio

A adubação de plantio deve ser feita em sulco 5 cm ao lado e abaixo da semente, utilizando-se fertilizante contendo enxofre.

As quantidades de nitrogênio, fósforo, potássio e zinco, no sulco de plantio, devem ser ajustadas segundo a disponibilidade de nutrientes no solo e a produtividade da cultura (Tabela 5).

A adubação com enxofre deve ser de 10 kg ha⁻¹ para produtividades de arroz beneficiado menores que 2.500 kg ha⁻¹ e de 20 kg ha⁻¹ para maiores produtividades.

Tabela 5. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura do arroz.

Produtividade esperada kg ha ⁻¹	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação com N – kg ha⁻¹			
< 2.500	5	0	0
≥ 2.500	15	10	5
Adubação com P₂O₅ – kg ha⁻¹			
< 2.500	50	15	5
≥ 2.500	70	25	15
Adubação com K₂O – kg ha⁻¹			
< 2.500	45	25	5
≥ 2.500	55	35	15
Adubação com Zn – kg ha⁻¹			
< 2.500	2,5	1,5	0,5
≥ 2.500	3,5	2,5	1,5

Adubação de Cobertura

A adubação em cobertura com nitrogênio deve variar em função da exportação desse elemento, podendo ser feita de 30 a 40 dias após a emergência das plantas, ou na fase de início da diferenciação da panícula. Para produtividades menores e maiores que 2.500 kg ha⁻¹, aplicar 30 e 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio, respectivamente.

Feijão (*Phaseolus vulgaris*)

Informações Gerais

O feijão é um dos alimentos básicos da população brasileira, sendo uma importante fonte de proteína para a alimentação humana. É uma planta pouco tolerante ao excesso de água, bem como à deficiência hídrica, necessitando de cerca de 100 mm de chuva mensais, durante seu ciclo de desenvolvimento. Apresenta ainda baixa adaptação a temperaturas médias, sendo mais indicadas temperaturas diárias de 21°C.

Embora seu plantio possa ser feito em duas épocas do ano (período das águas e das secas), no Estado do Acre, somente é possível cultivá-lo com relativo sucesso no período das secas (safrinha). Quando há redução da precipitação pluviométrica ou irregularidade das chuvas, ocorre queda na produtividade e até perda de plantio.

Normalmente, apresenta baixas produtividades relacionadas a problemas de ordem sanitária, sendo muito susceptível a diversas doenças e pragas, principalmente no que se refere à mela-do-feijoeiro. O clima quente e úmido da Região Amazônica concorre para favorecer essa doença.

Além de ser indicado para solos bem drenados, é exigente em calagem e fósforo. Embora apresente potencial para simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, as cultivares comerciais em uso são pouco eficientes nesse aspecto, o que determina a

necessidade de adubação nitrogenada em cobertura.

O espaçamento recomendado entrelinhas é de 0,4 a 0,6 m, com 10 a 15 plantas por metro, para uma densidade de 167.000 a 375.000 plantas ha⁻¹.

Embora seja difícil, devem-se buscar produtividades da ordem de 2.500 kg ha⁻¹.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 6).

Tabela 6. Saturação de bases indicada na cultura do feijão.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
60%	50%	40%

Adubação de Plantio

Aplicar com as sementes a proporção de 100 g de inoculante por ha⁻¹, misturado com 120 g de molibdato de amônio por ha⁻¹. No sulco de plantio, a adubação deverá ser feita conforme disponibilidade no solo e produtividade esperada (Tabela 7), dando-se preferência à aplicação de fontes de adubo contendo enxofre em sua composição, na proporção de 20 e 30 kg ha⁻¹, respectivamente para lavouras de menor e maior produtividade (acima de 2.000 kg ha⁻¹).

Se a quantidade de potássio recomendada ultrapassar 50 kg ha⁻¹, deve-se fazer a divisão da dose, aplicando metade no sulco de plantio e a outra metade com a adubação nitrogenada de cobertura.

Tabela 7. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura do feijão.

Produtividade esperada kg ha ⁻¹	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação com P₂O₅ – kg ha⁻¹			
< 1.000	40	20	0
1.000 a 1.500	50	30	10
1.500 a 2.500	60	40	20
2.500 a 3.500	70	50	30
3.500 a 4.500	80	55	35
≥ 4.500	90	60	40
Adubação com K₂O – kg ha⁻¹			
< 1.000	30	10	0
1.000 a 1.500	40	20	0
1.500 a 2.500	50	30	10
2.500 a 3.500	60	40	20
3.500 a 4.500	70	50	30
≥ 4.500	80	60	40
Adubação com Zn – kg ha⁻¹			
≥ 1.000	3	2	0
Adubação com B – kg ha⁻¹			
≥ 1.000	1	0	0

Adubação de Cobertura

A adubação de cobertura deve ser realizada entre 15 e 30 dias (uma dosagem) ou aos 20 e 40 dias após a emergência, quando for feito o parcelamento em duas aplicações (Tabela 8).

Tabela 8. Doses recomendadas para a adubação de cobertura na cultura do feijão.

Produtividade esperada kg ha ⁻¹	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação com N – kg ha ⁻¹		
< 1.000	40	20	0
1.000 a	50	30	10
1.500			
1.500 a	60	40	20
2.500			
2.500 a	70	50	30
3.500			
3.500 a	80	60	40
4.500			
≥ 4.500	90	70	50

Milho (*Zea mays*)

O milho está entre as mais importantes fontes de carboidratos para o consumo animal, sendo amplamente cultivado em diversas regiões do País. Pode-se cultivá-lo em diversos períodos do ano (safra ou safrinha) para a produção de grãos ou silagem destinada à alimentação animal ou ainda para a produção de milho verde. Entretanto, seu potencial produtivo manifesta-se plenamente quando cultivado em épocas que permitem uma boa precipitação nos períodos mais críticos da cultura (emergência, floração e enchimento dos grãos).

A cultura do milho é pouco tolerante a solos encharcados ou mal drenados, apresenta de baixa a alta tolerância à acidez do solo e à baixa fertilidade, dependendo do material utilizado.

Normalmente, é bastante exigente em nitrogênio, fósforo, potássio e zinco. Na produção de grãos a ciclagem de potássio é alta, o que concorre para diminuir as exigências com sua adubação. Contudo, quando o cultivo é feito para a produção de silagem, devem-se aumentar as doses de potássio na adubação, já que as quantidades exportadas serão muito maiores.

A cultura do milho comporta-se bem quando em rotação com outras culturas, principalmente leguminosas (feijão ou soja), por causa da excelente habilidade em aproveitar o nitrogênio contido nos restos de cultura do cultivo anterior.

O período preferencial de plantio é setembro a novembro (safra principal), podendo, entretanto, ser plantado também de dezembro a abril (safrinha), porém, nesse caso, haverá redução na produtividade, recomendando-se, assim, menores investimentos em adubação.

Grande parte do material disponível é recomendada para população de 45.000 a 60.000 plantas ha^{-1} . O estande ideal para a produção de grãos na safra principal, entretanto, varia com o porte da planta, tipo de folhas e ciclo. Normalmente, recomenda-se o plantio com espaçamento de 0,7 a 0,9 m entrelinhas, com quatro a cinco plantas por metro linear.

Para silagem, o espaçamento mais recomendado é de 0,9 a 1,0 m entrelinhas, com cinco plantas por metro linear. Para o milho safrinha, recomenda-se reduzir a população em 20% a 30%, para um estande de três a quatro plantas por metro linear no espaçamento de 0,8 m entrelinhas. Esse espaçamento também é recomendado para o milho pipoca, porém, com cinco plantas por metro. Para milho verde ou milho doce, 0,9 a 1,0 m entrelinhas, com cinco plantas por metro.

A produtividade para o cultivo de milho em grão na safra principal deve ser de 6.000 a 9.000 kg ha^{-1} , caso sejam utilizados materiais de boa qualidade e responsivos à adubação. Na safrinha, deve-se esperar uma redução de 50%, em relação à produtividade normal da safra.

Correção do Solo

A correção deve ser feita para elevar a saturação de bases do solo a valores mínimos indicados (Tabela 9), independente da época de plantio (safra ou safrinha) e tipo de produção (grãos, silagem, milho verde). Entretanto, devido às diferenças varietais e pelo fato de que muitas variedades com maior potencial de produção são pouco tolerantes à acidez do solo, o valor da saturação de bases deve ser definido em função do patamar de produtividade esperado. O teor mínimo de magnésio no solo deve ser de $0,5 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$.

Tabela 9. Saturação de bases indicada na cultura do milho.

Produtividade esperada kg ha^{-1}	Tipo de solo		
	Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < $10 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$	Demais solos com CTC > $10 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$
< 5.000	50%	45%	40%
≥ 5.000	60%	50%	40%

Adubação de Plantio

Sendo o milho uma planta muito responsiva, principalmente a nitrogênio, fósforo e zinco, recomenda-se fazer o monitoramento nutricional para culturas em grande escala, visando obter os melhores equilíbrios nutricionais, evitando-se adubações insuficientes ou excessivas. Por tratar-se de uma cultura de ciclo curto, o programa de monitoramento

deve prever o diagnóstico dos fatores nutricionais limitantes na safra anterior para correção na safra corrente.

As doses recomendadas de nitrogênio no plantio variam em função da disponibilidade no solo e da produtividade esperada (Tabela 10).

Tabela 10. Doses recomendadas para a adubação nitrogenada de plantio na cultura do milho.

Adubação de nitrogênio no plantio – N: kg ha ⁻¹			
Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
< 2.000	5	0	0
2.000 a 4.000	10	0	0
4.000 a 6.000	15	5	0
6.000 a 8.000	20	10	0
8.000 a 10.000	25	15	5
> 10.000	30	20	10

A adubação para fósforo, potássio e enxofre, no sulco de plantio, deve ser feita em relação à produtividade esperada, disponibilidade dos nutrientes no solo e do potencial de resposta à adubação (Tabelas 11, 12 e 13). A adubação de zinco deve ser ajustada conforme disponibilidade do solo e potencial de resposta à adubação (Tabela 14).

Os adubos devem ser aplicados no sulco de plantio, 5 cm ao lado e abaixo das sementes.

Tabela 11. Doses recomendadas para a adubação fosfatada de plantio na cultura do milho.

Adubação de fósforo no plantio – P ₂ O ₅ : kg ha ⁻¹				
Potencial de resposta ao fósforo	Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de P no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 2.000	50	40	30
	2.000 a 4.000	60	50	40
	4.000 a 6.000	70	60	50
	6.000 a 8.000	80	70	60
	8.000 a 10.000	90	80	70
	> 10.000	100	90	80
Alto	< 2.000	40	30	20
	2.000 a 4.000	50	40	30
	4.000 a 6.000	60	50	40
	6.000 a 8.000	70	60	50
	8.000 a 10.000	80	70	60
	> 10.000	90	80	70
Nulo	< 2.000	30	20	10
	2.000 a 4.000	40	30	20
	4.000 a 6.000	50	40	30
	6.000 a 8.000	60	50	40
	8.000 a 10.000	70	60	50
	> 10.000	80	70	60
Baixo	< 2.000	20	10	0
	2.000 a 4.000	30	20	10
	4.000 a 6.000	40	30	20
	6.000 a 8.000	50	40	30
	8.000 a 10.000	60	50	40
	> 10.000	70	60	50
Muito baixo	< 2.000	10	0	0
	2.000 a 4.000	20	10	0
	4.000 a 6.000	30	20	10
	6.000 a 8.000	40	30	20
	8.000 a 10.000	50	40	30
	> 10.000	60	50	40

Tabela 12. Doses recomendadas para a adubação potássica de plantio na cultura do milho.

Adubação de potássio no plantio – K ₂ O: kg ha ⁻¹				
Potencial de resposta ao potássio	Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de K no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 2.000	35	25	15
	2.000 a 4.000	40	30	20
	4.000 a 6.000	45	35	25
	6.000 a 8.000	50	40	30
	8.000 a 10.000	55	45	35
	> 10.000	60	50	40
Alto	< 2.000	30	20	10
	2.000 a 4.000	35	25	15
	4.000 a 6.000	40	30	20
	6.000 a 8.000	45	35	25
	8.000 a 10.000	50	40	30
	> 10.000	55	45	35
Nulo	< 2.000	25	15	5
	2.000 a 4.000	30	20	10
	4.000 a 6.000	35	25	15
	6.000 a 8.000	40	30	20
	8.000 a 10.000	45	35	25
	> 10.000	50	40	30
Baixo	< 2.000	20	10	0
	2.000 a 4.000	25	15	5
	4.000 a 6.000	30	20	10
	6.000 a 8.000	35	25	15
	8.000 a 10.000	40	30	20
	> 10.000	45	35	25
Muito baixo	< 2.000	15	5	0
	2.000 a 4.000	20	10	0
	4.000 a 6.000	25	15	5
	6.000 a 8.000	30	20	10
	8.000 a 10.000	35	25	15
	> 10.000	40	30	20

Tabela 13. Doses recomendadas para a adubação de enxofre de plantio na cultura do milho.

Adubação de enxofre no plantio – S		
Potencial de resposta ao enxofre	Produtividade esperada – kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
Muito alto	< 5.000	25
	≥ 5.000	50
Alto	< 5.000	20
	≥ 5.000	40
Nulo	< 5.000	15
	≥ 5.000	30
Baixo	< 5.000	10
	≥ 5.000	20
Muito baixo	< 5.000	5
	≥ 5.000	10

Tabela 14. Doses recomendadas para a adubação de zinco de plantio na cultura do milho.

Adubação de zinco no plantio – Zn: kg ha ⁻¹			
Potencial de resposta ao zinco	Disponibilidade de Zn no solo		
	Baixa	Média	Alta
Muito alto	4,0	3,0	2,0
Alto	3,5	2,5	1,5
Nulo	3,0	2,0	1,0
Baixo	2,5	1,5	0,5
Muito baixo	2,0	1,0	0,0

Adubação de Cobertura

A adubação de cobertura com nitrogênio deve ser feita no estágio de 6 a 8 folhas totalmente desdobradas (25 a 30 dias após a germinação, para cultivares de ciclo normal), em quantidade de até 80 kg ha⁻¹, e o restante, quando necessário, 15 a 20 dias após a primeira adubação de cobertura. O potássio deve ser todo aplicado com a primeira dose de nitrogênio.

As quantidades devem ser determinadas segundo o estágio nutricional e produtividade esperada (Tabelas 15 e 16).

Tabela 15. Doses recomendadas para a adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho.

Adubação de nitrogênio em cobertura – N: kg ha ⁻¹				
Potencial de resposta ao nitrogênio	Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de N no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 2.000	40	30	20
	2.000 a 4.000	60	50	40
	4.000 a 6.000	80	70	60
	6.000 a 8.000	100	90	80
	8.000 a 10.000	120	110	100
	> 10.000	140	130	120
Alto	< 2.000	30	20	10
	2.000 a 4.000	50	40	20
	4.000 a 6.000	70	60	40
	6.000 a 8.000	90	80	60
	8.000 a 10.000	110	100	80
	> 10.000	130	120	100
Nulo	< 2.000	20	10	0
	2.000 a 4.000	40	20	10
	4.000 a 6.000	60	40	20
	6.000 a 8.000	80	60	40
	8.000 a 10.000	100	80	60
	> 10.000	120	100	80
Baixo	< 2.000	10	0	0
	2.000 a 4.000	20	10	0
	4.000 a 6.000	40	20	10
	6.000 a 8.000	60	40	20
	8.000 a 10.000	80	60	40
	> 10.000	100	80	60
Muito baixo	< 2.000	0	0	0
	2.000 a 4.000	10	0	0
	4.000 a 6.000	20	10	0
	6.000 a 8.000	40	20	10
	8.000 a 10.000	60	40	20
	> 10.000	80	60	40

Tabela 16. Doses recomendadas para a adubação potássica de cobertura na cultura do milho.

Adubação de potássio em cobertura – K ₂ O: kg ha ⁻¹				
Potencial de resposta ao potássio	Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de K no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 2.000	10	0	0
	2.000 a 4.000	30	20	10
	4.000 a 6.000	50	40	30
	6.000 a 8.000	70	60	50
	8.000 a 10.000	90	80	70
	> 10.000	110	100	90
Alto	< 2.000	0	0	0
	2.000 a 4.000	20	10	0
	4.000 a 6.000	40	30	20
	6.000 a 8.000	60	50	40
	8.000 a 10.000	80	70	60
	> 10.000	100	90	80
Nulo	< 2.000	0	0	0
	2.000 a 4.000	10	0	0
	4.000 a 6.000	30	20	10
	6.000 a 8.000	50	40	30
	8.000 a 10.000	70	60	50
	> 10.000	90	80	70
Baixo	< 2.000	0	0	0
	2.000 a 4.000	0	0	0
	4.000 a 6.000	20	10	0
	6.000 a 8.000	40	30	20
	8.000 a 10.000	60	50	40
	> 10.000	80	70	60
Muito baixo	< 2.000	0	0	0
	2.000 a 4.000	0	0	0
	4.000 a 6.000	10	0	0
	6.000 a 8.000	30	20	10
	8.000 a 10.000	50	40	30
	> 10.000	70	60	50

Milho Safrinha

As adubações de plantio para o milho safrinha devem seguir as mesmas dosagens recomendadas para a safra normal, considerando-se apenas a quebra de produtividade, que deverá ser da ordem de 40% a 60%.

No milho safrinha não se recomenda a adubação em cobertura com potássio e a dosagem da adubação de nitrogênio deve ser metade da quantidade recomendada para a produtividade esperada com base na recomendação de adubação para a safra principal.

Não é necessário adubações com zinco ou enxofre se estes adubos foram utilizados na safra normal.

Milho Pipoca

As adubações de potássio, enxofre e zinco, recomendadas para o milho na safra normal, devem ser utilizadas também para o milho pipoca, com base em cada faixa de produtividade esperada.

Para nitrogênio, a dosagem deve ser diminuída em 10 kg ha^{-1} no plantio e aumentada em 30 kg ha^{-1} na adubação em cobertura, em relação às dosagens que seriam utilizadas para o milho na safra normal. A adubação de fósforo no plantio deve ser 10 kg ha^{-1} maior no milho pipoca em relação ao milho comum, na safra normal, para cada faixa de produtividade esperada.

Milho Doce e Verde

As adubações de plantio e de cobertura para o milho verde e milho doce devem seguir as mesmas dosagens recomendadas para a safra normal, considerando-se a conversão de produtividade esperada em grãos (safra normal) com a produtividade em milho verde (Tabela 17).

Tabela 17. Conversão entre produção de milho verde e beneficiado.

Produtividade – kg ha ⁻¹ de milho verde	Produtividade – kg ha ⁻¹ de milho beneficiado
< 8.000	4.000 a 6.000
8.000 a 12.000	6.000 a 8.000
12.000 a 16.000	8.000 a 10.000
16.000 a 20.000	> 10.000

Milho para Silagem

A adubação de milho para silagem deve ser determinada, utilizando-se a mesma tabela de conversão usada para milho verde e doce, adotando-se as mesmas dosagens recomendadas para o milho da safra normal. Apenas em relação ao potássio, em solos com teores médios ou baixos, a dosagem deve ser aumentada em 50 kg ha⁻¹ se for esperada produção de silagem superior a 12 Mg ha⁻¹.

Soja (*Glycine max*)

A soja constitui atualmente uma das principais culturas de exportação, sendo cultivada tanto em pequenas propriedades, como no Estado de Santa Catarina, quanto em grande escala, como em Mato Grosso.

Embora seja uma planta originária de clima temperado, seu cultivo tem sido adaptado a uma ampla faixa de temperaturas, desde o subtropical até o equatorial, o que é atribuído principalmente ao grande número de variedades e intenso trabalho de melhoramento genético. As temperaturas médias favoráveis para o cultivo dessa oleaginosa, rica em proteínas, variam entre 20°C e 35°C, enquanto precipitações anuais acima de 700 mm, se bem distribuídas, preenchem bem suas necessidades hídricas. Nas condições do Estado do Acre, as elevadas precipitações pluviométricas no período da safra podem concorrer para diminuir a viabilidade da cultura, já que esta não tolera bem excesso de umidade, principalmente na colheita.

A planta adapta-se bem a uma ampla gama de condições de fertilidade e mesmo aqueles solos menos férteis não constituem limitação para a cultura, já que esta é muito responsiva à adubação e seu cultivo constitui um fator de melhoria do solo, pelo fato de ser eficiente na fixação de nitrogênio por meio de simbiose com bactérias diazotróficas.

A viabilidade econômica da cultura é condicionada principalmente à possibilidade de mecanização, disponibilidade de infra-estrutura e recursos financeiros e humanos. Em comparação ao feijoeiro, a planta de soja é menos susceptível à ocorrência de doenças e pragas e muito mais eficiente na fixação simbiótica de nitrogênio, o que a torna mais rústica que o feijoeiro.

O espaçamento entrelinhas indicado para o plantio é de 0,5 m, com 16 a 20 sementes por metro linear, dependendo da cultivar utilizada. A produtividade esperada deve ser superior a 3.600 kg ha⁻¹.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 18). O teor mínimo de magnésio no solo deve ser de 0,5 cmol_(c+) kg⁻¹.

Tabela 18. Saturação de bases indicada na cultura da soja.

	Tipo de solo	
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
50%	45%	40%

Adubação de Plantio

No plantio, deve ser utilizada com as sementes a inoculação com rizóbio específico para a soja, de boa viabilidade e estado de conservação, na proporção de 250 g por saca de semente para áreas já cultivadas, ou 500 g por saca de semente para áreas novas. As sementes devem ser bem nutridas em molibdênio. Se necessário, aplicar 50 g ha⁻¹ de molibdato de amônio, misturado às sementes.

A adubação no sulco de plantio deve conter apenas fósforo, potássio, enxofre e micronutrientes, não sendo recomendada nenhuma aplicação de nitrogênio, mesmo fazendo parte da formulação com outro nutriente requerido. A dose a ser aplicada varia em função da produtividade esperada, fertilidade do solo e monitoramento nutricional da cultura de soja da safra anterior (Tabelas 19 a 22).

Caso a recomendação de potássio no plantio seja superior a 50 kg ha⁻¹, deve-se aplicar metade da dose indicada no plantio e a outra metade em cobertura, de 30 a 40 dias após a germinação, respectivamente, para cultivares de ciclo precoce e tardio.

Tabela 19. Doses recomendadas para a adubação fosfatada de plantio na cultura da soja.

Adubação de fósforo no plantio – P ₂ O ₅ : kg ha ⁻¹				
Potencial de resposta ao fósforo	Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de P no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 2.000	50	40	30
	2.000 a 2.500	60	50	40
	2.500 a 3.000	70	60	50
	3.000 a 3.500	80	70	60
	3.500 a 4.000	90	80	70
	4.000 a 4.500	100	90	80
	> 4.500	110	100	90
Alto	< 2.000	40	30	20
	2.000 a 2.500	50	40	30
	2.500 a 3.000	60	50	40
	3.000 a 3.500	70	60	50
	3.500 a 4.000	80	70	60
	4.000 a 4.500	90	80	70
	> 4.500	100	90	80
Nulo	< 2.000	30	20	10
	2.000 a 2.500	40	30	20
	2.500 a 3.000	50	40	30
	3.000 a 3.500	60	50	40
	3.500 a 4.000	70	60	50
	4.000 a 4.500	80	70	60
	> 4.500	90	80	70
Baixo	< 2.000	20	10	0
	2.000 a 2.500	30	20	10
	2.500 a 3.000	40	30	20
	3.000 a 3.500	50	40	30
	3.500 a 4.000	60	50	40
	4.000 a 4.500	70	60	50
	> 4.500	80	70	60
Muito baixo	< 2.000	10	0	0
	2.000 a 2.500	20	10	0
	2.500 a 3.000	30	20	10
	3.000 a 3.500	40	30	20
	3.500 a 4.000	50	40	30
	4.000 a 4.500	60	50	40
	> 4.500	70	60	50

Tabela 20. Doses recomendadas para a adubação potássica de plantio na cultura da soja.

Adubação de potássio no plantio – K ₂ O: kg ha ⁻¹				
Potencial de resposta ao potássio	Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de K no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 2.000	65	40	25
	2.000 a 2.500	70	45	30
	2.500 a 3.000	75	50	35
	3.000 a 3.500	80	55	40
	3.500 a 4.000	85	60	45
	4.000 a 4.500	90	65	50
	> 4.500	95	70	55
Alto	< 2.000	55	30	15
	2.000 a 2.500	60	35	20
	2.500 a 3.000	65	40	25
	3.000 a 3.500	70	45	30
	3.500 a 4.000	75	50	35
	4.000 a 4.500	80	55	40
	> 4.500	85	60	45
Nulo	< 2.000	45	20	5
	2.000 a 2.500	50	25	10
	2.500 a 3.000	55	30	15
	3.000 a 3.500	60	35	20
	3.500 a 4.000	65	40	25
	4.000 a 4.500	70	45	30
	> 4.500	75	50	35
Baixo	< 2.000	35	10	0
	2.000 a 2.500	40	15	0
	2.500 a 3.000	45	20	5
	3.000 a 3.500	50	25	10
	3.500 a 4.000	55	30	15
	4.000 a 4.500	60	35	20
	> 4.500	65	40	25
Muito baixo	< 2.000	25	0	0
	2.000 a 2.500	30	5	0
	2.500 a 3.000	35	10	0
	3.000 a 3.500	40	15	5
	3.500 a 4.000	45	20	10
	4.000 a 4.500	50	25	15
	> 4.500	55	30	20

Tabela 21. Doses recomendadas para a adubação de enxofre de plantio na cultura da soja.

Adução de enxofre no plantio – S		
Potencial de resposta ao enxofre	Produtividade esperada – kg ha⁻¹	kg ha⁻¹
Muito alto	< 2.000	40
	2.000 a 2.500	48
	2.500 a 3.000	55
	3.000 a 3.500	63
	3.500 a 4.000	70
	4.000 a 4.500	78
	> 4.500	85
Alto	< 2.000	35
	2.000 a 2.500	43
	2.500 a 3.000	50
	3.000 a 3.500	58
	3.500 a 4.000	65
	4.000 a 4.500	73
	> 4.500	80
Nulo	< 2.000	30
	2.000 a 2.500	38
	2.500 a 3.000	45
	3.000 a 3.500	53
	3.500 a 4.000	60
	4.000 a 4.500	68
	> 4.500	75
Baixo	< 2.000	25
	2.000 a 2.500	33
	2.500 a 3.000	40
	3.000 a 3.500	48
	3.500 a 4.000	55
	4.000 a 4.500	63
	> 4.500	70
Muito baixo	< 2.000	20
	2.000 a 2.500	28
	2.500 a 3.000	35
	3.000 a 3.500	43
	3.500 a 4.000	50
	4.000 a 4.500	48
	> 4.500	65

Tabela 22. Doses recomendadas para a adubação de micronutrientes de plantio na cultura da soja.

Adubação de manganês no plantio – Mn: kg ha⁻¹			
Potencial de resposta ao manganês	Disponibilidade de Mn no solo		
	Baixa	Média	Alta
Muito alto	5	3	1
Alto	4	2	0
Nulo	3	1	0
Baixo	2	0	0
Muito baixo	1	0	0

Adubação de zinco no plantio – Zn: kg ha⁻¹			
Potencial de resposta ao zinco	Disponibilidade de Zn no solo		
	Baixa	Média	Alta
Muito alto	5	3	1
Alto	4	2	0
Nulo	3	1	0
Baixo	2	0	0
Muito baixo	1	0	0

Adubação de cobre no plantio – Cu: kg ha⁻¹			
Potencial de resposta ao cobre	Disponibilidade de Cu no solo		
	Baixa	Média	Alta
Muito alto	3	2	1
Alto	2	1	0
Nulo	1	0	0
Baixo	0	0	0
Muito baixo	0	0	0

Adubação de boro no plantio – B: kg ha⁻¹			
Potencial de resposta ao boro	Disponibilidade de B no solo		
	Baixa	Média	Alta
Muito alto	2,0	1,5	1,0
Alto	1,5	1,0	0,5
Nulo	1,0	0,5	0
Baixo	0,5	0	0
Muito baixo	0	0	0

Adubação de Cobertura

A soja não exige a adubação de cobertura em condições normais. Entretanto, no cultivo de outono–inverno pode-se recomendar, além da inoculação, a aplicação de nitrogênio antes do florescimento (Tabela 23).

Se a recomendação de potássio no sulco do plantio for superior a 50 kg ha⁻¹, metade da dosagem recomendada deve ser aplicada em cobertura, conforme descrito anteriormente.

Tabela 23. Doses recomendadas para a adubação nitrogenada de cobertura na cultura da soja.

Adubação de nitrogênio em cobertura – N	
Potencial de resposta ao nitrogênio	kg ha ⁻¹
Muito alto	60
Alto	50
Nulo	40
Baixo	30
Muito baixo	20

Estimulantes

As principais culturas estimulantes são o café e o cacau.

O café corresponde à principal cultura desse grupo no Estado do Acre, sendo cultivadas as espécies *Coffea canephora* (café Robusta ou Conilon) e *Coffea arabica* (café Arábica). Na região, o cultivo do cacau tem maior expressão econômica no Estado do Rondônia.

Café (*Coffea* sp.)

Informações Gerais

A cultura do café apresenta, historicamente, ciclos de preços baixos e altos, o que torna a sua área plantada bastante dependente dessas oscilações, mesmo se tratando de uma cultura permanente.

No Acre, o cafeeiro normalmente é conduzido sob baixo nível tecnológico, não sendo adotadas as principais medidas de manejo e beneficiamento pós-colheita, o que se reflete em baixa produtividade e produto de má qualidade, implicando na ausência de preços competitivos mesmo quando há recuperação do preço do produto nos mercados mais tradicionais.

Não obstante, apresenta grande potencial produtivo e poderá constituir uma importante alternativa econômica, principalmente nas propriedades de menor área.

Das espécies cultivadas, o café Conilon é o que apresenta maior adaptação às altas temperaturas verificadas no Estado, embora, resultados experimentais tenham sido unânimes em demonstrar a boa adaptação do café Arábica às condições climáticas do Acre mesmo em espaçamentos mais largos.

O espaçamento indicado entre covas varia de 4 x 2 m até 1 x 0,5 m, em várias combinações, dependendo da espécie, mecanização e topografia

do terreno e do número de plantas por cova (uma a duas plantas). Dessa forma, a densidade deve variar, normalmente, entre 2.500 e 5.000 plantas ha⁻¹, embora, densidades maiores ainda possam vir a ser adotadas, principalmente para as cultivares Arábicas de porte menor.

A produtividade esperada deve estar acima de 2.400 kg ha⁻¹, para lavouras bem manejadas e economicamente viáveis. Abaixo desse patamar a rentabilidade pode ser comprometida, mesmo em épocas de melhores preços.

Correção do Solo¹

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 24). O teor mínimo de magnésio no solo deve ser de 0,5 cmol_(c+) kg⁻¹.

Tabela 24. Saturação de bases indicada na cultura do cafeeiro.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
50%	45%	40%

¹Valores revistos em relação à publicação anterior (Wadt, 2002).

Adubação do Substrato para Produção de Mudanças

O substrato deve ser preparado pela mistura, na base de volume, de 1/3 de esterco de curral curtido com 2/3 de terra. A cada m³ da mistura, adicionar 5 kg de superfosfato simples, 500 gramas de cloreto de potássio e 2 kg de calcário dolomítico ou magnesiano, com PRNT superior a 80%.

Adubação de Plantio

A adubação de plantio deve ser aplicada na cova conforme doses indicadas (Tabela 25), misturando-se bem os adubos com a terra de enchimento da cova e aguardando um período mínimo de 30 dias antes do plantio definitivo das mudas.

Tabela 25. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura do cafeeiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha			
P: P ₂ O ₅	30	20	10
K: K ₂ O	30	15	0
B	1	0,5	0
Cu	1	0	0
Mn	2	1	0
Zn	2	1	0

Adubação de Pós-plantio

A adubação de pós-plantio deverá ser feita na quantidade de 4 g de nitrogênio por cova, em intervalos regulares de 30 dias, durante o período chuvoso.

Adubação de Formação

No segundo ano da cultura (o primeiro após o ano de plantio), aplicar de 20 a 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio e repetir a mesma adubação potássica feita no plantio. Utilizar a menor dosagem de nitrogênio para espaçamentos mais largos e a maior dosagem para espaçamentos mais estreitos.

Essa adubação deve ser feita em intervalos regulares de 45 dias, durante o período chuvoso, e aplicada em cobertura, em torno das plantas.

Adubação de Produção

A adubação de produção deve iniciar-se a partir do terceiro ano da cultura (o segundo após o ano de plantio).

A aplicação de nitrogênio e potássio deve ser parcelada em três a quatro vezes, durante o período das chuvas, e realizada na superfície do solo, ao redor da planta e na projeção da copa.

A dosagem de fósforo e potássio a ser aplicada varia em função da disponibilidade no solo, produtividade da lavoura e potencial de resposta à adubação (Tabelas 26 e 27, respectivamente). Nitrogênio e enxofre variam em função da produtividade e estado nutricional (Tabela 28) e os micronutrientes, em função do estado nutricional da lavoura (Tabela 29).

Fósforo, enxofre, boro, manganês e zinco devem ser aplicados com a primeira dose de nitrogênio e potássio.

Se indicados pelo monitoramento nutricional, zinco e manganês devem também ser aplicados via foliar, em duas pulverizações durante o período de maior desenvolvimento da copa, respectivamente, nas concentrações de 6 g L⁻¹ de sulfato de zinco e 10 g L⁻¹ de sulfato de manganês.

Tabela 26. Doses recomendadas para a adubação fosfatada de cobertura na cultura do cafeeiro.

Adubação de fósforo em cobertura – P ₂ O ₅ : kg ha ⁻¹ ano ⁻¹				
Potencial de resposta ao fósforo	Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de P no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 1.200	40	30	20
	1.200 a 1.800	50	40	30
	1.800 a 2.400	60	50	40
	2.400 a 3.000	70	60	50
	3.000 a 3.600	80	70	60
	3.600 a 4.800	90	80	70
	> 4.800	100	90	80
Alto	< 1.200	30	20	10
	1.200 a 1.800	40	30	20
	1.800 a 2.400	50	40	30
	2.400 a 3.000	60	50	40
	3.000 a 3.600	70	60	50
	3.600 a 4.800	80	70	60
	> 4.800	90	80	70
Nulo	< 1.200	20	10	0
	1.200 a 1.800	30	20	10
	1.800 a 2.400	40	30	20
	2.400 a 3.000	50	40	30
	3.000 a 3.600	60	50	40
	3.600 a 4.800	70	60	50
	> 4.800	80	70	60
Baixo	< 1.200	10	0	0
	1.200 a 1.800	20	10	0
	1.800 a 2.400	30	20	10
	2.400 a 3.000	40	30	20
	3.000 a 3.600	50	40	30
	3.600 a 4.800	60	50	40
	> 4.800	70	60	50
Muito baixo	< 1.200	0	0	0
	1.200 a 1.800	10	0	0
	1.800 a 2.400	20	10	0
	2.400 a 3.000	30	20	10
	3.000 a 3.600	40	30	20
	3.600 a 4.800	50	40	30
	> 4.800	60	50	40

Tabela 27. Doses recomendadas para a adubação potássica de cobertura na cultura do cafeeiro.

Adubação de potássio em cobertura – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹				
Potencial de resposta ao potássio	Produtividade kg ha⁻¹	Disponibilidade de K no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 1.200	150	100	60
	1.200 a 1.800	180	120	70
	1.800 a 2.400	210	140	80
	2.400 a 3.000	240	160	90
	3.000 a 3.600	270	180	100
	3.600 a 4.800	330	210	120
	> 4.800	390	240	140
Alto	< 1.200	120	80	40
	1.200 a 1.800	150	100	50
	1.800 a 2.400	180	120	60
	2.400 a 3.000	210	140	70
	3.000 a 3.600	240	160	80
	3.600 a 4.800	300	190	100
	> 4.800	360	220	120
Nulo	< 1.200	90	60	20
	1.200 a 1.800	120	80	30
	1.800 a 2.400	150	100	40
	2.400 a 3.000	180	120	50
	3.000 a 3.600	210	140	60
	3.600 a 4.800	270	170	80
	> 4.800	330	200	100
Baixo	< 1.200	60	40	0
	1.200 a 1.800	90	60	10
	1.800 a 2.400	120	80	30
	2.400 a 3.000	150	100	40
	3.000 a 3.600	180	120	50
	3.600 a 4.800	240	150	70
	> 4.800	300	180	90
Muito baixo	< 1.200	30	20	0
	1.200 a 1.800	60	40	0
	1.800 a 2.400	90	60	10
	2.400 a 3.000	120	80	20
	3.000 a 3.600	150	100	30
	3.600 a 4.800	210	130	50
	> 4.800	270	160	70

Tabela 28. Doses recomendadas para a adubação, nitrogenada e de enxofre, de cobertura na cultura do cafeeiro.

Potencial de resposta ao nitrogênio ou enxofre	Produtividade esperada – kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	
		N	S
Muito alto	< 1.200	125	16
	1.200 a 1.800	150	19
	1.800 a 2.400	180	23
	2.400 a 3.000	210	26
	3.000 a 3.600	240	30
	3.600 a 4.800	290	36
	> 4.800	350	44
Alto	< 1.200	100	13
	1.200 a 1.800	125	16
	1.800 a 2.400	155	19
	2.400 a 3.000	185	23
	3.000 a 3.600	215	27
	3.600 a 4.800	260	33
	> 4.800	300	38
Nulo	< 1.200	75	9
	1.200 a 1.800	100	13
	1.800 a 2.400	130	16
	2.400 a 3.000	160	20
	3.000 a 3.600	190	24
	3.600 a 4.800	225	28
	> 4.800	255	32
Baixo	< 1.200	50	6
	1.200 a 1.800	75	9
	1.800 a 2.400	105	13
	2.400 a 3.000	135	17
	3.000 a 3.600	160	20
	3.600 a 4.800	185	23
	> 4.800	210	26
Muito baixo	< 1.200	25	3
	1.200 a 1.800	50	6
	1.800 a 2.400	80	10
	2.400 a 3.000	110	14
	3.000 a 3.600	140	18
	3.600 a 4.800	165	21
	> 4.800	185	23

Tabela 29. Doses recomendadas para a adubação de micronutrientes de cobertura na cultura do cafeeiro.

Adubação de manganês em cobertura – Mn: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
Potencial de resposta ao manganês	Disponibilidade de Mn no solo		
	Baixa	Média	Alta
Muito alto	2	1,0	0,5
Alto	1	0,5	0
Nulo	0,5	0	0
Baixo	0	0	0
Muito baixo	0	0	0

Adubação de zinco em cobertura – Zn: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
Potencial de resposta ao zinco	Disponibilidade de Zn no solo		
	Baixa	Média	Alta
Muito alto	2	1,5	1,0
Alto	1,5	1,0	0,5
Nulo	1,0	0,5	0
Baixo	0,5	0	0
Muito baixo	0	0	0

Adubação de boro em cobertura – B: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
Potencial de resposta ao boro	Disponibilidade de B no solo		
	Baixa	Média	Alta
Muito alto	2,0	1,5	1,0
Alto	1,5	1,0	0,5
Nulo	1,0	0,5	0
Baixo	0,5	0	0
Muito baixo	0	0	0

Adubação após Recepa

No primeiro ano da recepa de um cafezal, é desnecessária a adubação, a menos que seja constatada uma recuperação muito lenta, caso em que é sugerido aplicar 1/3 da dose recomendada para o café em produção (nesse caso, tomar a média das duas últimas produções antes da recepa). No ano seguinte, retornar à adubação de produção.

Cacau (*Theobroma cacao* L.)

Informações Gerais

O cacauzeiro é uma planta tropical cujas sementes são utilizadas para a produção de chocolate e outros derivados industriais. Seu habitat natural são terras baixas dentro de bosques escuros e úmidos, sob a sombra de grandes árvores, como em florestas menos exuberantes e relativamente menos úmidas.

Tem boa tolerância a temperaturas altas e vegeta bem sob precipitações pluviométricas acima de 1.200 mm anuais, necessitando entretanto de elevada umidade relativa (de 70% a 100%). É pouco tolerante a regiões com ventos contínuos, o que exige a implantação de quebra-ventos para sua instalação.

A cultura desenvolve-se melhor em solos friáveis, profundos, férteis e bem drenados.

A densidade de plantas por hectare deve variar de 952 (espaçamento de 3,5 x 3,0 m) a 1.143 plantas (3,5 x 2,5 m).

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 30). O teor mínimo de magnésio no solo deve ser de $0,5 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$.

Tabela 30. Saturação de bases indicada na cultura do cacau.

Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Tipo de solo	
	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
50%	45%	40%

Adubação de Plantio

A adubação de plantio deve ser aplicada na cova, misturando-se bem os adubos com a terra de enchimento da cova e aguardando um período mínimo de 30 dias antes do plantio. As doses recomendadas variam segundo a disponibilidade de fósforo, potássio e zinco no solo (Tabela 31).

Tabela 31. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura do cacau.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha ⁻¹			
P: P ₂ O ₅	100	75	50
K: K ₂ O	30	15	0
Zn	3	1,5	0

Adubação de Pós-plantio

A adubação de pós-plantio deverá ser feita na quantidade de 10 g de nitrogênio por cova, em intervalos regulares de 30 dias, em quatro aplicações anuais durante o período chuvoso (quantidade total de 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio).

Adubação de Formação

A adubação de formação deve ser feita durante os três primeiros anos de implantação da cultura, nas quantidades indicadas, conforme disponibilidade dos nutrientes no solo (Tabela 32).

Tabela 32. Doses recomendadas para a adubação de formação na cultura do cacau.

Ano	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de nitrogênio – N: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
1	50	40	30
2	90	70	40
3	140	110	50
Adubação de fósforo – P₂O₅: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
1	60	40	20
2	90	60	30
3	120	80	40
Adubação de potássio em cobertura – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
1	60	40	20
2	90	60	30
3	120	80	40

Adubação de Produção

A adubação de produção deve ser realizada a partir do quarto ano de implantação da cultura, de 3 em 3 anos, nas quantidades indicadas (Tabela 33). A adubação com nitrogênio consiste na dose de 50 kg ha⁻¹, em três aplicações em cobertura, devendo-se fornecer também na primeira aplicação fósforo, potássio e zinco (Tabela 33).

Tabela 33. Doses recomendadas para a adubação de formação na cultura do cacau.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹ ano ⁻¹		
P: P ₂ O ₅	90	60	30
K: K ₂ O	60	40	20
Zn	4	2	0

Culturas de Importância Industrial

As principais culturas industriais são a cana-de-açúcar, a seringueira, a pupunha e a pimenta longa. Destas quatro, apenas a cana-de-açúcar não tem sua origem na Amazônia, mas no sudoeste asiático.

Contudo, apesar da origem amazônica da maioria das plantas desse grupo, seu cultivo tem sido mais expressivo em outras regiões, seja pela possibilidade de escape para o desenvolvimento do mal-das-folhas nas seringueiras, seja pela maior disponibilidade de recursos tecnológicos aplicados aos cultivos, permitindo-lhes maior produtividade e rentabilidade.

Das culturas industriais, apenas a pimenta longa apresenta, até o momento maior expressão local do que em outros estados.

Cana-de-açúcar (*Saccharum hidridas*)

Informações Gerais

O cultivo da cana-de-açúcar tem evoluído a partir da espécie *Saccharum officinarum*. Devido à necessidade do desenvolvimento de materiais genéticos mais resistentes a diversas doenças e mais responsivos ao manejo, foram realizados vários trabalhos de cruzamento entre *S. officinarum* e quatro outras espécies do mesmo gênero, e, posteriormente, por meio de retrocruzamento com as ascendentes, produziu-se a nova espécie atualmente cultivada comercialmente: *S. hibridas*.

Esse trabalho de melhoramento, ainda existente, confere às cultivares de cana-de-açúcar uma intensa mistura de materiais genéticos entre as cinco espécies do gênero *Saccharum*.

Essa planta, com grande utilização industrial na produção de açúcar, álcool, melaço e rapadura, é ainda importante para a alimentação animal (forragem) e mesmo humana (caldo de cana ou garapa).

A cana-de-açúcar adapta-se a uma grande variabilidade de clima, apresentando melhor comportamento nas regiões quentes e úmidas. Seu melhor desenvolvimento, contudo, ocorre nas regiões onde há um período quente e úmido seguido de outro seco e frio. O primeiro período é importante para a germinação, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo, enquanto o segundo é necessário para

promover a maturação e conseqüente acúmulo de sacarose nos colmos.

A cana-de-açúcar desenvolve-se bem em solos férteis ou pouco férteis, preferindo aqueles profundos e bem drenados. A maior limitação para o uso dessa planta no Estado pode estar na baixa tolerância a solos mal drenados.

Pode-se plantá-la em dois períodos distintos, setembro/outubro ou janeiro/março, sendo a segunda época a mais recomendada, por permitir que a “cana de ano e meio” atinja melhor desenvolvimento quando do primeiro corte.

Para a adubação da cana-de-açúcar podem ser utilizados resíduos da indústria canavieira (vinhaça, na proporção de 60 a 250 m³ ha⁻¹) ou torta de filtro em área total (80 a 100 Mg ha⁻¹), no pré-plantio (15 a 30 Mg ha⁻¹) ou nas entrelinhas (40 a 50 Mg ha⁻¹). Como não existe nenhuma indústria canavieira no Estado do Acre, o uso desses resíduos não está disponível no momento.

Pode ser utilizada, contudo, a adubação verde na reforma do canavial, sendo indicadas espécies adaptadas e de desenvolvimento vegetativo rápido.

O espaçamento de plantio recomendado é 1,0 a 1,5 m entrelinhas, com 12 a 18 gemas por metro linear de sulco. A produtividade será maior no primeiro corte (cana de ano e meio) e menor no último (quarto corte), considerando-se boas produtividades aquelas acima de 120 Mg ha⁻¹.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 34). O teor mínimo de magnésio no solo deve ser de $0,5 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$.

Tabela 34. Saturação de bases indicada na cultura da cana-de-açúcar.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < $10 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$	Demais solos com CTC > $10 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$
60%	50%	40%

Adubação de Plantio

No plantio da cana-de-açúcar recomenda-se a aplicação de 30 kg ha^{-1} de nitrogênio. As quantidades indicadas dos demais nutrientes variam conforme disponibilidade no solo (Tabelas 35 e 36).

Tabela 35. Doses recomendadas para a adubação fosfatada e potássica de plantio na cultura da cana-de-açúcar.

Produtividade kg ha^{-1}	Disponibilidade de P no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de fósforo no plantio – P_2O_5 : kg ha^{-1}			
< 100.000	100	50	25
100.000 a 150.000	125	75	50
> 150.000	150	100	75
Adubação de potássio no plantio – K_2O : kg ha^{-1}			
< 100.000	80	40	0
100.000 a 150.000	120	60	0
> 150.000	160	80	0

Tabela 36. Doses recomendadas para a adubação de cobre e zinco de plantio na cultura da cana-de-açúcar.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
Cu	4	1	0
Zn	5	2	0

Adubação da Cana Planta

Aplicar em cobertura de 30 a 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, de março-abril ou ao final do período das chuvas. As maiores doses deverão ser aplicadas quando houver maior expectativa de produção.

Adubação da Cana Soca

A adubação da cana soca deve ser feita ao lado das linhas de cana, superficialmente, e misturada ao solo, no máximo a 10 cm de profundidade, variando a dosagem em função da produtividade esperada e disponibilidade no solo (Tabela 37).

Tabela 37. Doses recomendadas para a adubação de cobertura na cultura da cana-de-açúcar.

Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de nitrogênio na cana soca – N: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 60.000	60	40	20
60.000 a 80.000	80	60	40
80.000 a 100.000	100	80	60
> 100.000	120	100	80
Adubação de fósforo na cana soca – P₂O₅: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 60.000	15	0	0
60.000 a 80.000	20	0	0
80.000 a 100.000	25	0	0
> 100.000	30	0	0
Adubação de potássio na cana soca – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 60.000	80	50	20
60.000 a 80.000	100	70	40
80.000 a 100.000	120	90	60
> 100.000	140	110	80

Pimenta Longa (*Piper hispidinervum*)

Informações Gerais

A pimenta longa é uma planta invasora, endêmica do Vale do Rio Acre, cuja importância econômica reside no óleo essencial, rico em safrol, extraído de suas folhas.

A planta adapta-se bem às condições climáticas do Vale do Rio Acre, sendo, entretanto, nos cultivos comerciais, bastante responsiva à adubação e ao manejo, inclusive, à irrigação nos períodos mais secos. Não tolera solos encharcados, sendo suscetível à murcha-bacteriana.

O requerimento de adubação em lavouras comerciais depende do manejo dado ao material extraído do local de exploração: se o material (folhas e galhos finos) for restituído ao local de cultivo, após o processo de destilação do óleo essencial, então não haverá necessidade de repor nutrientes via exportação pela cultura e a adubação deverá ser feita apenas para fornecer as condições iniciais ao desenvolvimento da planta. Entretanto, se após a destilação os restos vegetais não retornarem à área de plantio, deve-se fazer a adubação de reposição para nitrogênio, fósforo e potássio.

A densidade de plantio deverá ser de 1,5 x 1,0 m ou 1,0 x 1,0 m, para o sistema de um corte anual.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 38).

Tabela 38. Saturação de bases indicada na cultura da pimenta longa.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
50%	40%	30%

Adubação do Substrato para Produção de Mudas

O substrato deve ser preparado pela mistura, na base de volume, de metade de terra de mata e metade de terra de subsolo. A cada m³ da mistura, adicionar 5 kg de superfosfato simples, 200 gramas de cloreto de potássio e 1 kg de calcário (equivalente a 100% PRNT).

Adubação de Plantio

A adubação de plantio deve ser aplicada na cova, misturando-se bem os adubos com a terra de enchimento da cova e aguardando um período mínimo de 30 dias antes do plantio (Tabela 39).

Tabela 39. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura da pimenta longa.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
P: P ₂ O ₅	60	30	0
K: K ₂ O	50	25	0

Adubação de Pós-plantio

A adubação de cobertura deverá ser feita 45 e 75 dias após o pegamento das mudas, durante o período chuvoso, na quantidade total de 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Adubação de Produção

A adubação de produção deve ser realizada sempre que não houver a devolução do material vegetal utilizado no processo de destilação do óleo essencial (Tabela 40). Os adubos devem ser aplicados lateralmente à linha da cultura, a uma distância de aproximadamente 10 cm.

Tabela 40. Doses recomendadas para a adubação de produção na cultura da pimenta longa.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
N	60	40	20
P: P ₂ O ₅	30	15	0
K: K ₂ O	45	30	15

Pupunha (*Bactris gasipae*)

Informações Gerais

A pupunha é uma planta originária da Amazônia onde seu principal produto comercial é o palmito.

Para essa finalidade a planta é cultivada na densidade de 5.000 a 6.700 plantas ha⁻¹, no espaçamento de 1,5 x 1,0 m, 2 x 1 m ou 2 x 1 x 1 m (linhas duplas). A produtividade dos bons plantios deverá ser situada em torno de 3.000 kg ha⁻¹ de matéria fresca de palmito de primeira + picado (considerando-se palmito de primeira qualidade + resíduo basal + ápice).

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 41).

Tabela 41. Saturação de bases indicada na cultura da pupunha.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
50%	40%	30%

Adubação do Substrato para Produção de Mudanças

O substrato deve ser preparado pela mistura, na base de volume, de metade de terra de mata e metade de terra de subsolo. A cada m³ da mistura, adicionar 5 kg de superfosfato simples, 100 gramas de cloreto de potássio e 1 kg de calcário (equivalente a 100% PRNT).

Adubação de Plantio

A adubação de plantio deve ser aplicada na cova, misturando-se bem os adubos com a terra de enchimento da cova e aguardando um período mínimo de 30 dias antes do plantio. As doses são definidas segundo a disponibilidade no solo (Tabela 42).

Tabela 42. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura da pupunha.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
P: P ₂ O ₅	120	90	60
K: K ₂ O	60	30	0

Adubação de Pós-plantio

A adubação de cobertura deverá ser feita 60 e 105 dias após o transplante das mudas, durante o período chuvoso, na quantidade total de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, e aplicada lateralmente à linha da cultura, a uma distância de aproximadamente 25 cm das plantas.

Adubação de Produção

A adubação de produção deve se iniciar 6 meses após o transplante. Os adubos devem ser aplicados nas entrelinhas, parcelados em três aplicações, no início, meio e final do período chuvoso, a uma distância de aproximadamente 10 cm.

As quantidades a aplicar variam segundo a produtividade esperada e disponibilidade do nutriente no solo (Tabelas 43 e 44).

As doses recomendadas para nitrogênio deverão ser reduzidas em 30%, a partir do quarto ano, se houver a reciclagem das folhas, bainhas e estipes deixadas no terreno.

Deve-se tomar cuidado para evitar a adubação desequilibrada (alta em fósforo e baixa em nitrogênio), o que resultará em palmitos de pior qualidade (amarelados, de baixo valor comercial).

Para cada 1.000 kg de palmito produzidos, aplicar anualmente 15 kg ha⁻¹ de enxofre.

Tabela 43. Doses recomendadas para adubação nitrogenada, fosfatada e potássica de produção na cultura da pupunha.

Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de nitrogênio na fase de produção – N: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 1.000	90	60	30
1.000 a 2.000	160	100	50
2.000 a 3.000	230	150	75
3.000 a 4.000	300	200	100
Adubação de fósforo na fase de produção – P₂O₅: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 1.000	20	10	0
1.000 a 2.000	30	20	0
2.000 a 3.000	50	30	0
3.000 a 4.000	70	40	0
Adubação de potássio na fase de produção – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 1.000	30	10	0
1.000 a 2.000	60	30	10
2.000 a 3.000	120	60	30
3.000 a 4.000	180	120	60

Tabela 44. Doses recomendadas de boro para a adubação de produção na cultura da pupunha.

	Disponibilidade de B no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha⁻¹			
	2	1	0

Seringueira (*Hevea brasiliensis*)

Informações Gerais

O habitat natural da seringueira, cuja importância está na produção de borracha natural, é a porção sul da bacia dos Rios Solimões-Amazonas, mais especificamente no sudoeste da Bacia Amazônica (Estado do Acre, noroeste de Rondônia, sul do Amazonas e parte dos territórios do Peru e Bolívia).

O cultivo da seringueira nas regiões tropicais é prejudicado por questões de ordem fitossanitária, exigindo o uso de tratamentos químicos que oneram a produção a ponto de torná-la antieconômica.

A principal doença a atingir os seringais de plantio é o mal-das-folhas. Em áreas de escape, o cultivo tem se expandido, embora, a borracha natural ainda sofra forte concorrência de produtos sintéticos.

Seu desenvolvimento na Amazônia dependerá da introdução de materiais resistentes, bem como da possibilidade de utilizar plantas obtidas a partir da enxertia de três materiais distintos, os quais têm sido apontados como promissores.

Outra alternativa, cuja viabilidade ainda não ficou comprovada, são as ilhas de alta produtividade, que consistem do plantio de seringueiras selecionadas em consórcio com outras espécies comerciais, em pequenas áreas (aproximadamente 1 ha) dentro de floresta nativa.

Embora a seringueira seja encontrada naturalmente em diversos tipos de solos, seu desenvolvimento é melhor naqueles de boa drenagem.

A produtividade esperada em seringais sem problemas fitossanitários é da ordem de 400 kg ha⁻¹ de borracha seca no primeiro ano de sangria e de 1.200 a 1.500 kg ha⁻¹ de borracha seca do sexto ao vigésimo ano de sangria. A densidade de plantas para essa produtividade é de 500 plantas ha⁻¹, no espaçamento de 8 x 2,5 m.

A adubação da seringueira somente é indicada em plantios homogêneos. Os cultivos nas ilhas de alta produtividade, pela baixa densidade de planta e processos naturais de ciclagem biogeoquímica, não necessitam de adubação.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 45). Se a relação Ca/Mg no solo for superior a três, utilizar calcário dolomítico ou magnesiano.

Tabela 45. Saturação de bases indicada na cultura da seringueira.

	Tipo de solo	
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
45%	45%	25%

Adubação do Substrato para Produção de Mudanças

O substrato deve ser preparado pela mistura, na base de volume, de metade de terra de mata e metade de terra de subsolo. A cada m³ da mistura, adicionar 5 kg de superfosfato simples, 500 gramas de cloreto de potássio e 2 kg de calcário dolomítico ou magnesiano.

Adubação de Plantio

A adubação de plantio deve ser aplicada na cova, misturando-se bem os adubos com a terra de enchimento da cova e aguardando um período mínimo de 30 dias antes do plantio, sendo a dose variável segundo a disponibilidade no solo (Tabela 46).

Tabela 46. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura da seringueira.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
P: P ₂ O ₅	40	30	20
K: K ₂ O	30	15	0
Zn	5	2	0

Adubação de Pós-plantio

A adubação de cobertura deverá ser feita após o pegamento das mudas, durante o primeiro ano, na quantidade total de 45 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Adubação de Formação e Produção

Deve-se fazer a adubação de formação e produção conforme indicado (Tabela 47). Os adubos devem ser aplicados ao lado de cada árvore, a lanço, sobre a projeção da copa, a cada 3 anos de exploração.

Tabela 47. Doses recomendadas para a adubação nitrogenada, fosfatada e potássica de produção na cultura da seringueira.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
N	50	40	30
P: P ₂ O ₅	40	20	0
K: K ₂ O	50	25	0

Fibrosas, Raízes e Tubérculos

O algodão é classificado como uma planta do grupo das fibrosas (algodão, bambu, crotalaria juncea, juta, linho têxtil, rami, sisal, entre outras), embora também possa ser classificado como industrial.

Dessas plantas, o algodão é a de maior importância econômica e será tratado com maiores detalhes.

No grupo das raízes e tubérculos, a mandioca e a batata são importantes culturas da base alimentar, sendo a mandioca atualmente de maior importância no Estado, principalmente na agricultura de subsistência. A cultura da batata, embora apresente potencial produtivo, ainda possui limitações para seu cultivo devido a problemas de ordem fitossanitária.

Algodão (*Gossypium hirsutum*)

Informações Gerais

O algodão é a mais importante das fibras têxteis, naturais ou artificiais. É também uma das plantas de aproveitamento mais completo e que oferece variados produtos de utilidade, sendo de importância relevante no Brasil e no mundo.

No Brasil, situa-se entre as dez maiores fontes de riqueza do setor agropecuário e internacionalmente sua cultura distribui-se em mais de 70 países, estando quase 90% da área e da produção situada no Hemisfério Norte.

As maiores áreas cultivadas com algodão no Brasil situam-se nas Regiões Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste, embora existam também áreas de cultivo em alguns estados amazônicos (Pará e Rondônia, por exemplo).

As diferenças climáticas entre essas regiões fazem com que o Brasil seja o único País do mundo a produzir duas colheitas anuais do algodoeiro.

Nas Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul cultiva-se o algodão anual ou algodão herbáceo e, no Nordeste, o algodão anual e o algodão semiperene ou arbóreo.

O algodão é pouco exigente quanto a clima, sendo a principal limitação a ocorrência de geadas (o que não acontece no Estado do Acre). Para seu cultivo, é necessária temperatura média acima de 20°C, precipitações pluviométricas durante o ciclo da

cultura entre 500 e 1.500 mm e o máximo de insolação, com boa distribuição de chuvas.

Durante a fase de germinação e desenvolvimento vegetativo, florescimento e frutificação, a temperatura ideal varia entre 20°C e 30°C. A fase de maturação necessita de temperaturas amenas e de menor umidade.

No sudoeste da Amazônia a baixa insolação (muitos dias cobertos com nuvens) e o excesso de chuvas podem ser os maiores empecilhos para a cultura do algodão. Somente em algumas fases de seu desenvolvimento (germinação, emergência, início do desenvolvimento vegetativo, florescimento e frutificação) a tolerância à deficiência hídrica é menor.

Quanto à incidência de luz solar, o algodão é muito exigente. A insolação (número de horas de brilho solar de um dia) é de grande importância para o algodoeiro, particularmente durante os períodos de desenvolvimento vegetativo e de pleno florescimento.

O algodão é exigente em fertilidade do solo, pouco tolerante à acidez e muito pouco tolerante a solos mal drenados. Por ser uma cultura que favorece os processos erosivos, deve-se cultivá-la somente em solos de pouca declividade.

O algodão pode ser cultivado em uma faixa muito ampla de população (45.500 a 143.000 plantas ha⁻¹), sendo os espaçamentos mais usuais 0,7 a 1,1 m x 0,1 a 0,2 m. A produtividade esperada é de 2.400 kg ha⁻¹ de algodão em caroço.

Embora seja uma cultura que tem se adaptado muito bem à produção em escala, a existência de novas variedades, principalmente com fibras coloridas, poderá representar uma importante opção também para a agricultura familiar.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 48). Se a relação Ca/Mg no solo for superior a três, utilizar calcário dolomítico ou magnesiano. Recomenda-se que o teor mínimo de magnésio no solo seja de $1,0 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$.

Tabela 48. Saturação de bases indicada na cultura do algodoeiro.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com $\text{CTC} < 10 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$	Demais solos com $\text{CTC} > 10 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$
60%	50%	45%

Adubação de Plantio

No plantio devem ser aplicados junto aos fertilizantes indicados (Tabelas 49, 50 e 51), 10 kg ha^{-1} de nitrogênio.

Para as situações em que a dose recomendada de potássio ultrapassar 80 kg ha^{-1} , aplicar a quantidade excedente com a primeira adubação de cobertura com nitrogênio.

Para cada tonelada de algodão em caroço fornecer 15 kg ha⁻¹ de enxofre.

Tabela 49. Doses recomendadas para a adubação fosfatada de plantio na cultura do algodoeiro.

Adubação de fósforo no plantio – P ₂ O ₅ : kg ha ⁻¹				
Potencial de resposta ao fósforo	Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de P no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 2.000	80	60	40
	2.000 a 2.500	100	80	60
	> 2.500	120	100	80
Alto	< 2.000	70	50	30
	2.000 a 2.500	90	70	50
	> 2.500	110	90	70
Nulo	< 2.000	60	40	20
	2.000 a 2.500	80	60	40
	> 2.500	100	80	60
Baixo	< 2.000	50	30	20
	2.000 a 2.500	70	50	40
	> 2.500	90	70	60
Muito baixo	< 2.000	40	20	10
	2.000 a 2.500	60	40	30
	> 2.500	80	60	50

Tabela 50. Doses recomendadas para a adubação potássica de plantio na cultura do algodoeiro.

Adubação de potássio no plantio – K ₂ O: kg ha ⁻¹				
Potencial de resposta ao potássio	Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de K no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 2.000	80	30	30
	2.000 a 2.500	100	70	50
	> 2.500	120	90	70
Alto	< 2.000	70	40	20
	2.000 a 2.500	90	60	40
	> 2.500	110	80	60
Nulo	< 2.000	60	30	10
	2.000 a 2.500	80	50	30
	> 2.500	100	70	50
Baixo	< 2.000	50	20	10
	2.000 a 2.500	70	40	30
	> 2.500	90	60	50
Muito baixo	< 2.000	40	10	0
	2.000 a 2.500	60	30	20
	> 2.500	80	50	40

Tabela 51. Doses recomendadas de micronutrientes para a adubação de plantio na cultura do algodoeiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha ⁻¹			
Zn	3	1	0
B	1	0,5	0

Adubação de Cobertura

A adubação de nitrogênio em cobertura (Tabela 52) deve ser aplicada de 30 a 40 dias após a emergência das plantas, após a realização do desbaste. Se a

quantidade de nitrogênio recomendada ultrapassar 40 kg ha⁻¹, parcelar a aplicação em duas doses, ministrando dois terços na época indicada para uma única aplicação. A segunda dosagem, de um terço da quantidade recomendada, deverá ser aplicada na fase de pleno florescimento (50 a 70 dias após a emergência).

Poderá ser necessário a utilização de regulador de crescimento se for esperado um grande desenvolvimento das plantas.

Se não for aplicado boro no plantio, pode-se aplicá-lo em cobertura, em dosagem até 25% superior a indicada para o plantio. Eventualmente, poderá ser recomendada a aplicação foliar de boro, em no mínimo quatro aplicações sucessivas, a baixo volume, durante o florescimento da cultura e nas dosagens de 0,15 kg ha⁻¹.

Tabela 52. Doses recomendadas para a adubação nitrogenada de cobertura na cultura do algodoeiro.

Adubação de nitrogênio em cobertura – N: kg ha ⁻¹ ano ⁻¹				
Potencial de resposta ao nitrogênio	Produtividade kg ha ⁻¹	Disponibilidade de N no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 2.000	70	50	30
	2.000 a 2.500	80	60	40
	> 2.500	90	70	50
Alto	< 2.000	60	40	20
	2.000 a 2.500	70	50	30
	> 2.500	80	60	40
Nulo	< 2.000	50	30	10
	2.000 a 2.500	60	40	20
	> 2.500	70	50	30
Baixo	< 2.000	40	20	0
	2.000 a 2.500	50	30	10
	> 2.500	60	40	20
Muito baixo	< 2.000	30	10	0
	2.000 a 2.500	40	20	0
	> 2.500	50	30	10

Batata (*Solanum tuberosum* L.)

Informações Gerais

A batata é considerada a quarta fonte de alimentos, depois do arroz, trigo e milho, sendo, atualmente, um dos produtos da alimentação mais cultivados no mundo.

A temperatura ideal para a formação de tubérculos situa-se entre 15°C a 20°C e a planta é muito pouco tolerante a excesso de umidade por ocasião do plantio e da colheita. No plantio, o excesso de umidade pode provocar o apodrecimento do tubérculo semente e, na colheita, a depreciação do produto. Por outro lado, a deficiência de água no início do ciclo de crescimento da planta pode provocar desigualdade na emergência, queima dos brotos e reduzir a produtividade, por inibir o desenvolvimento normal da planta.

No Estado do Acre, o plantio é indicado na época seca, podendo ser aplicada irrigação suplementar na quantidade de 35 mm semanais.

O espaçamento de plantio indicado é de 0,75 a 0,80 m x 0,20 a 0,4 m e seu potencial de produção no Estado é de até 30 Mg ha⁻¹, muito acima da média nacional, embora seja altamente susceptível a doenças, principalmente à murcha-bacteriana e àquelas causadas por nematóides. A meta de produtividade deve estar situada entre 13 e 20 Mg ha⁻¹.

Quanto à adubação, recomendam-se maiores doses de fertilizantes para tubérculo sementes menores ou cultivares de ciclo curto. As doses de nitrogênio devem ser reduzidas em épocas de temperatura mais elevada.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 53). Recomenda-se que o teor mínimo de magnésio no solo seja de $0,8 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$, em locais com baixos teores de cálcio trocável. Sendo a cultivar muito exigente em cálcio, devem-se misturar ao calcário fontes de cálcio de maior solubilidade (gesso agrícola) para elevar a saturação de bases.

Tabela 53. Saturação de bases indicada na cultura da batata.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com $\text{CTC} < 10 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$	Demais solos com $\text{CTC} > 10 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$
50%	45%	40%

Adubação de Plantio

A adubação de plantio deve ser feita segundo disponibilidade dos nutrientes no solo e potencial de resposta à adubação (Tabelas 54 a 57).

Tabela 54. Doses recomendadas para a adubação nitrogenada de plantio na cultura da batata.

Potencial de resposta ao nitrogênio	Adubação de nitrogênio no plantio – N: kg ha ⁻¹		
	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Muito alto	123	88	53
Alto	90	64	38
Nulo (normal)	70	50	30
Baixo	56	40	24
Muito baixo	42	30	18

Tabela 55. Doses recomendadas para a adubação fosfatada de plantio na cultura da batata.

Potencial de resposta ao fósforo	Adubação de fósforo no plantio – P ₂ O ₅ : kg ha ⁻¹		
	Disponibilidade de P no solo		
	Baixa	Média	Alta
Muito alto	338	203	101
Alto	295	177	89
Nulo (normal)	250	150	75
Baixo	220	132	66
Muito baixo	200	120	60

Tabela 56. Doses recomendadas para a adubação potássica de plantio na cultura da batata.

Potencial de resposta ao fósforo	Adubação de potássio no plantio – K ₂ O: kg ha ⁻¹		
	Disponibilidade de K no solo		
	Baixa	Média	Alta
Muito alto	280	175	105
Alto	244	153	92
Nulo (normal)	200	125	75
Baixo	168	105	63
Muito baixo	150	94	56

Tabela 57. Doses recomendadas de boro para a adubação de plantio na cultura da batata.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha ⁻¹			
B	2	1	0

Adubação de Cobertura

A adubação de cobertura deve ser realizada segundo disponibilidade de nitrogênio no solo e potencial de resposta à adubação (Tabela 58), antes da amontoa.

Tabela 58. Doses recomendadas para a adubação nitrogenada de cobertura na cultura da batata.

Adubação de nitrogênio em cobertura – N: kg ha ⁻¹			
Potencial de resposta ao nitrogênio	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Muito alto	123	88	53
Alto	90	64	38
Nulo	70	50	30
Baixo	56	40	24
Muito baixo	42	30	18

Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

Informações Gerais

A mandioca está entre as principais fontes de carboidratos para a alimentação da população acreana, sendo cultivada principalmente em pequenas áreas, em consórcio com milho ou feijão, ou em cultivo solteiro, tanto em áreas recém-desbravadas como naquelas de uso mais intenso. Em solos recém-desbravados é maior o risco de ocorrer problemas devido ao apodrecimento das raízes.

É uma planta que se adapta bem às condições de pluviometria e temperatura do Estado, não apresentando limitações quanto a esse aspecto.

A densidade de plantas indicada varia de 14.000 a 20.000 plantas ha⁻¹, com espaçamentos de 1,0 x 0,5 m e 1,2 x 0,6 m (solos mais férteis), em cultivo solteiro, ou de 0,6 x 0,6 x 2,5 m quando em consórcio com outras culturas.

A produtividade desejada para a cultura da mandioca varia de 10 a 15 Mg ha⁻¹ para variedades de mesa e de 20 a 30 Mg ha⁻¹ para cultivares industriais (produção de farinhas).

A adubação recomendada pode ser dispensada se a mandioca tiver sido cultivada em rotação, após cultura adubada.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 59). Recomenda-se que o teor mínimo de magnésio no solo seja de $0,5 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$.

Tabela 59. Saturação de bases indicada na cultura da mandioca.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < $10 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$	Demais solos com CTC > $10 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$
40%	30%	20%

Adubação de Plantio

A adubação de plantio deve ser feita conforme disponibilidade dos nutrientes no solo (Tabela 60).

Tabela 60. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura da mandioca.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha^{-1}		
P: P_2O_5	60	40	20
K: K_2O	60	30	0
Zn	4	2	0

Adubação de Cobertura

A adubação em cobertura deve ser realizada em duas aplicações, aos 30 e 60 dias após a brotação, conforme disponibilidade de nitrogênio no solo (Tabela 61).

Tabela 61. Doses recomendadas para a adubação nitrogenada de cobertura na cultura da mandioca.

Disponibilidade de N no solo		
Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha ⁻¹		
40	20	0

Frutíferas e Aromáticas Exóticas

As fruteiras constituem um grupo de culturas cuja importância poderá ser crescente em razão da integração entre os mercados andinos e a região do sudoeste da Amazônia Brasileira, além do potencial de exportação para países asiáticos a partir de portos do Pacífico.

A adubação nessas culturas, além de afetar de forma marcante a produtividade, apresenta efeitos também sobre a qualidade dos frutos, conservação, pós-colheita e suscetibilidade das plantas a moléstias.

Por esse motivo, é importante formular adubações adequadas para as culturas produtoras de frutas.

Abacate (*Persea* spp.)

Informações Gerais

As variedades de abacate são agrupadas, segundo sua origem, em três raças. No Brasil, somente as cultivares das raças Antilhana e Guatemalensis ou seus híbridos inter-raciais são cultivados comercialmente.

O abacateiro se adapta melhor a solos profundos e bem drenados, pois os solos mal drenados favorecem o ataque de fungos.

Recomenda-se o plantio intercalado dos grupos florísticos A e B para que haja garantia de uma boa polinização e conseqüente produção.

O espaçamento recomendado é de 10 x 8 m ou 10 x 6 m, o que deverá proporcionar uma produtividade entre 12 e 16 Mg ha⁻¹.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 62). Recomenda-se que o teor mínimo de magnésio no solo seja de 0,9 cmol_(c+) kg⁻¹.

Tabela 62. Saturação de bases indicada na cultura do abacateiro.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
50%	40%	30%

Adubação de Plantio

A adubação de plantio (Tabela 63) deve ser aplicada na cova, misturando-se bem os adubos com a terra de enchimento da cova e aguardando um período mínimo de 30 dias antes do plantio definitivo das mudas.

Tabela 63. Doses recomendadas para a adubação fosfatada de plantio na cultura do abacateiro.

Disponibilidade P no solo		
Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha ⁻¹		
40	20	10

Adubação de Pós-plantio

Realizar três aplicações de nitrogênio, aos 30, 90 e 150 dias após o pegamento das mudas, na quantidade total de 10 kg ha⁻¹.

Adubação de Formação

Aplicar os adubos de acordo com a disponibilidade de nutrientes e idade da cultura (Tabela 64), em

três parcelamentos, no início, meados e final da estação chuvosa, ao redor das plantas e na projeção das copas.

Tabela 64. Doses recomendadas para a adubação de formação na cultura do abacateiro.

Ano	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de nitrogênio em cobertura – N: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
1-2	100	70	40
2-3	100	80	60
3-4	300	200	100
Adubação de fósforo em cobertura – P₂O₅: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
1-2	80	60	40
2-3	160	120	80
3-4	240	180	120
Adubação de potássio em cobertura – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
1-2	50	0	0
2-3	100	50	0
3-4	150	100	50

Adubação de Produção

Aplicar os adubos de acordo com a disponibilidade de nutrientes e produtividade esperada (Tabela 65), em três parcelamentos, no início, meados e final da estação chuvosa, ao redor das plantas e na projeção das copas.

Durante os fluxos de vegetação da primavera e do verão, pulverizar com solução contendo, por litro: 5 g de uréia, 5 g de sulfato de zinco, 2,5 g de sulfato de manganês e 1 g de ácido bórico.

Tabela 65. Doses recomendadas para a adubação de produção na cultura do abacateiro.

Produtividade esperada: kg ha ⁻¹	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de nitrogênio em cobertura N: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 6.000	80	60	40
6.000 a 10.000	100	80	60
10.000 a 20.000	120	100	80
> 20.000	140	120	100
Adubação de fósforo em cobertura P₂O₅: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 6.000	50	20	0
6.000 a 10.000	70	40	10
10.000 a 20.000	90	60	30
> 20.000	110	70	40
Adubação de potássio em cobertura – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 6.000	60	30	0
6.000 a 10.000	90	60	30
10.000 a 20.000	120	90	60
> 20.000	150	120	90

Abacaxi (*Ananas comosus*)

Informações Gerais

O abacaxi é uma planta tropical que se desenvolve bem em clima quente. Não é exigente em fertilidade do solo, adaptando-se melhor a solos bem drenados.

Como as mudas efetuam seu enraizamento no local definitivo, o terreno deve ser bem preparado para o plantio. A uniformidade do ciclo da cultura será proporcional ao uso de mudas sadias, de mesmo tamanho ou peso e de origem semelhante, em cada talhão ou quadra. Aconselha-se a obtenção de mudas a partir de cultivos produtivos, sadios (sem problemas de podridão e ataque de pragas) e, preferencialmente, de plantas de primeira safra. As mudas selecionadas devem ser submetidas ao tratamento da “cura”, fazendo-se a seleção, para o plantio, das sadias e sem sintomas de podridão. Eventualmente, podem ser tratadas quimicamente, visando ao controle de ácaros e cochonilhas.

O espaçamento recomendado são fileiras duplas de 0,4 m de largura, distanciadas de 1,2 m, com 2,5 plantas por metro linear (estande de 31.250 plantas ha⁻¹), podendo-se também usar espaçamentos maiores (fileiras duplas de 0,5 m de largura, distanciadas de 1,2 m, com 2 plantas por metro linear) em estande de 23.500 plantas ha⁻¹.

A produtividade esperada para variedades de consumo in natura, com frutos de 1,3 a 1,5 kg, deverá ser de 40 a 50 Mg ha⁻¹. Para variedades

industriais e exportação, a produtividade deverá ser de 60 a 80 Mg ha⁻¹, com frutos pesando entre 1,8 e 2,2 kg.

A produtividade da segunda safra (soca) será variável em função de diversos fatores, como tratos culturais dispensados no plantio e estado fitossanitário da cultura quando da primeira colheita.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 66). Recomenda-se que o teor mínimo de magnésio no solo seja de 0,5 cmol_(c+) kg⁻¹.

Tabela 66. Saturação de bases indicada na cultura do abacaxizeiro.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
50%	40%	35%

Adubação de Plantio

Deve ser feita no sulco de plantio, conforme disponibilidade de fósforo no solo e a produtividade esperada (Tabela 67).

Tabela 67. Doses recomendadas para a adubação fosfatada de plantio na cultura do abacaxizeiro.

Produtividade esperada: kg ha ⁻¹	Disponibilidade de P no solo - P ₂ O ₅ : kg ha ⁻¹		
	Baixa	Média	Alta
< 30.000	80	60	40
30.000 a 40.000	100	80	60
40.000 a 50.000	120	100	80
> 50.000	140	120	100

Adubação de Cobertura

A adubação de cobertura (Tabela 68) deve ser feita ao lado das linhas, procurando-se atingir as axilas das folhas mais velhas, distribuindo-se os adubos em quatro aplicações, na seguinte proporção: 10% - 20% - 40% e 30%, para plantios feitos no início do período seco (abril/maio). As aplicações, nesse caso, devem ser feitas no 1º ou 2º mês, 8º mês, 10º mês e 12º ou 13º mês após o plantio, respectivamente. Se o plantio for feito no início do período chuvoso (setembro/outubro), devem-se fazer três aplicações, na proporção 10% - 30% e 60%, no 1º ou 2º mês, 5º ou 6º mês e 8º ou 9º mês, respectivamente. Nesse caso, a indução floral será feita no 10º ou 11º mês após o plantio. É importante que na adubação não haja contaminação de solo nas axilas das folhas.

A última aplicação nitrogenada deve ocorrer, no máximo, 60 dias antes da aplicação do regulador de florescimento. Na adubação da soca, usar a metade das doses utilizadas para a primeira produção, distribuindo a adubação em duas aplicações.

Para uma melhor qualidade dos frutos, na adubação potássica, deve-se dar preferência à forma de sulfato ou nitrato de potássio.

Tabela 68. Doses recomendadas para a adubação de cobertura na cultura do abacaxizeiro.

Produtividade esperada: kg ha ⁻¹	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de nitrogênio em cobertura – N: kg ha⁻¹			
< 30.000	300	200	200
30.000 a 40.000	400	300	200
40.000 a 50.000	500	400	300
> 50.000	600	500	400
Adubação de potássio em cobertura – K₂O: kg ha⁻¹			
< 30.000	300	200	100
30.000 a 40.000	400	300	200
40.000 a 50.000	500	400	300
> 50.000	600	500	400

Banana (*Musa* sp.)

Informações Gerais

A bananeira é uma fruteira de clima tropical que exige para seu bom desenvolvimento, temperatura média anual elevada (acima de 22°C), precipitações pluviométricas acima de 1.200 mm anuais bem distribuídas, a fim de não haver períodos de déficit hídrico durante seu ciclo de desenvolvimento.

A planta não é muito exigente quanto a solos, preferindo aqueles bem drenados e com boa disponibilidade de água, não exigindo solos muito profundos, já que seu sistema radicular é relativamente superficial. Entretanto, se houver problemas de má drenagem, o desenvolvimento da planta poderá ser prejudicado.

A padronização das mudas por ocasião do plantio é um fator importante para o sucesso do bananal. As melhores mudas são as do tipo chifrão, com peso igual ou superior a 1,5 kg. Na falta dessas, utilizam-se rizomas ou pedaços, com peso acima de 1 kg. O tratamento preventivo das mudas é fundamental.

Existem diversas cultivares no mercado (nanica, nanição, prata, terra, ouro, maçã), cada uma com características próprias de produção e qualidade. Entretanto, em termos gerais, podem-se esperar produtividades de 10 a 40 Mg ha⁻¹ para lavouras conduzidas tecnicamente (cultivares prata e nanição, respectivamente).

O espaçamento indicado varia segundo o porte da cultivar. Para cultivares de porte baixo ou médio, recomenda-se o espaçamento de 2 x 2 m ou 2 x 2,5 m (2.000 a 2.500 famílias ha⁻¹); para cultivares de porte alto, o espaçamento mais indicado é 2,5 x 3 m ou 3 x 3 m (1.111 a 1.333 famílias ha⁻¹).

Correção do Solo²

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 69). O teor mínimo de magnésio no solo deve ser de 1,0 cmol_(c+) kg⁻¹.

Tabela 69. Saturação de bases indicada na cultura da bananeira.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
50%	45%	40%

Adubação de Plantio

A adubação de plantio deve ser feita conforme a produtividade esperada e disponibilidade de fósforo no solo (Tabela 70). Recomenda-se também aplicar zinco junto à adubação (Tabela 71).

²Valores revistos em relação à publicação anterior (Wadt, 2002).

Tabela 70. Doses recomendadas para a adubação fosfatada de plantio na cultura da bananeira.

Produtividade esperada: kg ha ⁻¹	Disponibilidade de P no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de fósforo no plantio – P₂O₅: kg ha⁻¹			
< 20.000	30	20	10
20.000 a 30.000	40	30	15
30.000 a 40.000	50	40	20
40.000 a 50.000	60	50	25
50.000 a 60.000	70	60	30
> 60.000	80	70	35

Tabela 71. Doses recomendadas de zinco para a adubação de plantio na cultura da bananeira.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha⁻¹			
Zn	5	2,5	0

Adubação de Formação e de Produção

A adubação de fósforo recomendada para formação e produção é o dobro da recomendada na aplicação de cova (Tabela 72). Essa adubação será feita com a segunda aplicação de nitrogênio e potássio, aproximadamente 70 a 90 dias após o plantio.

Nas adubações de nitrogênio e potássio, feitas aos 30-40, 70-90 e 120-150 dias após o plantio, deverão ser aplicados 20%, 50% e 30% das quantidades indicadas (Tabela 72).

Deve-se optar por fontes de nutrientes capazes de fornecer, anualmente, 30 kg ha⁻¹ de enxofre.

A mesma adubação de formação deverá ser utilizada para a de produção, parcelando-se em três aplicações, no início, meados e final do período chuvoso. As quantidades de fósforo serão as indicadas na Tabela 72. A adubação deve ser aplicada em semicírculos de 100 cm de raio, na frente do rebento mais jovem (sentido de deslocamento da família).

Anualmente, devem ser aplicados 25 g de sulfato de zinco se for verificado sintomas de deficiência de zinco nas folhas e 10 g de ácido bórico no orifício aberto do rizoma, por ocasião do desbaste.

Tabela 72. Doses recomendadas para a adubação de cobertura na cultura da bananeira.

Produtividade esperada: kg ha ⁻¹	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de nitrogênio em cobertura – N: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 20.000	50	25	0
20.000 a 30.000	100	50	25
30.000 a 40.000	200	100	50
40.000 a 50.000	300	200	100
50.000 a 60.000	400	300	200
> 60.000	500	400	300
Adubação de fósforo em cobertura – P₂O₅: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 20.000	60	40	20
20.000 a 30.000	80	60	30
30.000 a 40.000	100	80	40
40.000 a 50.000	120	100	50
50.000 a 60.000	140	120	60
> 60.000	160	140	70
Adubação de potássio em cobertura – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 20.000	100	50	0
20.000 a 30.000	200	125	50
30.000 a 40.000	300	200	100
40.000 a 50.000	450	300	150
50.000 a 60.000	600	400	200
> 60.000	750	525	300

Citros (*Citrus* spp.)

Informações Gerais

O gênero *Citrus* é composto por diversas espécies cujo centro de origem mais provável são regiões tropicais e subtropicais da Ásia e do arquipélago Malaio.

De sua região de origem os citros se disseminaram lentamente para os diversos cantos do globo terrestre.

A precipitação ideal para o cultivo de citros está entre 1.000 a 1.300 mm anuais, bem distribuídos. São bastante resistentes a altas temperaturas, a não ser que estas estejam associadas a déficit hídrico no solo ou na atmosfera, ou com ventos quentes e secos. A temperatura ótima para o desenvolvimento da citricultura é de 23°C a 32°C, podendo suportar até 52°C sem apresentar nenhum problema; apenas acima de 39°C a planta ficará em estado de aparente dormência.

Os citros se adaptam bem a quase todo tipo de solo, devido as suas próprias características e à possibilidade de utilização de porta-enxertos adequados a cada situação. A maior limitação quanto ao tipo de solo está na pouca profundidade ou na má drenagem, que devido ao encharcamento, pode conduzir a planta à morte por asfixia, apodrecimento ou doenças de raízes.

O espaçamento recomendado depende da variedade. Para laranjeiras, varia de 7 x 6 m, 8 x 5 m, 9 x 5 m e 7 x 7 m; para limas ácidas, 7 x 6 m e 8,5 m; para tangerinas, 7 x 5 m e 7 x 6 m; e para limoeiros, 8 x 7 m, 9 x 7 m e 9 x 6 m.

A produtividade esperada é de 20.000 a 40.000 kg ha⁻¹, conforme variedade, espaçamento e nível tecnológico do pomar.

Correção do Solo³

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 73). O teor mínimo de magnésio no solo deve ser de 1,0 cmol_(c+) kg⁻¹.

Tabela 73. Saturação de bases indicada na cultura dos citros.

Tipo de solo		
Latosolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
60%	50%	40%

Adubação de Plantio

Na adubação de plantio, os fertilizantes devem ser aplicados em sulcos de 25 a 30 cm de profundidade, de acordo com a disponibilidade dos nutrientes no solo (Tabela 74), independentemente das variedades de citros cultivadas.

³Valores revistos em relação à publicação anterior (Wadt, 2002).

Tabela 74. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura dos citros.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
P: P ₂ O ₅	80	50	30
B	1,5	0	0
Zn	3	1	0

Adubação de Formação

Aplicar os valores indicados segundo disponibilidade no solo e idade da planta (Tabela 75), para todas as variedades de copas. A adubação fosfatada deve ser, preferencialmente, em dose única, pouco antes do início do período chuvoso. A adubação com nitrogênio e potássio deve ser parcelada em quatro vezes, durante o período chuvoso.

Em plantas com idade de 0 a 1 ano, localizar os adubos ao redor da coroa, num raio de 0,5 m; em plantas com 1 a 2 anos, aumentar o raio para 1,5 m; em plantas com idade superior a 2-3 anos, aplicar os fertilizantes nos dois lados, em faixas, de largura igual ao raio da copa, sendo 2/3 dentro e 1/3 fora dela.

Em plantas da variedade Valência, com idade superior a 3 anos, reduzir as doses de potássio em 20%, para melhorar a qualidade dos frutos.

Tabela 75. Doses recomendadas para a adubação de formação na cultura dos citros.

Ano	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de nitrogênio em cobertura – N: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
0-1	100	75	50
1-2	150	125	100
2-3	200	175	150
3-4	300	250	200
4-5	400	350	300
Adubação de fósforo em cobertura – P₂O₅: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
0-1	0	0	0
1-2	100	50	0
2-3	150	75	0
3-4	200	100	0
4-5	300	150	0
Adubação de potássio em cobertura – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
0-1	0	0	0
1-2	50	0	0
2-3	100	50	0
3-4	150	75	0
4-5	250	125	0

Adubação de Produção

As quantidades de adubos a serem aplicadas dependem, em princípio, da variedade cultivada. Entretanto, em face da possibilidade de utilização da diagnose foliar para ajustar a dose adequada, torna-se possível adotar uma mesma tabela de recomendação independentemente da variedade, ajustando-se as doses conforme o potencial de resposta à adubação (Tabelas 76 a 78).

Os fertilizantes devem ser distribuídos em três aplicações: na primeira, recomenda-se 40% da dose

total (início do período chuvoso); na segunda e terceira aplicações, recomenda-se 30% da dose total em cada uma (meados e final do período chuvoso), nos dois lados da planta, em faixas, de largura igual ao raio da copa, sendo dois terços dentro e um terço fora dela.

Deve-se aplicar anualmente mistura de micronutrientes, com a seguinte composição⁴: sulfato de zinco ($3,5 \text{ g L}^{-1}$), sulfato de manganês ($2,5 \text{ g L}^{-1}$), ácido bórico ($1,0 \text{ g L}^{-1}$) e uréia ($5,0 \text{ g L}^{-1}$). Devem ser realizadas quatro pulverizações em pomares com idade inferior a 4 anos e duas em pomares em produção, todas no período de início das chuvas, quando houver a brotação das plantas.

⁴Para uma correta aplicação das quantidades recomendadas, deve-se procurar molhar adequadamente a folhagem das árvores de citros.

Tabela 76. Doses recomendadas para a adubação nitrogenada de cobertura na cultura dos citros.

Adubação de fósforo em cobertura – P ₂ O ₅ : kg ha ⁻¹ ano ⁻¹				
Potencial de resposta ao fósforo	Produtividade esperada Mg ha ⁻¹	Disponibilidade de P no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 15	80	60	40
	15 a 20	100	80	60
	20 a 30	120	100	80
	30 a 40	140	120	100
	40 a 50	160	140	120
	> 50	180	160	140
Alto	< 15	60	40	20
	15 a 20	80	60	30
	20 a 30	100	80	40
	30 a 40	120	100	50
	40 a 50	140	120	60
	> 50	160	140	70
Nulo	< 15	40	20	10
	15 a 20	60	30	15
	20 a 30	80	40	20
	30 a 40	100	50	25
	40 a 50	120	60	30
	> 50	140	70	35
Baixo	< 15	20	10	0
	15 a 20	30	15	0
	20 a 30	40	20	10
	30 a 40	50	25	10
	40 a 50	60	30	15
	> 50	70	35	15
Muito baixo	< 15	10	0	0
	15 a 20	15	0	0
	20 a 30	20	10	0
	30 a 40	25	10	0
	40 a 50	30	15	0
	> 50	35	15	0

Tabela 77. Doses recomendadas para a adubação fosfatada de cobertura na cultura dos citros.

Adubação de fósforo em cobertura – P ₂ O ₅ : kg ha ⁻¹ ano ⁻¹				
Potencial de resposta ao fósforo	Produtividade esperada Mg ha ⁻¹	Disponibilidade de P no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 15	80	60	40
	15 a 20	100	80	60
	20 a 30	120	100	80
	30 a 40	140	120	100
	40 a 50	160	140	120
	> 50	180	160	140
Alto	< 15	60	40	20
	15 a 20	80	60	30
	20 a 30	100	80	40
	30 a 40	120	100	50
	40 a 50	140	120	60
	> 50	160	140	70
Nulo	< 15	40	20	10
	15 a 20	60	30	15
	20 a 30	80	40	20
	30 a 40	100	50	25
	40 a 50	120	60	30
	> 50	140	70	35
Baixo	< 15	20	10	0
	15 a 20	30	15	0
	20 a 30	40	20	10
	30 a 40	50	25	10
	40 a 50	60	30	15
	> 50	70	35	15
Muito baixo	< 15	10	0	0
	15 a 20	15	0	0
	20 a 30	20	10	0
	30 a 40	25	10	0
	40 a 50	30	15	0
	> 50	35	15	0

Tabela 78. Doses recomendadas para a adubação potássica de cobertura na cultura dos citros.

Adubação de potássio em cobertura – P ₂ O ₅ : kg ha ⁻¹ ano ⁻¹				
Potencial de resposta ao potássio	Produtividade esperada Mg ha ⁻¹	Disponibilidade de K no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 15	60	40	20
	15 a 20	80	60	30
	20 a 30	100	80	50
	30 a 40	120	100	70
	40 a 50	140	120	80
	> 50	160	140	90
Alto	< 15	40	30	10
	15 a 20	60	40	20
	20 a 30	80	60	30
	30 a 40	100	80	50
	40 a 50	120	90	70
	> 50	140	110	90
Nulo	< 15	30	20	0
	15 a 20	40	30	0
	20 a 30	60	40	10
	30 a 40	80	50	20
	40 a 50	90	60	30
	> 50	110	70	40
Baixo	< 15	20	0	0
	15 a 20	30	0	0
	20 a 30	40	10	0
	30 a 40	50	20	0
	40 a 50	60	30	10
	> 50	70	40	20
Muito baixo	< 15	0	0	0
	15 a 20	0	0	0
	20 a 30	10	0	0
	30 a 40	20	0	0
	40 a 50	30	10	0
	> 50	40	20	0

Coco (*Cocos nucifera* L.)

Informações Gerais

O coqueiro é uma planta de clima tropical, cujas condições climáticas ideais situa-se entre as latitudes 20° N e 20° S. Para seu melhor desenvolvimento o coqueiro requer clima quente sem grandes oscilações de temperatura, sendo ideal uma média anual de 27°C com variações diárias de 5°C a 7°C.

Temperaturas inferiores a 15°C são prejudiciais à cultura, por provocar desordens fisiológicas como parada do crescimento e abortamento de flores. Por outro lado, temperaturas mais elevadas que a ótima são toleradas, desde que coincidentes com valores médios para a umidade atmosférica e boa disponibilidade de água no solo. Umidade atmosférica muito baixa ou muito alta é prejudicial à cultura, por interromper o desenvolvimento da planta e dificultar a absorção de nutrientes pela redução da transpiração, respectivamente.

O coqueiro é exigente em precipitação (a anual deve ser acima de 1.500 mm, bem distribuídos), em luminosidade e necessita de ventos fracos a moderados, que o auxiliam na transpiração.

Embora se trate de uma planta pouco exigente quanto ao tipo de solo, o coqueiro não tolera solos excessivamente argilosos e que apresentem camadas adensadas ou impermeáveis, que impeçam a penetração das raízes ou que criem condições de má aeração. Assim, é importante observar se os solos a

serem escolhidos para o plantio dessa palmácea não apresentam indícios de baixa aeração (má drenagem), como a presença de plintita, fragipan ou duripan. Por outro lado, solos com maior desenvolvimento pedológico (Latosolos, por exemplo) podem ser limitantes por tornar o suprimento de água dependente apenas da precipitação. Solos bem drenados são ideais para o cultivo do coqueiro, porém com lençol freático elevado, como ocorre no litoral nordestino.

O espaçamento de plantio varia com o porte da planta, sendo recomendado 9 x 9 m para variedades gigantes; 8,5 x 8,5 m para os híbridos; 7,5 x 7,5 m para as variedades anãs, devendo o plantio das mudas ser feito em triângulos, para se obter, respectivamente, um estande final de 143, 160 ou 205 plantas ha⁻¹.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 79).

Tabela 79. Saturação de bases indicada na cultura do coqueiro.

	Tipo de solo	
	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada		
	40%	30%

Adubação de Plantio

A adubação fosfatada de plantio deve ser aplicada na cova, misturando-se bem os adubos com a terra de enchimento da cova e aguardando um período mínimo de 30 dias antes do plantio. O nitrogênio e o potássio devem ser aplicados em duas parcelas, no período de 90 a 120 dias após o plantio. As doses são definidas em função da disponibilidade dos nutrientes no solo (Tabela 80).

Tabela 80. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura do coqueiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
N	15	10	5
P: P ₂ O ₅	30	15	8
K: K ₂ O	25	15	5

Adubação de Primeiro Ano

O nitrogênio e o potássio devem ser aplicados, ao final do período chuvoso, no primeiro ano de plantio, nas quantidades indicadas (Tabela 81). Deve-se utilizar como fonte de potássio o cloreto de potássio, pois o coqueiro é altamente exigente em cloro.

Tabela 81. Doses recomendadas para a adubação de primeiro ano na cultura do coqueiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
N	15	10	5
K: K ₂ O	25	15	5

Adubação de Produção

A partir do segundo ano, aplicar as quantidades recomendadas segundo disponibilidade dos nutrientes no solo (Tabela 82), sendo todo o fósforo e metade do nitrogênio e do potássio aplicados no início da estação chuvosa e, o restante, ao final.

As adubações de cobertura devem ser aplicadas em faixas circulares ao redor da planta, iniciando-se a 0,5 m de distância do caule e terminando na projeção da copa do coqueiro.

Tabela 82. Doses recomendadas para a adubação de produção na cultura do coqueiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
N	30	20	10
P: P ₂ O ₅	10	5	0
K: K ₂ O	24	12	6

Mamão (*Carica papaya* L.)

Informações Gerais

A origem do mamoeiro é ainda bastante discutida, porém, acredita-se que seja originário da América Tropical, numa faixa abrangendo desde o México até o Chile e a Argentina.

O mamão é um fruto rico em vitaminas A e C, sendo consumido tanto in natura como industrializado, tais como pedaços cristalizados, sucos, purês, geléias, doces, saladas de frutas, etc. O mamoeiro é ainda importante fonte de papaína, uma enzima proteolítica encontrada no látex das folhas e frutos e utilizada nas indústrias de bebidas, carnes, tecidos, cosméticos, laticínios e farmacêuticas. O mamoeiro apresenta três formas de flores, que conferem às plantas diferentes tipos: hermafroditas, femininas e masculinas. Dependendo das flores que lhes derem origem, os frutos poderão ser alongados ou arredondados.

Por tratar-se de uma cultura tipicamente tropical, o mamoeiro requer condições de clima quente e alta precipitação pluviométrica, desenvolvendo-se bem em regiões com temperaturas médias anuais de 21°C a 33°C, sendo suficientes índices pluviométricos superiores a 1.200 mm anuais para um bom desenvolvimento da cultura, embora precipitações entre 1.800 e 2.000 mm sejam mais favoráveis.

Se houver períodos de insuficiência hídrica, será necessário o fornecimento mensal de 100 a 150 mm, através de irrigações.

Não há limitações de altitude se as outras condições climáticas forem atendidas, porém, o mamoeiro desenvolve-se melhor em baixa altitude (0 a 200 m), apresentando, entretanto, pouca tolerância a ventos fortes.

A planta é pouco tolerante a solos encharcados e dois dias de excesso de água podem ser suficientes para matar o seu sistema radicular. Além disso, o excesso de umidade pode ocasionar o apodrecimento das raízes pelo ataque de fungos, razão pela qual se deve evitar o plantio em solos compactados ou com restrições à drenagem.

O espaçamento mais indicado para o mamoeiro é 3 x 2 m, 3 x 3 m ou 4,5 x 2 m, com três plantas por cova, cuja produção esperada pode variar de 25 a 50 Mg ha⁻¹.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 83). Deve-se dar preferência ao uso de calcário dolomítico, a menos que o solo apresente altos teores de magnésio em relação ao cálcio.

Tabela 83. Saturação de bases indicada na cultura do mamoeiro.

	Tipo de solo	
	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada		
	80%	50%

Adubação de Plantio

A adubação fosfatada e potássica pode ser aplicada na cova de plantio. A adubação nitrogenada deve ser aplicada metade um mês após o plantio e, a outra metade, após o terceiro mês do plantio. As quantidades nos nutrientes devem ser definidas segundo suas disponibilidades no solo (Tabela 84).

Tabela 84. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura do mamoeiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
N	12	6	0
P: P ₂ O ₅	80	60	40
K: K ₂ O	40	30	20

Adubação de Produção

A adubação nitrogenada, fosfatada e potássica de produção, a partir do segundo ano, deve variar de acordo com a produtividade esperada e a disponibilidade de nutrientes no solo (Tabela 85). A aplicação de boro e zinco pode também ser necessária, conforme disponibilidade no solo (Tabela 86).

Tabela 85. Doses recomendadas para a adubação nitrogenada, fosfatada e potássica de produção na cultura do mamoeiro.

Produtividade (Mg ha ⁻¹)	Disponibilidade de P no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de nitrogênio em cobertura – N: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 25	90	70	50
25 a 50	120	90	60
> 50	150	120	90
Adubação de fósforo em cobertura – P₂O₅: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 25	60	40	20
25 a 50	80	60	40
> 50	100	80	60
Adubação de potássio em cobertura – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 25	80	60	40
25 a 50	120	90	60
> 50	160	120	80

Tabela 86. Doses de boro e zinco recomendadas para a adubação de produção na cultura do mamoeiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha⁻¹			
B	2	1	0
Zn	4	2	0

Manga (*Mangifera indica* L.)

Informações Gerais

A cultura da mangueira vem se desenvolvendo rapidamente, tanto devido à presença de um forte mercado exportador para a Europa, como também pelo crescimento do mercado interno.

A mangueira é muito sensível a baixas temperaturas, que causam danos tanto ao desenvolvimento da planta como à produção. É exigente também à luminosidade, sendo pouco tolerante à sombra. Tolerante bem temperaturas elevadas e altas precipitações, e um período seco durante o ano, coincidente com o florescimento, favorece a produção.

Para um bom desenvolvimento da árvore, recomenda-se seu plantio em solos com uma profundidade mínima do perfil de dois metros.

O espaçamento de plantio pode ser de 10 x 12 m a até 6 x 8 m, dependendo do porte da variedade cultivada, cuja produção pode atingir de 10 a 20 Mg ha⁻¹.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 87).

Tabela 87. Saturação de bases indicada na cultura da mangueira.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
60%	50%	40%

Adubação de Plantio

A adubação de plantio deve ser misturada na cova, com a melhor terra da superfície. As doses variam conforme a disponibilidade de nutrientes no solo (Tabela 88).

Tabela 88. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura da mangueira.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha ⁻¹			
P: P ₂ O ₅	20	10	0
Zn	0,5	0	0

Adubação de Formação

Aplicar os valores indicados conforme disponibilidade do nutriente no solo e idade da cultura (Tabela 89). A adubação fosfatada deve ser, preferencialmente, em dose única, pouco antes do início do período chuvoso. A adubação com nitrogênio e potássio deve ser parcelada em três vezes, no início, meio e final do período chuvoso, ao redor das plantas e na projeção da copa.

Tabela 89. Doses recomendadas para a adubação de formação na cultura da mangueira.

Ano	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de nitrogênio em cobertura – N: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
0-1	5	0	0
1-2	10	5	0
2-3	15	10	5
3-4	20	15	10
Adubação de fósforo em cobertura – P₂O₅: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
0-1	10	5	0
1-2	20	10	5
2-3	30	20	10
3-4	40	30	20
Adubação de potássio em cobertura – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
0-1	5	0	0
1-2	10	5	0
2-3	20	10	5
3-4	30	20	10

Adubação de Produção

Aplicar os adubos de acordo com a análise de solo que deve ser realizada anualmente ou a cada 2 anos (Tabela 90). Aplicar o fósforo, preferencialmente em dose única, e nitrogênio e potássio em três parcelamentos, no início, meados e final da estação chuvosa, ao redor das plantas e na projeção das copas.

Por ocasião do primeiro tratamento fitossanitário, visando à proteção da florada, e antes da emissão da panícula, acrescentar à calda de pulverização 3 g L⁻¹ de sulfato de zinco e 1 g L⁻¹ de ácido bórico, devendo-se repetir essa aplicação se houver novo fluxo de brotação nas plantas.

Tabela 90. Doses recomendadas para a adubação de produção na cultura da mangueira.

Produtividade esperada: kg ha ⁻¹	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de nitrogênio em cobertura – N: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 10.000	20	10	0
10.000 a 15.000	30	20	10
15.000 a 20.000	40	30	20
> 20.000	50	40	30
Adubação de fósforo em cobertura – P₂O₅: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 10.000	20	10	0
10.000 a 15.000	30	15	0
15.000 a 20.000	40	20	0
> 20.000	60	30	0
Adubação de potássio em cobertura – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 10.000	20	10	0
10.000 a 15.000	30	15	0
15.000 a 20.000	40	20	0
> 20.000	50	25	0

Maracujá (*Passiflora edulis*)

Informações Gerais

Existem duas variedades principais de maracujá: amarelo (*P. edulis* f. *flavicarpa* Deg.) e roxo (*P. edulis* Sims). O maracujá amarelo apresenta maior resistência à fusariose e maior produtividade por área, é melhor adaptado a altas temperaturas e seus frutos são maiores.

O plantio do maracujá em solos recém-desmatados, devido à alta incidência de fusariose nessas condições, deve ser evitado e também, pelos mesmos motivos, o plantio em terrenos com drenagem deficiente, já que o excesso de umidade favorece o apodrecimento das raízes, que normalmente, concentram-se em pequeno volume de solo, principalmente nas culturas irrigadas.

Os espaçamentos de plantio mais indicados são 6 x 4 m, 6 x 3 m ou 6 x 2,5 m, e a produtividade normalmente será de 6 a 10 Mg ha⁻¹ no primeiro ano, 15 a 25 Mg ha⁻¹ no segundo e 10 a 15 Mg ha⁻¹ no terceiro ano, podendo, em culturas bem manejadas, atingir valores superiores a 35 Mg ha⁻¹ no segundo ano.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 91). Se o teor de magnésio for inferior a 0,8 cmol₍₊₎ kg⁻¹, usar preferencialmente calcário dolomítico.

Tabela 91. Saturação de bases indicada na cultura do maracujazeiro.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
70%	60%	50%

Adubação de Plantio

A adubação de plantio, determinada segundo a disponibilidade dos nutrientes no solo (Tabela 92), deve ser misturada na cova com a melhor terra da superfície e aplicada no mínimo 30 dias antes do transplante das mudas para o local definitivo.

Tabela 92. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura do maracujazeiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha ⁻¹			
P: P ₂ O ₅	100	75	50
B	0,5	0	0
Zn	2,0	0,5	0

Adubação de Formação

Na adubação de formação, aplicar os valores indicados conforme disponibilidade dos nutrientes no solo (Tabela 93). A adubação fosfatada deve ser, preferencialmente, em dose única, pouco antes do início do período chuvoso. A adubação com nitrogênio e potássio deve ser parcelada em quatro

vezes, durante o período das chuvas, aplicando-se 15%, 20%, 25% e 40% da dose de nitrogênio indicada em cada aplicação (Tabela 93); a adubação potássica deve ser parcelada em duas vezes, com a terceira e a quarta aplicações de nitrogênio.

Tabela 93. Doses recomendadas para a adubação de formação na cultura do maracujazeiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha ⁻¹			
N	40	20	0*
K: K ₂ O	25	15	0

*Nessas condições, a cultura estará sujeita à maior incidência de fusariose.

Adubação de Produção

Para a adubação de produção, aplicar os adubos de acordo com a disponibilidade dos nutrientes no solo e produtividade esperada (Tabela 94).

A adubação com zinco e boro deve ser realizada por meio de uma única aplicação, no início do período chuvoso, conforme disponibilidade desses micronutrientes no solo (Tabela 95).

Poderá ser necessária adubação com molibdênio, devendo-se aplicar, nesse caso, 10 g de molibdato de amônio por 100 litros de água.

Tabela 94. Doses recomendadas para a adubação nitrogenada, fosfatada e potássica de produção na cultura do maracujazeiro.

Produtividade esperada: Mg ha ⁻¹	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de nitrogênio em cobertura – N: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 10	20	0	0
10 a 15	40	10	0
15 a 20	60	20	0
20 a 25	80	40	10
25 a 30	100	60	20
30 a 35	120	80	40
> 35	140	100	60
Adubação de fósforo em cobertura – P₂O₅: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 10	20	0	0
10 a 15	40	10	0
15 a 20	60	20	0
20 a 25	80	40	10
25 a 30	100	60	20
30 a 35	120	80	40
> 35	140	100	60
Adubação de potássio em cobertura – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
< 10	60	0	0
10 a 15	120	0	0
15 a 20	180	60	0
20 a 25	240	120	0
25 a 30	300	180	60
30 a 35	360	240	120
> 35	420	300	180

Tabela 95. Doses de boro e zinco recomendadas para a adubação de produção na cultura do maracujazeiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha⁻¹			
B	1	0,5	0
Zn	4	2	0

Pimenta-do-reino (*Piper sp.*)

Informações Gerais

A pimenta-do-reino é uma planta bem adaptada às condições de clima equatorial e tropical, sendo também uma ótima alternativa para consórcios e sistemas agroflorestais.

Em plantios solteiros, recomenda-se o espaçamento de 2 x 2,5 m ou 2 x 2 m.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 96).

Tabela 96. Saturação de bases indicada na cultura da pimenta-do-reino.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
70%	60%	50%

Adubação de Plantio e de Formação

A adubação de plantio deve ser feita com fósforo, com ou sem a aplicação de esterco de curral curtido. O nitrogênio e o potássio devem ser aplicados em cobertura, antes do florescimento da planta, e as doses de adubos definidas segundo a disponibilidade dos nutrientes no solo (Tabela 97).

Tabela 97. Doses recomendadas para a adubação de plantio e formação na cultura da pimenta-do-reino.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha ⁻¹			
N	120	80	40
P: P ₂ O ₅	120	90	60
K: K ₂ O	90	60	30

Adubação de Produção

A adubação de produção deve ser feita de acordo com a disponibilidade dos nutrientes no solo (Tabela 98), antes, durante e após o período de florescimento.

Tabela 98. Doses recomendadas para a adubação de produção na cultura da pimenta-do-reino.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha ⁻¹			
N	90	60	30
P: P ₂ O ₅	80	40	20
K: K ₂ O	100	50	30

Fruteiras da Amazônia

O cultivo de fruteiras nativas da Amazônia ainda é bastante incipiente, na maioria dos casos com áreas totais de plantio inferiores a 500 ha e muitas vezes em sistemas agroflorestais ou consórcios de baixa produtividade e, portanto, com baixa exportação de nutrientes.

Entretanto, nos sistemas agroflorestais implantados há mais tempo já se observam deficiências de alguns nutrientes, principalmente pela exportação e processos erosivos.

As recomendações de adubação para as fruteiras nativas foram destinadas à cultivar solteiro, entretanto devem ser adaptadas às diferentes situações de consórcios que ocorrem no Estado.

Açaí (*Euterpe oleraceae* Mart. e *Euterpe precatoria* Mart.)

Informações Gerais

A palmeira açaí é uma planta tipicamente tropical, cujos frutos são usados para a produção de sucos de alto valor energético e nutricional. Na Amazônia existem duas espécies de açaí (açaí de touceira – *Euterpe oleraceae* – e açaí solteiro – *Euterpe precatoria*), que ocorrem na bacia do Alto Amazonas e seus afluentes, sendo essa última a espécie mais comum no Estado do Acre.

O açaí de touceira pode ser cultivado em espaçamento de 5 x 5 m e, o solteiro, no espaçamento de 4 x 4 m, cujas produtividades podem chegar, respectivamente, a 12 e 5 Mg ha⁻¹.

O açaí solteiro prefere solos moderadamente a imperfeitamente drenados, férteis e pouco a muito profundos.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 99).

Tabela 99. Saturação de bases indicada na cultura do açaí.

	Tipo de solo	
	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	50%	45%
		40%

Adubação de Plantio

A adubação de plantio (Tabela 100) deve ser aplicada na cova, misturando-se bem os adubos com a terra de enchimento da cova e aguardando um período mínimo de 30 dias antes do plantio.

Tabela 100. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura do açaí.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
P: P ₂ O ₅	60	40	20
K: K ₂ O	30	20	10

Adubação de Formação

A adubação de formação deverá ser feita no início, meio e final do período chuvoso, na quantidade total de 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio e 15 kg ha⁻¹ de K₂O, durante o período de crescimento da cultura.

Adubação de Produção

A adubação de produção (Tabela 101) deve se iniciar no primeiro ano de produção da cultura, sendo os adubos aplicados lateralmente à linha da cultura, a uma distância de aproximadamente 10 cm das plantas. O fósforo deve ser aplicado de uma única vez no primeiro parcelamento da adubação nitrogenada e potássica, a qual deve ser dividida em três aplicações, no início, meio e final do período chuvoso.

Tabela 101. Doses recomendadas para a adubação de produção na cultura do açaí.

Nutriente	Adubação na fase de produção – kg ha ⁻¹ ano ⁻¹		
	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
N	50	20	10
P ₂ O ₅	20	10	0
K ₂ O	40	20	10

Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*)

Informações Gerais

O cupuaçuzeiro é uma planta típica da Amazônia, sendo largamente cultivado em quintais e como componente arbóreo de sistemas agroflorestais. Adapta-se bem a temperaturas altas e sob condições de elevadas precipitações pluviométricas.

A cultura desenvolve-se tanto em solos de terra firme como em áreas de várzea alta (pontos marginais da floresta, temporariamente inundáveis pelos rios) e com média a alta fertilidade.

O espaçamento recomendado para a cultura é de 5,0 x 5,0 m a 8 x 8 m, sendo mais adequado o espaçamento de 7 x 7 m.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 102).

Tabela 102. Saturação de bases indicada na cultura do cupuaçuzeiro.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
50%	40%	30%

Adubação de Plantio

A adubação de plantio, determinada segundo disponibilidade de nutrientes no solo (Tabela 103), deve ser aplicada na cova, misturando-se bem os adubos com a terra de enchimento da cova e aguardando um período mínimo de 30 dias antes do plantio.

Tabela 103. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura do cupuaçuzeiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
P: P ₂ O ₅	80	60	40
K: K ₂ O	20	10	0

Adubação de Pós-plantio

A adubação de pós-plantio deverá ser feita na quantidade de 10 g de nitrogênio por cova, em intervalos regulares de 30 dias, em quatro aplicações anuais durante o período chuvoso (quantidade total de 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio).

Adubação de Formação

A adubação de formação deve ser feita durante os três primeiros anos de implantação da cultura, em quantidades indicadas pela disponibilidade dos nutrientes no solo e idade da cultura (Tabela 104).

Tabela 104. Doses recomendadas para a adubação de formação na cultura do cupuaçuzeiro.

Ano	Disponibilidade de N no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação de nitrogênio em cobertura – N: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
1	20	10	0
2	40	20	10
3	60	30	20
Adubação de fósforo em cobertura – P₂O₅: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
1	30	10	0
2	40	20	0
3	50	30	10
Adubação de potássio em cobertura – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
1	30	20	10
2	45	30	15
3	60	40	20

Adubação de Produção

A adubação de produção deve ser realizada a partir do quarto ano de implantação da cultura, conforme disponibilidade de nutrientes no solo (Tabela 105).

Tabela 105. Doses recomendadas para a adubação de produção na cultura do cupuaçuzeiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha⁻¹			
N	20	10	0
P: P ₂ O ₅	40	20	0
K: K ₂ O	20	10	0

Guaraná (*Paullinia cupuana*)

Informações Gerais

O guaranazeiro ocorre naturalmente na Amazônia Brasileira e na bacia superior do Rio Orenoco, na Venezuela, estando climaticamente adaptado às condições de alta temperatura, alta umidade relativa do ar e altas precipitações.

Quanto aos solos, prefere os férteis desde que bem drenados e profundos, já que a planta não tolera o encharcamento nos solos pouco ou imperfeitamente drenados. Nos primeiros meses, devido à necessidade de sombreamento, recomenda-se que o plantio seja feito em consórcio com mandioca ou bananeira, sendo este plantado pelo menos 6 meses antes do guaranazeiro.

O espaçamento de plantio recomendado é de 5 x 4 m ou 5 x 5 m, para mudas de sementes, e 6 x 3 m ou 6 x 4 m para mudas de clones.

A produtividade por planta normalmente está entre 200 a 500 kg ha⁻¹.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 106).

Tabela 106. Saturação de bases indicada na cultura do guaranazeiro.

Tipo de solo		
Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
50%	40%	30%

Adubação de Plantio

A adubação de plantio deve ser aplicada na cova, conforme disponibilidade dos nutrientes no solo (Tabela 107), misturando-se bem os adubos com a terra de enchimento da cova e aguardando um período mínimo de 30 dias antes do plantio.

Tabela 107. Doses recomendadas para a adubação de plantio na cultura do guaranazeiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação em kg ha ⁻¹			
P: P ₂ O ₅	70	50	30
K: K ₂ O	30	20	10

Adubação de Pós-plantio

A adubação de pós-plantio deverá ser feita aos 45, 60 e 90 dias após o plantio (se ainda coincidente com o período chuvoso), na quantidade total de 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Adubação de Formação

A adubação de formação deve ser feita antes da fase de produção, durante o período chuvoso, nas quantidades indicadas conforme disponibilidade dos nutrientes no solo (Tabela 108).

Tabela 108. Doses recomendadas para a adubação de formação na cultura do guaranazeiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
N	40	20	10
P: P ₂ O ₅	40	20	0
K: K ₂ O	20	10	0

Adubação de Produção

A adubação de produção deve ser realizada durante a fase de produção da cultura, nas quantidades indicadas conforme disponibilidade dos nutrientes no solo (Tabela 109).

Tabela 109. Doses recomendadas para a adubação de produção na cultura do guaranazeiro.

Elemento	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
	Adubação em kg ha ⁻¹		
N	60	40	20
P: P ₂ O ₅	40	20	0
K: K ₂ O	50	30	10

Pastagens (Forrageiras)

As recomendações de calagem e adubação para as pastagens foram feitas em função do grau de exigência da gramínea ou leguminosa em fertilidade do solo, das próprias informações de fertilidade do solo, do tipo de exploração da pastagem (gramínea exclusiva ou consórcio gramíneas–leguminosas) e, finalmente, do histórico da área (formação em área recém-desbravada, renovação de pastagem ou formação em área agrícola, manutenção de pastagens).

As gramíneas recomendadas para plantio em pastagens no Estado do Acre foram classificadas em três graus de exigência quanto à fertilidade do solo (alto, médio e baixo) e, as leguminosas classificadas como de baixo grau de exigência (Tabela 110).

Tabela 110. Classificação quanto ao grau de exigência em fertilidade do solo para gramíneas e leguminosas recomendadas para plantio no Estado do Acre.

Gramíneas	Grau de exigência
<i>Cynodon nlemfluensis</i> (Estrela Africana Roxa)	Alto
<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia-1	Alto
<i>Pennisetum purpureum</i> (Elefante, Napier)	Alto
<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Médio
<i>Panicum maximum</i> cv. Massai	Médio
<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	Alto
<i>Brachiaria decumbens</i>	Baixo
<i>Brachiaria humidicola</i>	Baixo
<i>Brachiaria ruziziensis</i>	Médio
<i>Paspalum atratum</i> cv. Pojuca	Baixo
Leguminosas	
<i>Arachis pintoi</i> cv. Belmonte	Baixo
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Baixo

Com base nessas informações, as recomendações foram distribuídas em sete grupos, conforme se descreve a seguir:

Grupo 1: Gramíneas de alto grau de exigência, em plantio exclusivo.

Grupo 2: Gramíneas de médio grau de exigência, em plantio exclusivo.

Grupo 3: Gramíneas de baixo grau de exigência, em plantio exclusivo.

Grupo 4: Leguminosas de baixo grau de exigência, em plantio exclusivo.

Grupo 5: Consórcio de gramíneas de alto grau de exigência com leguminosas.

Grupo 6: Consórcio de gramíneas de médio grau de exigência com leguminosas.

Grupo 7: Consórcio de gramíneas de baixo grau de exigência com leguminosas.

Pastagem em Formação – Áreas Recém desbravadas

Informações Gerais

Pastagens formadas sobre capoeiras devem ser avaliadas quanto à necessidade da aplicação de calcário e de adubação fosfatada. Em casos de pastagens formadas sobre cobertura florestal nativa, a correção do solo e a adubação podem ser dispensadas.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 111).

Tabela 111. Saturação de bases indicada para formação de pastagens.

Grupo	Tipo de solo		
	Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol _(c+) kg ⁻¹	Demais solos com CTC > 10 cmol _(c+) kg ⁻¹
1, 5 ou 6	50%	40%	30%
2 ou 7	40%	30%	20%
3	30%	25%	20%
4	60%	50%	40%

Adubação de Formação

Aplicar a adubação fosfatada conforme disponibilidade no solo (Tabela 112). Nas pastagens com leguminosas exclusivas ou gramínea consorciada com leguminosas, misturar às sementes 50 g ha⁻¹ de molibdênio.

Tabela 112. Doses recomendadas para a adubação de formação de pastagens.

Grupo	Adubação fosfatada – P ₂ O ₅ : kg ha ⁻¹		
	Disponibilidade do nutriente no solo		
	Baixa	Média	Alta
1	60	40	20
2	30	20	10
3	15	10	0
4	40	20	10
5	80	60	40
6	40	30	20
7	20	15	10

Pastagem em Renovação ou Formação em Sucessão a Lavouras

Informações Gerais

As recomendações a seguir servem para pastagens sobre áreas agrícolas não adubadas ou quando a renovação for realizada diretamente sobre área de pastagem degradada.

Correção do Solo

Elevar a saturação de bases do solo para os valores mínimos indicados (Tabela 113).

Tabela 113. Saturação de bases indicada para renovação de pastagens.

Grupo	Tipo de solo		
	Latossolos ou solos com textura arenosa na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 $\text{cmol}_{(\text{c}+)} \text{kg}^{-1}$	Demais solos com CTC > 10 $\text{cmol}_{(\text{c}+)} \text{kg}^{-1}$
	Valor indicado para a saturação de bases do solo		
1, 4, 5 ou 6	60	50	40
2 ou 7	50	40	30
3	40	30	20

Adubação de Renovação

Aplicar a adubação nitrogenada segundo o grupo de pastagens (Tabela 114). A adubação fosfatada e potássica deve ser realizada conforme disponibilidade do nutriente no solo e grupo de pastagem (Tabela 115), utilizando-se o mesmo critério para a adubação com micronutrientes (Tabela 116). Nas pastagens com leguminosas exclusivas ou gramínea consorciada com leguminosas, misturar às sementes 50 g ha⁻¹ de molibdênio. Deve-se utilizar fonte de adubação que possibilite o fornecimento de 10 a 20 kg ha⁻¹ de enxofre.

Tabela 114. Doses recomendadas para a adubação nitrogenada de renovação de pastagens.

Adubação nitrogenada	
Grupo	N: kg ha ⁻¹
1	40
2	20
3	0
4	0
5	40
6	20
7	10

Tabela 115. Doses recomendadas para a adubação fosfatada e potássica de renovação de pastagens.

Grupo	Disponibilidade do nutriente no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação fosfatada – P₂O₅: kg ha⁻¹			
1	80	40	0
2	60	30	0
3	40	20	0
4	100	70	40
5	90	70	50
6	70	50	30
7	50	30	10
Adubação potássica – K₂O: kg ha⁻¹			
1	50	30	10
2	40	20	0
3	30	10	0
4	60	40	20
5	60	40	20
6	50	30	10
7	40	20	0

Tabela 116. Doses de zinco, cobre e boro recomendadas para a adubação de renovação de pastagens.

Adubação com micronutrientes – kg ha⁻¹				
Nutriente	Grupo	Disponibilidade do nutriente no solo		
		Baixa	Média	Alta
Zn	1, 2, 4, 5, 6 ou 7	3	2	0
	3	2	1	0
Cu	4, 5, 6 ou 7	2	1	0
B	4, 5, 6 ou 7	1	0,5	0

Manutenção de Pastagens

Informações Gerais

As recomendações a seguir devem ser aplicadas em pastagens já estabelecidas.

Correção do Solo

Não é recomendada a correção da acidez do solo.

Adubação de Manutenção

Aplicar a adubação nitrogenada de acordo com o grupo de pastagem (Tabela 117). A adubação fosfatada e potássica deve ser realizada conforme a disponibilidade do nutriente no solo e o grupo de pastagem (Tabela 118).

Tabela 117. Doses recomendadas para a adubação nitrogenada de manutenção de pastagens.

Adubação nitrogenada	
Grupo	N: kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
1	80
2	60
3	40
4, 5, 6 e 7	0

Tabela 118. Doses recomendadas para a adubação fosfatada e potássica de manutenção de pastagens.

Grupo	Disponibilidade do nutriente no solo		
	Baixa	Média	Alta
Adubação fosfatada – P₂O₅: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
1	40	20	0
2 e 7	30	10	0
3	20	0	0
4	50	30	10
5	50	30	20
6	40	20	10
Adubação potássica – K₂O: kg ha⁻¹ ano⁻¹			
1	80	40	0
2	60	30	0
3	40	20	0
4	100	50	0
5	90	45	0
6	70	35	0
7	50	25	0

Referências Bibliográficas

ANDRADE, C. M. S. de; VALENTIM, J. F.; WADT, P. G. S. **Recomendação de calagem e adubação para pastagens no Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2002. 5 p. (Embrapa Acre. Circular Técnica, 46).

BERGO, C. L.; LUNZ, A. M. P. **Cultivo da pupunha para palmito no Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2000. 15 p. (Embrapa Acre. Circular Técnica, 31).

CARVALHO, E. F. **Cultura do abacaxizeiro**. Rio Branco, AC: Gráfica Universitária; Universidade Federal do Acre. 2000. 42 p.

CASTRO, N. H. C. de. **Cultura do guaranazeiro**. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1992. 71 p. (Embrapa-CPATU. Documentos, 68).

CATI. Departamento de Extensão Rural. Centro de Adaptação e Transferência de Tecnologia de Produção Vegetal. **Manual técnico das culturas**. Campinas, SP: 1986. 518 p.

CUNHA, G. A. P. da; MATOS, A. P. de; SANCHEZ, N. F.; REINHARDT, D. H. R. C.; SOUZA, L. F. da S.; CABRAL, J. R. S.; ALMEIDA, O. A. de. **A cultura do abacaxi: práticas de cultivo**. Cruz das Almas, BA: Embrapa-CNPMF. 1995. 30 p. (Embrapa-CNPMF. Circular Técnica, 1).

DE POLLI, H.; ALMEIDA, D. J. de; SANTOS, G. de A.; CUNHA, L. H.; FREIRE, L. R.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do; PEREIRA, N. N. C.; EIRA, P. A. da; BLOISE, R. M.; SALEK, R. C. **Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro**. Itaguaí, RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1988. 179 p. (Série Ciências Agrárias nº 2).

EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS. **Recomendações técnicas para o cultivo do coqueiro**. Aracaju: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros, 1993. 43 p (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica, 1).

FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. (Eds.). **Cultura do coqueiro no Brasil**. Aracaju, SE: Embrapa-SPI. 1998. 292 p.

GONDIM, T. M. de S.; THOMAZINI, M. J.; CAVALCANTE, M. de J. B.; SOUZA, J. M. L. de. **Aspectos da produção de cupuaçu**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre. 2001. 43 p. (Embrapa Acre. Documentos, 67).

MEDEIROS, A. A. de; HOLANDA, J. S. de; SILVA, F. A. M. **Nutrição mineral e adubação do abacaxizeiro**. Natal, RN: EMPARN. 1998. 14 p. (EMPARN. Circular Técnica, 4).

MORSBACH, N.; RODRIGUES, A. dos S.; CHAIMSOHN, F. P.; TREITNY, M. R. **Pupunha para palmito**. Cultivo no Paraná. Londrina, PR: IAPAR. 1998. 56 p.

PACHECO, E. P.; PIMENTEL, F. A. **Uso de biomassa residual de usinas de óleo essencial na adubação de pimenta longa.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre. 2001. 3 p. (Embrapa Acre. Comunicado Técnico, 139).

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2ª ed. Campinas, SP: Instituto Agrônômico de Campinas, 1996. 285 p. (IAC. Boletim Técnico 100).

RAIJ, B. van.; SILVA, N. M. da; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELINAZZI JÚNIOR, R.; DECHEN, A. R.; TRANI, P. E. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas, SP: Instituto Agrônômico de Campinas, 1985. 107 p. (IAC. Boletim Técnico 100).

REINHARDT, D. H.; SOUZA, L. F. da S.; MATOS, A. P. de; SANCHES, N. F.; CABRAL, J. R. S.; CUNHA, G. A. P. da; SOUZA, J. da S. **Recomendações técnicas para a cultura do abacaxi, em condições de sequeiro, na região de Coração de Maria, Bahia.** Cruz das Almas, BA: Embrapa-CNPMF. 1998. 23 p. (Embrapa-CNPMF. Circular Técnica, 32).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** 5ª. Aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RIBEIRO, G. D. **A cultura do cupuaçuzeiro em Rondônia**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia. 1992. 32 p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 27).

ROCHA, C. G. S.; KATO, A. K.; CELESTINO FILHO, P.; DUARTE, M. L. R.; FLOHIC, A.; REIS, S. L. **Pimenta do reino: produção de mudas saudáveis e manejo de pimentais**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 31 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 97).

SMYTH, T. J.; ESCOBAR, J. R. **Curso de atualização em fertilidade de solos**. Adubação e nutrição mineral do guaranazeiro. Manaus, AM: Embrapa-UEAPAE, 1985. 31 p. (mimeografado).

WADT, P. G. S. **Manejo de solos ácidos do Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2002. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 79).

Impressão e acabamento
Embrapa Informação Tecnológica

Embrapa

Acre

Patrocínio:



BANCO DA AMAZÔNIA
O primeiro e único banco da Amazônia



uninorte

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



CGPE 4932