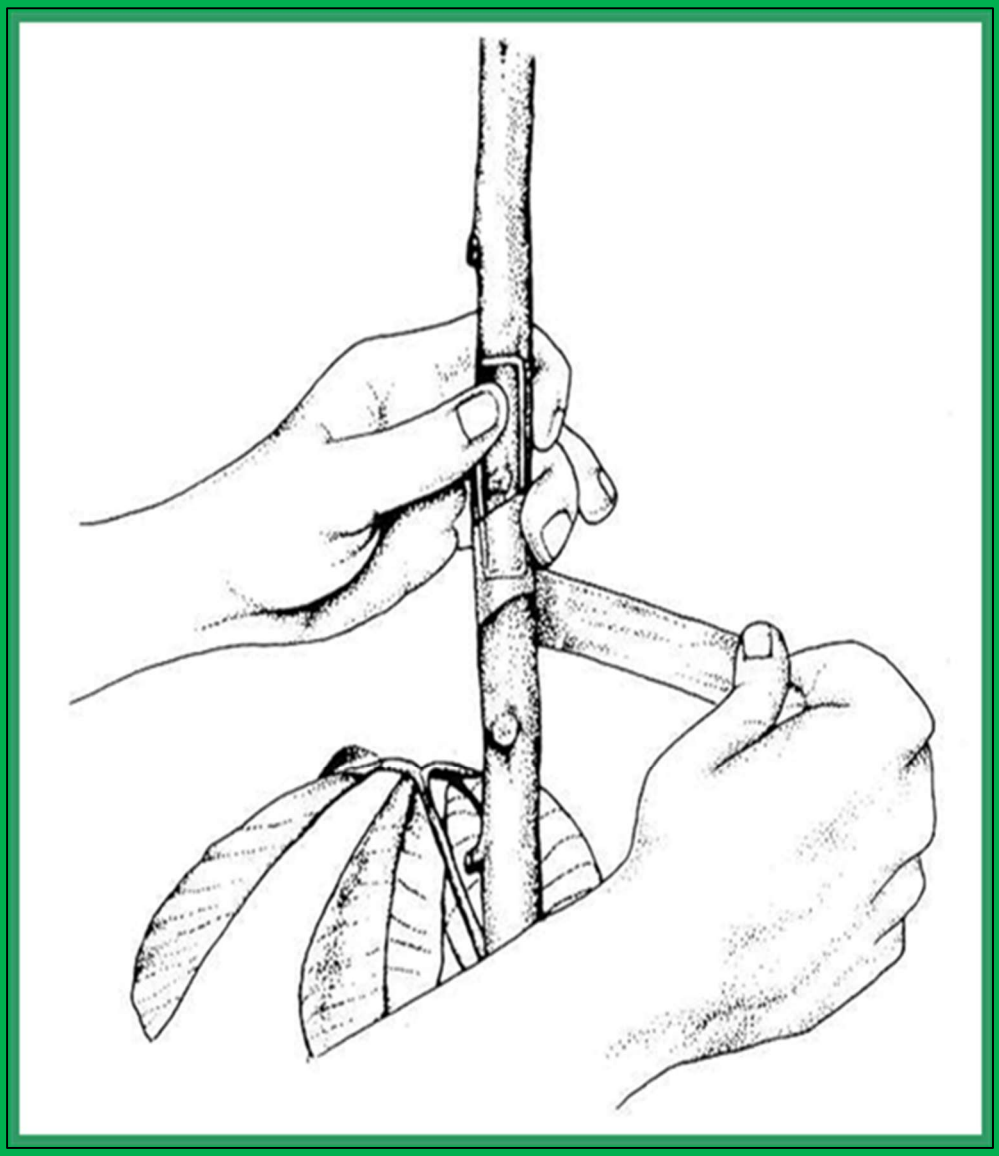
Adônis Moreira

João Odemir Salvador

Larissa A. C. Moraes

Manual Prático de Agronomia



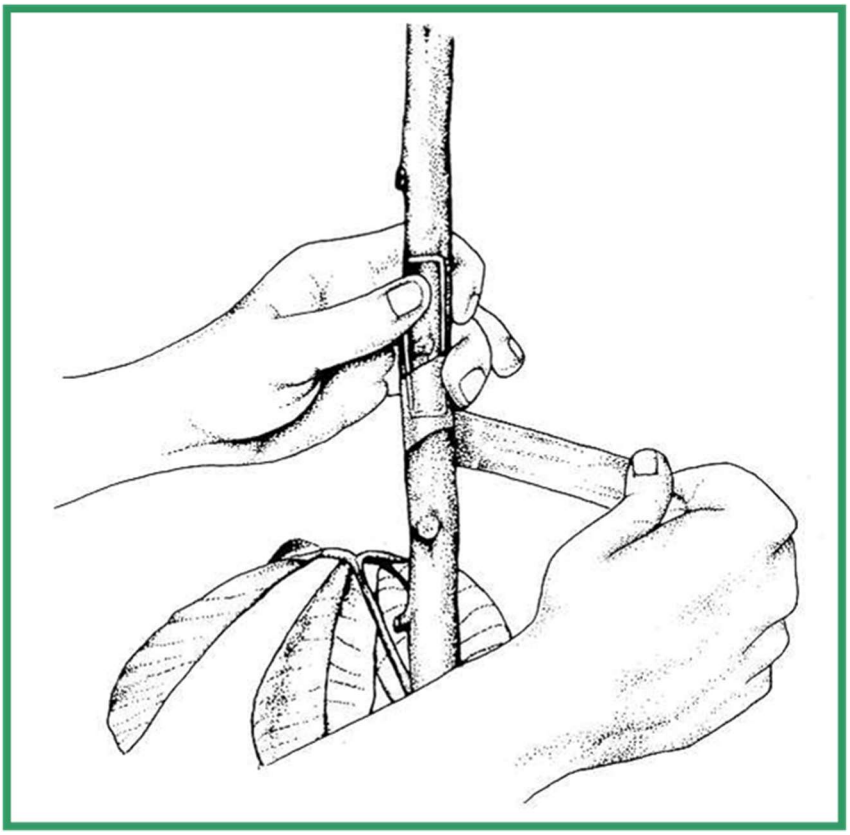
Primeira Edição

Adônis Moreira

João Odemir Salvador

Larissa A. C. Moraes

Manual Prático de Agronomia



Primeira Edição

2024

✓ Autores

Adônis Moreira

Engenheiro Agrônomo,
Doutor em Energia Nuclear na Agricultura (Cena/USP),
Pesquisador da área de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Embrapa,
Professor Efetivo do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UEL,
Bolsista de Produtividade em Pesquisa 1C do CNPq.
E-mail: adonis.moreira@embrapa.br

João Odemir Salvador

Biólogo,
Aposentado do Cena/USP,
Especialista em Experimentação de Campo e Casa de Vegetação: solos e solução nutritiva
Articulista da 'Gazeta de Piracicaba' e da 'A Tribuna Piracicabana'.
E-mail: josalv@uol.com.br

Larissa A. C. Moraes

Engenheira Agrônoma,
Doutora em Energia Nuclear na Agricultura (Cena/USP),
Pesquisadora da área de Fisiologia Vegetal e Ecofisiologia da Embrapa.
E-mail: larissa.moraes@embrapa.br

A capa é uma homenagem ao Pesquisador Vicente Haroldo de Figueiredo Moraes (*in memoriam*), que foi um dos pioneiros no melhoramento genético da seringueira e, juntamento com a Pesquisadora Dra. Larissa A. C. Moraes conseguiram viabilizar o cultivo da cultura na região Amazônica com a técnica da **enxertia-de-copa**, que na opinião dos autores foi um dos principais avanços na pesquisa agropecuária dos últimos 30 anos.

O desenho feito manualmente pela Pesquisadora e uma referência à enxertia de borbulha, técnica de multiplicação vegetativa usada no enxerto do painel.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Moreira, A., 1966

Manual Prático de Agronomia/A. Moreira, J. O. Salvador e L. A. C. Moraes. - Londrina: Edição dos Autores, 2024. 51p. PDF.

ISBN: 978-65-00-98189-6

1. Adubos 2. Fertilizantes 3. Fitotecnia 4. Hormônios. I Título.

24-199713 CDD-630.023

Índice para Catálogo Sistemático

Sumário

1. Introdução

2. Manejo dos solos e produtividade agrícola

3. Clima

4. Diagnóstico e similaridades de deficiência ou toxidez nutricional

5. Nutrientes exigidos pelas plantas

6. Sintomas visuais de deficiências nutricionais

7. Mobilidade dos nutrientes nas plantas

8. Distribuição de nutrientes imóveis, móveis e pouco móveis no solo

9. Interação de nutrientes e mobilidade no solo para a planta.

10. Extração e exportação de nutrientes

11. Compactação do solo

12. Conservação do solo

13. Análise dos atributos químico do solo e interpretação dos dados

14. Calagem e gessagem

15. A adubação orgânica

16. Adubação verde

17. Adubação química

18. Bioinsumos

19. Experimentação em solução nutritiva

20. Hidroponia

21. Experimentação com substratos em casa de vegetação

22. Experimentação de campo

23. Fórmulas de adubação (Formulados)

24. Rotação de culturas

25. Hormônios vegetais naturais e sintéticos

26. Propagação de plantas

27. Controle biológico, químico e manejo integrado de pragas e doenças.

28. Plantas daninhas

29. Custo de produção

Considerações finais

Referências consultadas

1. Introdução

A ciência se mantém atualizada e disponível para discussões esclarecedoras, abordando dúvidas e questões controversas em diversas áreas de interesse. Na agronomia é essencial alinhar a ciência aplicada e a extensão com a ciência básica, utilizando trabalhos e artigos de referência que convergem para uma aplicabilidade segura. Nos cursos de engenharia agronômica e afins, o ciclo de aprendizado abrange as relações advindas do campo e da extensão, com o respaldo de pesquisas científicas tendo como objetivo principal maximizar o uso de produtos agrícolas e a utilização das melhores práticas de manejo.

A classificação e o levantamento de solos, assim como a quantificação da importância das interações físicas, químicas e biológicas são realizadas por meio da integração teórica e prática. Isso orienta o uso adequado de fertilizantes orgânicos e químicos, corretivos de acidez e sodicidade, juntamente com práticas de manejo para a conservação do solo. Os estudos da ciência do solo abrangem as peculiaridades dos arranjos físicos, como tamanho e forma das partículas, estrutura e textura com os químicos, além do conhecimento sobre os melhores equipamentos para o cultivo e manejo dos solos.

Os ensinamentos também incluem a compreensão das funções orgânicas e metabólicas das plantas, suas necessidades nutricionais, a caracterização de doenças causadas por fungos, bactérias e vírus, juntamente com as melhores técnicas de controle. Os estudos sobre os vegetais abordam aspectos como reprodução, hereditariedade, tipos de enxertia e melhoramento das espécies, enquanto o manejo no controle de insetos de interesse agrícola e seu controle eficaz na pré e pós-colheita, incluindo inimigos naturais e o manejo integrado de pragas (MIP), são temas essenciais.

Por fim, expressamos nossa gratidão àqueles que dedicam suas vidas a pesquisa, ensino e extensão, pois é mérito deles moldares as vocações e incentivar o raciocínio dos aprendizes, transformando ideias em realizações.

2. Manejo dos solos e produtividade agrícola

O manejo do solo compreende o conjunto de todas as práticas aplicadas para atingir a colheita máxima econômica. Nesse conjunto de operações, encaixam-se as práticas culturais, que vão desde a correção e adubação até a adubação foliar dentro de

um sistema de cultivo, que pode ser mínimo, convencional ou sistema plantio direto (SPD). Dentro de uma área é importante ter conhecimento do tipo de solo com o qual irá ser cultivado, conhecendo seus aspectos físicos, biológicos e químicos, bem como o histórico de produtividade e manejo de pragas e doenças e, principalmente o regime hídrico da região.

O uso adequado do solo influencia na produtividade, visto que um bom manejo aumenta os espaços porosos, proporcionando maior permeabilidade e armazenamento de ar e água. É nessas condições que as sementes serão germinadas e as plantas se desenvolverão. Para tanto, além desse atributos, a adubação durante todo ciclo da cultura deve ser baseada nos resultados analíticos do solo, visando fornecer os nutrientes em quantidades adequadas e ajustadas às características específicas de cada tipo de solo, planta e/ou cultivar.

As sementes devem ter boa procedência, boa viabilidade e ser certificadas por um órgão competente. Para o bom desenvolvimento das culturas, um cronograma adequado para a realização dos tratos culturais e fitossanitários deve ser pré-estabelecido, permitindo que a cultura realize todo o seu ciclo produtivo de forma plena, com a convicção de que o manejo utilizado foi duradouro e sustentável.

3. Clima

Saber detalhadamente as condições climáticas da região é fundamental, visto que o histórico permite avaliar o regime hídrico, a umidade relativa e o microclima para quantificar de forma precisa os interferentes nas ações morfológicas que atuam no desenvolvimento das plantas. Ao mesmo tempo, essas informações servem como parâmetros na manutenção da solução aquosa do solo que atuam no processo de absorção dos nutrientes.

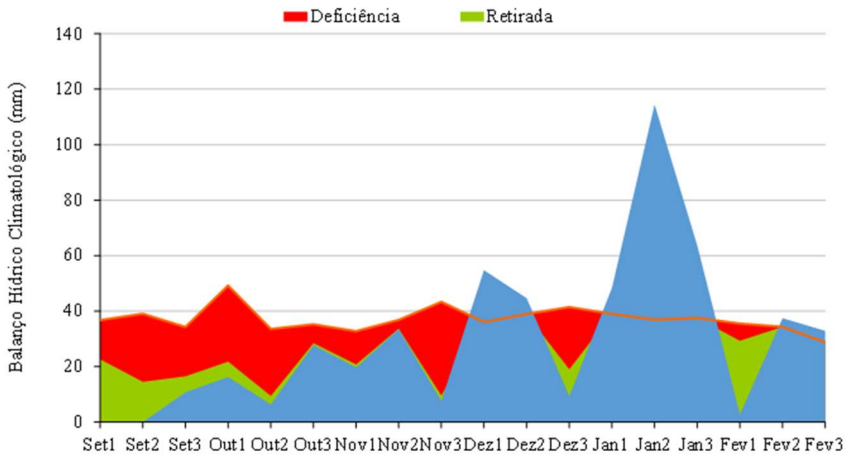
O volume de chuvas é quantificado por aparelhos denominados pluviômetros, que têm formato cônico, com uma área bocal de circunferência conhecida e um reservatório de captação para medir o volume. Com base no volume mensurado (mm^2 m^{-2} de solo), é possível calcular a quantidade de água e avaliar se o volume hídrico foi suficiente ou insuficiente para manter o solo próximo à capacidade de campo.

Quando o índice pluviométrico é equivalente a 10 mm, representa-se uma camada de 10 cm de água, ou seja, uma caixa de um metro quadrado de base corresponde a 10 litros de água em 1,0 m^2 de solo (Ds = 1,0). Dessa forma, estabelece-

se uma correspondência específica entre milímetros e litros por metro quadrado, sendo: 1,0 mm = 1,0 litro, 2,0 mm = 2,0 litros, 5,0 mm = 5,0 litros, e assim por diante. Essa relação permite uma análise precisa do aporte hídrico em termos de volume, sendo crucial para determinar se a quantidade de água recebida é adequada para manter o solo próximo à sua capacidade de retenção de água.

A intensidade e quantidade de chuva dependem do tempo de duração. Se a precipitação for de 30 mm ou 30 litros por m², em menos de uma hora, considera-se de grande intensidade. Porém, em 24 horas, considera-se de volume médio, insuficiente para molhar bem o solo de textura média ou argilosa em profundidade. Uma chuva de 5,0 mm é considerada de baixa intensidade, enquanto a de 50 mm umedece uma camada de 5,0 cm de solo. Caso a umidade ainda seja insuficiente, espera-se por mais dias de chuva e define-se a agenda de plantio.

Uma distribuição ideal de chuva no ano é na faixa de 1.200 mm. Este equilíbrio hídrico anual proporciona condições ótimas para o desenvolvimento das culturas, sendo um fator crítico na gestão eficaz dos recursos hídricos e na promoção de práticas sustentáveis na agricultura. Além disso, a utilização do balanço hídrico é fundamental para se obter uma resposta confiável sobre os fatores climáticos que influenciaram na produção agrícola. Na figura abaixo o vermelho se refere a deficiência hídrica, o verde a retirada de água no sistema que estava acumulado no solo e o azul a pluviosidade no período.



4. Diagnóstico e similaridades de deficiência ou toxidez nutricional

Na planta, os sintomas foliares de deficiência em estágios avançados tornam-se visíveis e manifestam-se de maneira específica conforme o tipo de nutriente e se

apresentam na forma de clorose, amarelecimento das folhas, nervuras com reticulado fino ou grosso, necrose e, em casos mais severos, na morte de tecidos. As conformidades da redistribuição variam de acordo com a disponibilidade de nutrientes 'M'. A análise visual possibilita determinar com detalhes o excesso ou falta de nutrientes, caracterizado muitas vezes por queimaduras nas bordas foliares. Portanto, a interpretação cuidadosa dos sintomas visuais nas plantas tem um papel crucial na compreensão das necessidades nutricionais e na implementação de estratégias adequadas para otimizar o crescimento e a saúde das culturas.

Para realizar o diagnóstico de deficiência ou toxicidade, é importante observar os seguintes aspectos visuais na planta, de modo a não confundir as prováveis causas dos sintomas:

a) Ocorrência de pragas e doenças – Pragas e doenças podem provocar sintomas semelhantes aos de deficiência nutricional. Por exemplo, os ataques de cochonilhas podem ocasionar o secamento dos bordos das folhas semelhante à deficiência de cálcio e infestação de acaro (*Acari*) na soja

b) Distribuição dos sintomas de anormalidade dentro das áreas (reboleiras) – Quando se trata de sintomas de deficiência ou toxicidade, estes se distribuem em talhões ou glebas, mas raramente em reboleiras, salvo o caso de isso ter ocorrido em locais onde foi depositado calcário ou outros fertilizantes no campo.

c) Simetria dos sintomas – Os sintomas de deficiência nutricional ocorrem de maneira simétrica, ou seja, nas folhas de ambos os lados dos ramos. Caso contrário, as anomalias observadas podem ser devidas a outros fatores, como por exemplo, ataque de pragas e/ou doenças.

d) Gradiente dos sintomas – Os sintomas de deficiência nutricional apresentam gradientes em função dos diferentes níveis de mobilidade dos elementos na planta. Para os nutrientes de alta translocação ou móveis (N, P, K e Mg), os sintomas surgem primeiramente nas folhas mais velhas; para os nutrientes de baixa translocação ou pouco móveis (S, Cu, Fe, Mn e Zn), os sintomas são mais intensos nas folhas mais novas e extremidade de crescimento; e para os nutrientes considerados imóveis (Ca e B), os sintomas ocorrem nas folhas novas, nas gemas apicais e nas extremidades de crescimento. Abaixo observa-se o gradiente de deficiência de Fe em folhas coletadas no terço superior, terço médio e terço inferior do mangostãozeiro (*Garcina mangostana*).

e) Toxidez de produtos ou excesso de fertilizante – A aplicação excessiva de algum produto ou fertilizante contendo um elemento não essencial, como o sódio (Na) e boro (B), pode causar sintomas de fitotoxidez semelhante ao excesso ou falta de um nutriente 'M'.

f) Deriva de herbicida – A deriva de herbicida pode provocar anomalias nas plantas, cujos sintomas podem ser semelhantes às deficiências (B, Fe e Zn) ou de toxidez (B ou K).

g) *Desordens fisiológicas* – Características visuais distintas, caracterizada por tonalidades diferentes a coloração normal das plantas, como o 'Azul da Bananeira', que podem apresentar apodrecimento interno e exalar mau cheiro como doenças bacterianas e ocorrem devido ao desequilíbrio nutricional entre o K e Mg.

5. Nutrientes exigidos pelas plantas

As plantas demandam vários elementos que são classificados em macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes são os mais utilizados pelas plantas durante o seu desenvolvimento e são recomendados, em kg ha^{-1} ou kg por alqueire, e incluem o nitrogênio (N), o fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), enquanto os micronutrientes são subtraídos em menor quantidade e são fornecidos, em g ha^{-1} e incluem o boro (B), cloro (Cl), molibdênio (Mo), cobre (Cu), ferro (Fe), níquel (Ni), zinco (Zn) e manganês (Mn).

Além desses, existem elementos benéficos, como o alumínio (Al), cobalto (Co), selênio (Se) e silício (Si), que exercem efeitos positivos em diversas culturas. Essa complexa interação entre os nutrientes essenciais e benéficos e as quantidades exigidas têm desempenhado um papel crucial no cultivo e no sucesso para o melhor desenvolvimento das plantas, como verificado em mudas de goiabeira (*Psidium guajava*), que apresentou incremento no tamanho máximo estimado com aplicação de 10 mg L^{-1} de Al em solução nutritiva a pH 4,0 e fitotoxidez acentuada nas doses 20 e 25 mg L^{-1}.

6. Sintomas visuais de deficiências nutricionais

Os nutrientes desempenham funções estruturais e metabólicas essenciais nas plantas e o nível de sua disponibilidade correlaciona-se diretamente com a produção de matéria seca, produtividades de grãos etc. A redução da produtividade ocasionada por desordens nutricionais pode estar associada a sintomas característicos para cada nutriente e a produtividade ser limitada antes mesmo do aparecimento dos sintomas, situação essa, denominada de "*fome oculta*". Apesar da sintomatologia característica para cada desordem nutricional, a diagnose visual deve ser apenas a primeira etapa do diagnóstico, a ser confirmado pelos atributos químicos do solo e, principalmente pela análise do tecido vegetal.

A identificação das desordens nutricionais podem auxiliar no diagnóstico, porém, é necessário fazer o levantamento de algumas informações, como cultivar plantada, estádio de desenvolvimento das plantas, disponibilidade hídrica, temperatura e radiação solar, que durante o ciclo de produção interferem na absorção dos nutrientes e expressar os seguintes sintomas:

- **Nitrogênio (N):** Altamente móvel nas plantas, sua deficiência se manifesta como clorose, começando de baixo para cima e culminando em um amarelecimento total. A falta de N altera a síntese de clorofila, promove a proteólise de aminoácidos e resulta na escassez de proteínas. O crescimento é atrofiado, com clorose iniciando nas folhas mais antigas e se generalizando, levando a folhas pequenas, ramificação reduzida e floração precoce, como um mecanismo de sobrevivência da espécie. Deficiência de N no milho, alfafa e dendezeiro.

- **Fósforo (P):** Móvel nas plantas e redistribuído via floema, a deficiência de P se manifesta primeiro nas folhas mais antigas, que por vezes tornam-se mais escuras e desenvolvem nervuras arroxeadas devido à produção de antocianina. A redução na produção de adenosina difosfato e (ADP) e adenosina trifosfato (ATP) compromete a maior parte da energia química necessária para os processos metabólicos da planta. Deficiência de P na bananeira, grão de bico e milho.

- **Potássio (K):** Plantas com baixos níveis de K exibem amarelamento ou clorose nas bordas das folhas mais antigas, evoluindo para necrose e conferindo à planta uma aparência de bordas queimadas. A deficiência torna a planta mais suscetível ao estresse hídrico, desregulando o fechamento e abertura estomática. Plantas deficientes em potássio ficam mais propensas a ataques de pragas e doenças. Deficiência de K na alfafa, soja e bananeira.

- **Cálcio (Ca):** A deficiência de Ca se manifesta com pontos de coloração marrom nas folhas jovens, seguidos por necrose internerval e senescência foliar, resultando na queda das folhas e malformação das raízes. O Ca é um nutriente essencial para manter a integridade das membrana e das paredes celulares da planta. Deficiência de Ca na alfafa, bananeira e cafeeiro.

- **Magnésio (Mg):** Nutriente móvel, a deficiência de Mg é observada nas folhas mais antigas (velhas), manifestando-se como clorose internerval que se espalha das margens para o centro. A queda prematura das folhas resulta da redução nos níveis de clorofila, comprometendo a fotossíntese e dificultando a síntese de proteínas. Além disso, na planta o Mg desempenha um papel crucial como carregador e transportador do P. Deficiência de Mg no guaranazeiro, soja e seringueira.

- **Enxofre (S):** Nutriente com mobilidade intermediária, dependendo da cultura, os sintomas de deficiência com amarelecimento das plantas são observados tanto nas folhas velhas quanto nas novas. O S é constituintes de aminoácidos (Aas, cisteína, cistina, taurina e metionina) e está relacionado a formação das proteínas. Deficiência de S na bananeira, feijoeiro e soja.

- **Boro (B):** A deficiência desse nutriente resulta na paralisia dos sistemas apicais e das raízes. Folhas novas sofrem redução de tamanho e deformação e má formação do tubo polínico, enquanto a gema apical morre e há um excesso de brotação lateral. Essa condição muitas vezes é confundida com o ataque de ácaro branco. Deficiências de B no coqueiro, mamoeiro e bananeira.

- **Cobre (Cu):** Em caso de deficiência, as plantas podem apresentar murcha nas folhas jovens, que se tornam enroladas e quebradiças, com ondulações voltadas para baixo. Em leguminosas diminui a fixação simbiótica de N e afeta a fotossíntese. O excesso de calcário ou de matéria orgânica no solo pode induzir deficiência de Cu. Deficiência de Cu na soja, alfafa e seringueira.

- **Cloro (Cl):** Os sintomas visuais de deficiência de cloro variam conforme a cultura. Em tomateiros, podem surgir inicialmente nas folhas mais velhas, enquanto em milho, manifestam-se nas folhas mais jovens. Esses sintomas se caracterizam por murchamento, clorose, bronzeamento e deformação das folhas. Importante notar que o uso contínuo de cloreto de potássio (KCl com 45 a 48% de Cl) na adubação pode tornar os sintomas mais difíceis de serem observados e o uso excessivo pode acarretar toxidez.

- **Ferro (Fe):** Este nutriente é imóvel, ou seja, apresenta dificuldade de ser alocado para as extremidades das plantas. As folhas mais jovens com deficiência exibem clorose com listras internervais, conhecido como reticulado fino e com pálida do limbo. Ambientes alcalinos em condições naturais ou por excesso de calcário ou com fortes interações entre os nutriente fósforo (P) e manganês (Mn) podem induzir clorose por deficiência de Fe. Deficiência de Fe na soja, bananeira e seringueira.

- **Manganês (Mn):** Sendo pouco móvel, a deficiência desse nutriente se manifesta com clorose internerval nas folhas novas, por vezes, apresentando um reticulado rugoso, muitas vezes confundido com a deficiência de Fe. Excesso de magnésio (Mg) e/ou cálcio (Ca) disponível no solo pode induzir a carência do nutriente na planta. Deficiência de Mn no guaranazeiro, alfafa e bananeira.

- **Níquel (Ni):** Nutriente imóvel na planta, cujo sintoma de deficiência se caracteriza por folhas novas que ficam arredondadas com pontos escuros e o limbo se encurvam na forma de uma concha.

- **Zinco (Zn):** A carência de Zn nas plantas é evidenciada pelo formato distorcido das folhas, encurtamento dos internódios, brotações afetadas e aglomeração de folhas na região de crescimento. O Zn é essencial para a síntese de triptofano que é precursor do ácido indolil acético (AIA). Semelhante ao Mn, o excesso de Mg e/ou Ca disponível no solo pode induzir a carência do nutriente na planta. Deficiência de Zn no cafeeiro, bananeira e soja.

Novamente é importante ressaltar que a análise visual, embora útil, não dispensa a comprovação por meio da análise química laboratorial. A correção, seja por adubação foliar em plantas semi-perenes ou perenes, ou como aviso para correção em futuros plantios de cereais, deve ser realizada a tempo para otimizar o desenvolvimento das plantas.

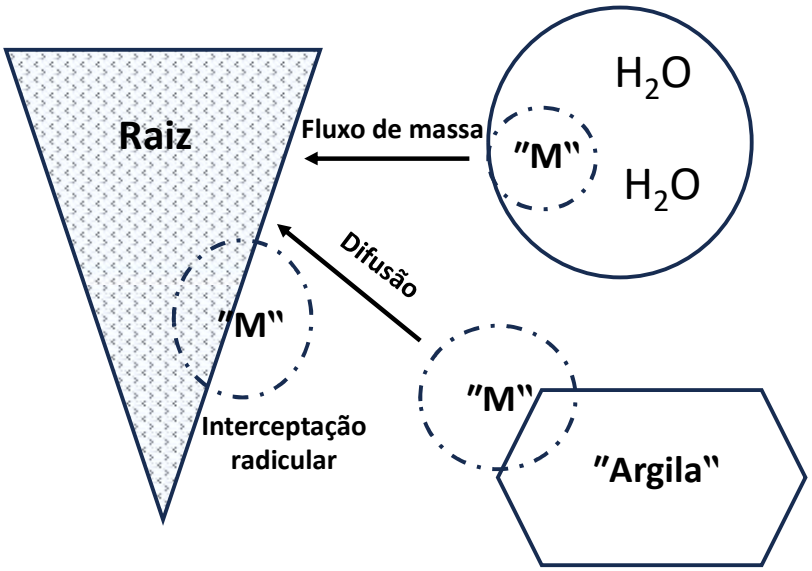
7. Mobilidade dos nutrientes nas plantas

A mobilidade dos nutrientes nas plantas ocorre por meio dos vasos condutores de maneira tanto ativa quanto passiva. Nos vasos do xilema, a seiva bruta, composta

por minerais dissolvidos na água e absorvidos pelas raízes, circula e é deslocada para as folhas e outros segmentos da planta. Esse processo é essencial para fornecer os nutrientes necessários ao desenvolvimento pleno da planta até a formação do fruto ou grãos.

Por outro lado, no floema ocorre o transporte da seiva orgânica derivada das reações da fotossíntese. Essa seiva contém açúcares, aminoácidos, lipídeos, hormônios e proteínas, sendo redistribuída nas folhas e demais partes da planta. Essa movimentação ativa de compostos orgânicos é crucial para o crescimento, desenvolvimento e funcionamento adequado de diferentes órgãos vegetais.

Assim, a combinação dos movimentos no xilema e floema nos processos de absorção e remobilização desempenha um papel fundamental no suprimento de nutrientes e na transmissão de compostos orgânicos essenciais para o metabolismo global da planta. No sistema radicular, a absorção de nutrientes pelas raízes ocorre de três maneiras, sendo por **difusão**, quando o íon (nutriente) 'M' migra de um ponto de maior para outro de menor concentração, **fluxo de massa**, ocorre quando existe o deslocamento do íon 'M' presente em solução aquosa móvel para a superfície das raízes e **interceptação radicular**, quando as raízes se desenvolvem e entra em contacto com íons 'M' da fase sólida e líquida do solo. O conhecimento desses três processos de absorção é fundamental para que se faça uma adubação mais eficiente para que se possa definir se o nutriente 'M' a ser aplicado deva ser incorporado, colocado no sulco de plantio ou distribuído a lanço.



8. Distribuição de nutrientes: imóveis, móveis e pouco móveis

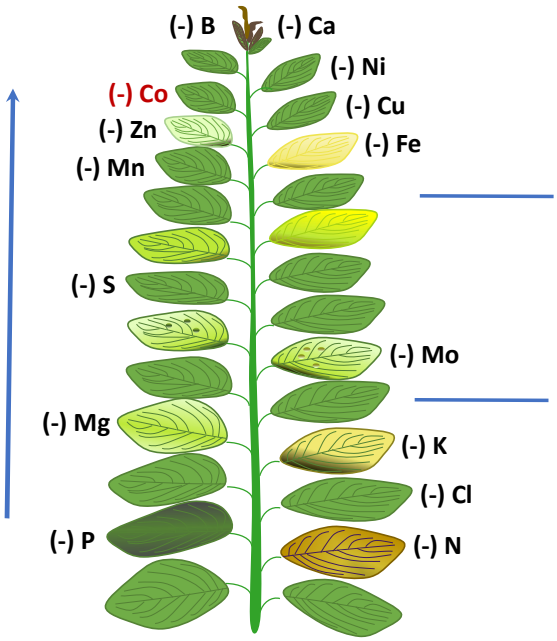
No complexo de cargas no solo, os sítios de absorção desempenham um papel crucial na adubação, exigindo consideração cuidadosa da mobilidade de cada nutriente. Os nutrientes pouco móveis necessitam ser posicionados de maneira a facilitar sua absorção efetiva pelas raízes. Da mesma forma, como verificado no item 7, nutrientes com movimentação intermediária, como o nitrogênio (N) na forma amoniacal, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e boro (B), também devem ser aplicados mais próximos da zona radicular para otimizar a disponibilidade para as plantas.

Em relação ao N na forma nítrica ($N\text{-}NO_3^-$), devido à sua alta mobilidade pelo fluxo de massa, é recomendável realizar aplicações fracionadas. Isso ajuda a evitar perdas significativas por volatilização e lixiviação, garantindo uma utilização mais eficiente desse nutriente essencial.

Nos protocolos de adubação, as fórmulas predominantes concentram-se nos macronutrientes mais absorvidos, como nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5), potássio (K_2O) e enxofre (S). Devido ao uso contínuo dos solos, os micronutrientes (boro - B, cobre - Cu, manganês - Mn, níquel - Ni e zinco - Zn), geralmente não são incluídos nos formulados, pois a maioria dos solos cultivados no Brasil contém níveis suficientes ou próximos da faixa de suficiência desses elementos.

No entanto, em casos isolados de deficiência dos micronutrientes, a inclusão deles no programa de adubação indicado pelos diagnósticos visuais e da análise foliar, pode ser necessária com aplicação via foliar e cabe ressaltar que para que essa adubação seja realizada com sucesso, é necessário levar em consideração vários fatores, como o horário de aplicação, a fonte utilizada nessa sequência de preferência (Cl^-, quelados, NO_3^- e SO_4^{2-}), bico do pulverizador e as condições climáticas.

A Figura a seguir ilustra, de forma geral, a mobilidade dos nutrientes essenciais e benéfico (N, P, K, Ca, Mg, S, B, **Co**, Cl, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) e a posição nas plantas onde normalmente expressam os sintomas de deficiência.



9. Interação de nutrientes e mobilidade no solo para a planta

A elevada concentração de um dos nutrientes 'M' no solo pode acarretar um comprometimento na absorção de outros por diferentes processor de interação, denominados de inibição competitiva e não competitiva, que irão influenciar na dinâmica dos nutrientes do solo e afetar o manejo nutricional das culturas. Na planta, a inibição ocorre quando um nutriente diminui a absorção do outro por competirem pelos mesmos sítios de absorção e são dividido em diferentes grupos:

a) Inibição competitiva quando dois elementos competem pelo mesmo sítio de absorção nas membranas celulares da planta e o que estiver em menor concentração tem a absorção reduzida, como na interação do K e Ca, Mg e Ca, Zn e Mg; Zn e Cu e Fe e Mn;

b**) Inibição não competitiva** ocorre quando os dois nutrientes não competem pelo mesmo sítio de absorção, como o Zn e H_2PO_4, Mg e Mn e Mg e Zn, sendo necessário a presença de íon acompanhante, como o Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-} ou quelados;

c) Antagonismo quando a presença de um íon em excesso diminui a absorção de outro, independentemente da concentração desse íon na solução do solo, como os íons Cu^{2+} e Ca^{2+};

d) Sinergismo acontece dentro de uma interação positiva (Mg^{2+} e PO_4^-), onde um íon favorece a absorção de outro.

10. Extração e exportação de nutrientes

A extração corresponde à quantidade total de nutrientes retirados pelas plantas e convertidos em produção agrícola por hectare (Mg ha^{-1}) – frutas, grãos, caules, galhos e colmos –, os quais não são reintegrados no sistema de produção. Apenas o que permanece na área ou sobre o solo, como a palhada (restos de cultura), servirá como material orgânico a ser mineralizado e aproveitado pela cultura subsequente. A quantidade de macro e micronutrientes retirados pelos grãos ou massa seca produzida é considerável. No caso da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), que exporta nutrientes por meio dos grãos, a quantidade de macronutrientes extraída é normalmente expressa em kg Mg^{-1} ou kg t^{-1} de grãos. Essa quantidade extraída, sem levar em consideração o sistema radicular, o qual é uma quantidade considerável, pode ser facilmente quantificada a partir da análise da matéria seca da parte aérea após a colheita, conforme demonstrado a seguir.

Dependendo da cultura, uma boa parte desses nutrientes retorna ao solo por meio dos restos de cultura ou da palhada. A reposição dos nutrientes extraídos e exportados também encontra respaldo em dados da literatura, já seja em forma de tabelas ou estimados pelas análises químicas de amostras, transformados em toneladas colhidas por hectare, que servem como parâmetro para realizar a adubação e garantir a produtividade das próximas safras.

Nutriente	Grãos	Palhada	Total	Exportação
		kg t^{-1} de grãos exportado		%
N	60,9	38,3	99,2	61,4
P	5,7	3,2	8,9	64,0
K	18,4	17,5	35,9	51,2
Ca	3,0	9,4	12,4	24,2
Mg	2,5	6,1	8,6	29,1
S	2,8	5,4	8,2	34,1

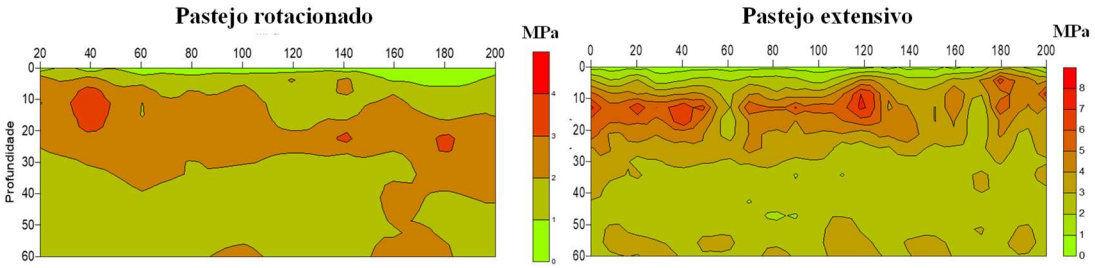
11. Compactação do solo

A análise dos efeitos do adensamento ou compactação do solo é de extrema importância, especialmente em solos de alta complexidade argílica, onde o uso constante de máquinas agrícolas pode resultar em um adensamento prejudicial nas

camadas superficiais do solo. Esse fenômeno compromete o desenvolvimento das raízes, assemelhando-se a um sistema radicular confinado em um vaso, limitando sua capacidade de absorver os nutrientes em profundidade, mesmo com a aplicação de adubações adequadas. Além disso, a compactação contribui para a rápida secagem do solo, agravando a absorção de nutrientes e impactando diretamente na produção agrícola.

Nesse contexto, torna-se importante realizar a rotação de culturas com plantas que apresentam sistemas radiculares agressivos para que ocorra uma subsolagem natural. Em casos extremos, a descompactação do solo pode ser feita por meio de equipamentos dotados de hastes mecânicas, capazes de penetrar até 40 cm de profundidade. Essas ferramentas têm a finalidade de melhorar a porosidade do solo, proporcionando condições mais propícias para a exploração eficaz de nutrientes pelas plantas, aliada à manutenção adequada da umidade.

Essa prática, que deve ser realizada em solo seco, não apenas restaura as condições ideais para o crescimento radicular, mas também favorece a absorção eficiente de nutrientes, resultando em benefícios diretos para o aumento ou manutenção da produção agrícola. Um dos fatores que também contribui para a compactação do solo é a utilização de máquinas em períodos chuvosos e a não calibração dos pneus, o que torna a área de contato maior, aumentando a superfície a ser compactada. Em áreas de pastagem, a utilização de piquetes com animais pastejando por um menor período no mesmo local de forma rotacionada diminui o nível de compactação em comparação ao pastejo extensivo.



12. Conservação do solo

O solo é o maior bem do produtor e deve ser conservado para que ele e seus herdeiros possam usufruir por décadas. Além de manter as matas ciliares e a vegetação nativa ou outras plantas que ajudam a estabilizar o solo em locais muito íngremes. Na

conservação do solo também acarreta a melhor disponibilidade e a qualidade da água com a manutenção as nascentes, ribeirões e rios.

Para evitar o processo de degradação, deve-se considerar as características físicas do solo, por isso existem várias técnicas de prevenção para evitar os diversos tipos de erosão, como a eólica, laminar, impacto das gotas da chuva, sulcos e em casos mais extremos, as voçorocas. Dependendo da declividade das áreas, devem-se construir barragens ou diques, ou mesmo criar campos de terraços para o cultivo de frutíferas, como bananais, cafezais e mamoeiros, em áreas com topografia apresentando mais de 8 a 10% de declive como as regiões litorâneas e as declivosas de Minas Gerais e do Espírito Santo, entre outras regiões.

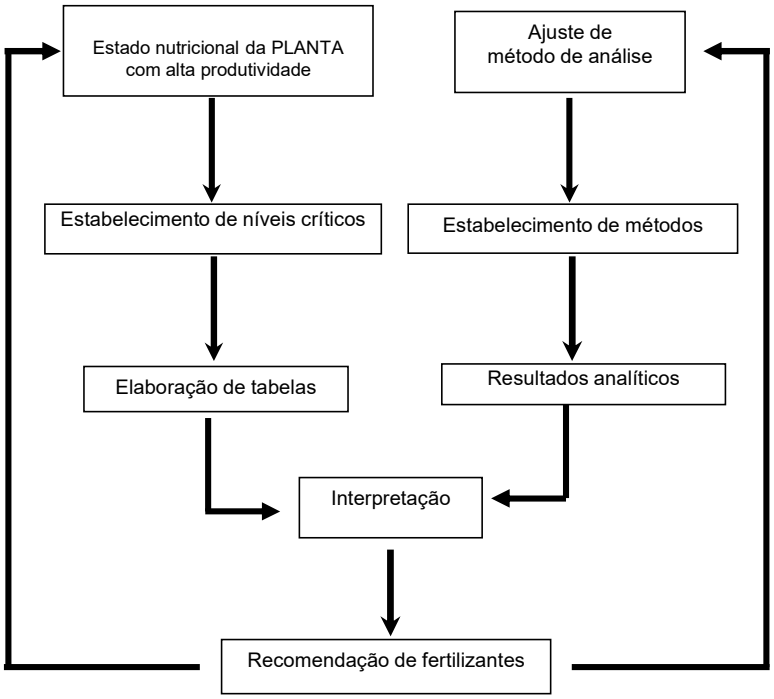
Nas áreas de pastagens, deve-se evitar o superpastejo do gado e implementar técnicas como a rotação de pastagem, como no 'Sistema Voisin', caracterizado pelo manejo intensivo do pasto. Nos cultivos de cereais, o uso de curvas de nível, plantio em linha e rotação de culturas, mantendo o solo sempre coberto (Sistema de Plantio Direto) com uma camada de matéria orgânica na superfície do solo para aumentar a capacidade de retenção de água e melhorar a estrutura do solo com maior aprofundamento das raízes, é fundamental para o sucesso do cultivo de plantas anuais e perenes

13. Análise dos atributos químicos do solo e interpretação dos dados

A análise dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo representa uma ferramenta indispensável no planejamento da calagem, gessagem, manejo e adubação das culturas. Essa abordagem visa verificar a necessidade de corrigir a acidez do solo e de fornecer nutrientes de maneira adequada, promovendo uma produção agrícola economicamente viável e sustentável. A interpretação cuidadosa dos resultados da análise dos atributos químicos permite que profissionais da área de ciências agrárias ou não compreendam a aptidão do solo com base nos valores obtidos em laboratórios certificados. Com dados devidamente analisados e tabulados, segue-se um processo estruturado que envolve as etapas de calagem, gessagem, adubação (solo e foliar) e plantio ou reposição. Além disso, deve-se levar em consideração quais extratores foram utilizados na quantificação desses atributos químicos do solo, visto que os mesmo apresentam resultados distintos e a interpretação errônea pode causa vários problemas.

Essa abordagem sistemática, fundamentada em dados confiáveis, contribui não apenas para a correção de deficiências no solo, mas também para otimizar o uso dos

recursos disponíveis. Dessa forma, é possível maximizar a produtividade agrícola de maneira eficiente, atendendo tanto às demandas socioeconômicas quanto aos princípios da sustentabilidade ambiental. A integração da análise do solo nas práticas agrícolas é, portanto, um passo significativo em direção a uma agricultura mais produtiva e ecologicamente responsável como verificado no cronograma abaixo.



14. Calagem e gessagem

A calagem atua no equilíbrio químico do pH e na composição iônica da solução aquosa do solo. Sua determinação é indiscutível para as culturas de alta demanda por nutrientes, presos às duas ordens de exploração. Cada íon nessa "sopa iônica" procura encontrar sua posição para integrar-se a compostos químicos e, a partir desse arranjo, ocorrem alterações físicas e químicas significativas em toda a cadeia.

Essas transformações são responsáveis pelas trocas catiônicas, determinantes para a disponibilidade de nutrientes às plantas, seja na forma química ou orgânica, de acordo com suas necessidades específicas. É importante destacar que nem todos os nutrientes são fornecidos pelo solo. O carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), três elementos fundamentais, compõem uma vasta reserva proveniente da atmosfera.

A absorção eficiente de nutrientes pelas plantas ocorre através de duas vias: foliar e radicular. O desenvolvimento robusto das raízes, ao explorar o solo, amplia a absorção de íons na região dos pelos radiculares. Assim, a calagem desempenha um

papel essencial ao interferir no arranjo desses nutrientes, otimizando sua disponibilidade para as plantas.

Os solos brasileiros são caracterizados, em sua maioria, por alto grau de acidez e elevado teor de alumínio tóxico para as plantas. Por essa razão, a calagem é a prática indicada para corrigir a acidez, neutralizar o alumínio (Al^{3+}) trocável, fornecer cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) para a cultura, proporcionando maior crescimento das raízes, incrementando a produtividade. Nas propriedades físicas do solo a calagem proporciona um grande benefício, por aumentar a agregação, uma vez que o cálcio é um cátion floculante, reduzindo a compactação. Por outro lado, a calagem em excesso ou mal aplicada pode causar um efeito negativo, no desarranjo da disponibilidade de micronutrientes, pelo antagonismo ou pela inibição competitiva. O calcário pode ser aplicado a lanço manual ou com um espalhador de calcário. A calagem deve ser feita pelo menos três meses antes do plantio para dar tempo ao calcário de reagir com a água presente no solo e corrigir a acidez.

Com a umidade adequada ocorre a reação do calcário. A soma de bases: CTC efetiva = SB + Al^{3+}, é a soma de bases (SB), como magnésio, cálcio, potássio e sódio, com o alumínio. Geralmente, é utilizada para calcular a retenção de cátions e descobrir e conhecer o próprio solo. A CTC efetiva é obtida da soma dos cátions que, podem, efetivamente, que podem ser trocados, que são eles: Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} e Al^{3+}. Mesmo com uma CTC alta, não se deve descuidar sobre outras variáveis importantes, como pH e teor de matéria orgânica do solo (MOS), que podem representar maior potencial para a retenção de elementos tóxicos, como o Al^{3+}.

Os referenciais para a CTC são: CTC baixa: < 50 $mmol_c\ dm^{-3}$ ou 5 $cmol_c\ dm^{-3}$. CTC média: 50 a 100 $mmol_c\ dm^{-3}$ ou 5 a 10 $cmol_c\ dm^{-3}$. Em síntese: a CTC, envolve a capacidade de troca de cátions, obtida por soma de bases, conforme a fórmula: CTC = Σ [Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, (H+Al)], cujos valores maiores do que 150 $mmol_c\ dm^{-3}$ ou 15 $cmol_c\ dm^{-3}$, indicam presença de argila na fração. Já, os valores menores que 50 $mmol_c\ dm^{-3}$ ou 5 $cmol_c\ dm^{-3}$, indicam baixo teor de argila. É importante lembrar que boa parte da CTC pode vir da matéria orgânica. Portanto, a capacidade de troca catiônica é um dado importante a ser considerado no manejo da adubação.

Normalmente, os métodos de recomendação de calcário consideram uma profundidade de incorporação de 0 cm a 20 cm. Quando a profundidade de incorporação do calcário for superior a este valor, deve-se corrigir a quantidade proporcionalmente ao volume de solo. No entanto, em plantios já instalados, com a aplicação de calcário

superficial, deve-se proceder à amostragem de solo em duas camadas [0 a 10 cm (0 a 0,1 m) e 10 a 20 cm (0,1 a 0,2m)] e, a partir da média dos valores obtidos para as duas profundidades, aplica-se uma quantidade equivalente a $^1/_3$ da dose recomendada. No Brasil, dependendo da região, a recomendação da quantidade de calcário pode ser feita por três metodologias aqui indicadas, havendo outras de similar utilização, porém com resultados distintos:

a) Método da neutralização da acidez trocável: Esse método neutraliza a acidez trocável e eleva os teores de cálcio e magnésio trocáveis e para se definir a quantidade são considerados o poder tampão do solo, em função da textura (Y), a tolerância máxima de 5,0 % de saturação por alumínio (m %) e uma exigência mínima de 3,0 $cmol_c\ dm^{-3}$ de Ca^{2+}+Mg^{2+} para a cultura da alfafa.

$$NC\ (t\ ha^{-1}) = \{Y\ [Al^{3+} - (5{,}0 \times \frac{t}{100})] + [3{,}0 - (Ca^{2+} + Mg^{2+})]\} \times f,$$

onde:

t = capacidade de troca de cátions efetiva do solo, em $cmol_c\ dm^{-3}$;

$Y = 0{,}0302 + 0{,}06532\ r - 0{,}000257\ r^2$;

r = teor de argila do solo, em %;

f = fator de correção do PRNT do calcário f = 100/PRNT.

b) Método da saturação por bases (V %): baseia-se na relação existente entre o pH e a V %, que indica a disponibilidade média de nutrientes no solo. Para esta recomendação, são considerados o poder tampão do solo, estimado pela CTC, o estado de fertilidade atual e a exigência nutricional da cultura, definidos pela saturação por bases (RAIJ et al., 1997).

$$NC\ (t/ha) = \left(\frac{V_2 - V_1}{PRNT}\right) \times\ CTC$$

onde:

V_1= valor da saturação por bases trocáveis do solo, em porcentagem, antes da correção. [$V_1 = 100 \times (SB/CTC)$] sendo:

$SB = \Sigma(Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+})$ ($cmol_c\ dm^{-3}$ ou $mmol_c\ dm^{-3}$);

V_2 = valor da saturação por bases trocáveis;

CTC = capacidade de troca de cátions, CTC = Σ[SB, (H+Al)] ($cmol_c\ dm^{-3}$ ou $mmol_c\ dm^{-3}$);

Em solos de baixa CTC o parcelamento do N e do K é essencial para evitar perdas por lixiviação. A saturação por bases é a proporção da capacidade de troca

catiônica ocupada pelas bases. Em solos com saturação por bases maiores que 100%, não é preciso fazer a calagem. Já, os solos com saturação por bases menores que 50%, têm grande parte das cargas ocupadas por componentes da acidez potencial (H+Al), há necessidade de se fazer a correção, através diferentes corretivos da acidez. O método de calagem por saturação por bases, deve levar em consideração, os métodos baseados na insolubilização do Al^{3+} (muito tóxico) e na elevação dos teores de Ca^{2+} e do Mg^{2+} no solo, sem levar em consideração, as necessidades ou toxicidade de Na^{+} e/ou K^{+}.

c) Método do tampão SMP: é utilizado na determinação da dose de calcário para as culturas implantadas nos Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina - as quantidades de calcário recomendadas visam elevar o pH do solo para valores que variam em função do grau de tolerância das culturas à acidez do solo, tendo como princípio a relação inversa existente entre o índice de pH_{SMP} e a quantidade de calcário necessária para se elevar o pH do solo a determinado valor que, conforme já foi descrito, varia de acordo com a cultura a ser implantada. Isso acontece uma vez que a diminuição nos índices de pH_{SMP} implica em maior presença de íons geradores de acidez no solo, e, por conseguinte, em maior necessidade de calagem por área. A determinação da calagem é calculada com base no índice de pH_{SMP} da amostra de solo analisada e no grau de tolerância da cultura à acidez do solo.

Para a efetiva ação da calagem, o calcário deve ser aplicado preferencialmente 60 dias antes do plantio em duas formas de aplicação: no plantio direto é aplicado na superfície, sem a devida subsequente incorporação. no plantio convencional ou tradicional, é aplicado na superfície com a devida incorporação por aração e gradagem. Os tipos de calcário estão relacionados de acordo com a concentração de MgO, visto que alguns contém maior concentração de carbono de cálcio ($CaCO_3$) e baixo teor de carbonato de magnésio ($MgCO_3$) e são indicados para solos carentes de Ca e os que dispõe de um teor de $MgCO_3$ acima de 25% ou 12% de MgO, indicado para solos com deficiências em Ca e Mg.

Aplicação do gesso não significa corrigir o pH do solo, mas corrigir o solo em uma profundidade de 30 cm, porque, às vezes, o calcário não atinge essa profundidade, que é a zona de maior concentração do alumínio tóxico e o gesso consegue neutralizá-lo e, ainda, carregar os nutrientes em maior profundidade, impedindo que sejam lixiviados. Como consequência deste processo, o sistema radicular se aprofunda e a absorção de água e de nutrientes, são maiores.

Devido às suas características físico-químicas, e a aplicação de gesso pode compensar esse efeito carreando os íons, especialmente os cátions, melhorando o ambiente em subsuperfície, sem a necessidade de incorporação do corretivo. Outra vantagem é que a gessagem pode corrigir a acidez das camadas profundas, favorecendo a produção e a longevidade das culturas.

Para os solos das regiões tropicais, a utilização do gesso se torna eficiente quando, nas camadas subsuperficiais do solo, a saturação por Al for maior que 40 % ou o teor de Ca for menor que 0,5 $cmol_c\ dm^{-3}$.

As fórmulas sugeridas para a recomendação de gesso são apresentadas a seguir. A aplicação pode ser feita a lanço sem incorporação, antes ou depois do calcário.

a) $CaSO_4$ ($kg\ ha^{-1}$) = 5,0 × teor de argila ($g\ kg^{-1}$)

b) Dose ($kg\ ha^{-1}$ de S) = [40 – (teor médio de S no solo × 4,0)]

15. Adubação orgânica

O Brasil está situado em uma zona tropical e subtropical. Devido às temperaturas elevadas na maior parte do ano, ou durante todo o ano dependendo da região, a matéria orgânica do solo (MOS) é rapidamente mineralizada. Dessa forma, pode-se recorrer a adubos de origem orgânica, obtidos a partir da decomposição de resíduos de animais e/ou vegetais, incluindo esterco (bovino, ovino, suíno etc.), vinhaça e farinhas de ossos e de peixe. Entre as principais vantagens da adubação orgânica, destaca-se o aumento da retenção hídrica e estabilidade térmica no solo, reduzindo o estresse das raízes e aumentando a disponibilidade gradativa dos nutrientes por um período mais longo, ou seja, a planta poderá der disponível uma certa quantidade de nutriente durante todo ciclo da cultura. No entanto, o maior benefício é a longo prazo, quando as substâncias são liberadas gradualmente pela sua decomposição, podendo ser complementada com adubação química.

A MOS de maior interesse origina-se dos compostos de cama de frango, suínos e bovinos, sendo que a cama de aviário pode ser até três vezes mais fértil que a de bovinos. Esse material não substitui a adubação química, pois os nutrientes nela contidos são liberados lentamente pelo processo de mineralização. Portanto, ao aplicar seis ou sete toneladas por hectare, é necessária uma complementação com adubos químicos. Mesmo assim, essa prática pode ser vantajosa, pois reduz a quantidade de adubo químico a ser aplicada, proporcionando mais lucro para o produtor. Contudo,

para o arranque da cultura de ciclo curto se faz necessário uma fonte imediata de N e P, que pode ser fornecida por um adubo, como por exemplo o MAP (fosfato monoamônio), que contém N (9 a 11%) e P (44 a 48% de P_2O_5 ou 19 a 29% de P) na sua composição.

Para a implantação de pastagens, recomenda-se a aplicação de 15 a 20 toneladas de esterco sólido por hectare por aspersão, uniformemente distribuídas no solo antes da gradagem, complementadas com fósforo na forma de superfosfato simples, na base de 400 kg ha^{-1}, e esperar pela mineralização gradativa. No cultivo de frutíferas, sugere-se colocar 10 ou 12 litros por cova no momento de plantar as mudas e de 15 a 20 litros por planta para a manutenção periódica. Para a formação de jardins ou hortas domésticas, é recomendado colocar de 15 a 20 litros de esterco de curral ou 5 a 10 litros de cama de aviário por metro quadrado de canteiro.

Uma grande inovação na agricultura para conservação do solo foi a introdução do sistema plantio direto (SPD) e adubação de sistemas. No primeiro caso, o cultivo é realizado preferencialmente em culturas de ciclo curto ou médio sobre a palhada sem o revolvimento do solo; no segundo caso, é realizado em culturas perenes, nas quais todo o sistema é fertilizado.

Para ajuste de uma recomendação, pode-se utilizar um fertilizante tipo **organomineral**, ou seja, produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos e deverá ser constituído, no mínimo, de 50% de matérias primas orgânicas. Exemplo de utilização de esterco ou composto orgânico com adubo mineral, cultura feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*).

Aplicar por hectare:
80 kg de N
80 kg P_2O_5
50 kg de K_2O

Concentração do nutriente no esterco (E): 1% de N, 0,8% de P_2O_5 e 0,4% de K_2O

100 kg de E ——— 1 kg de N X = 8000 kg de esterco
X ——— 80 kg de N

100 kg de E ——— 0,8 kg de P_2O_5 X = 10000 kg de esterco
X ——— 80 kg de P_2O_5

100 kg de E ——— 0,4 kg de K_2O X = 12500 kg de esterco
X ——— 50 kg de K_2O

Aplicar 8000 kg de esterco para suprir o N, a falta de P_2O5 e K_2O aplicar (complementação):

10000 kg de E ——— 80 kg de P_2O_5 X = 16 kg de P_2O_5
2000 kg de E ——— X
(10000-8000)

12500 kg de E ——— 50 kg de K_2O X = 18 kg de K_2O
4500 kg de E ——— X
(12500-8000)

100 kg de SFT ——— 45 kg de P_2O_5 X = 40 kg de SFT
X ——— 16 kg de P_2O_5

100 kg de KCl ——— 40 kg de K_2O X = 30 kg de KCl
X ——— 18 kg de K_2O

Definições, conceitos na legislação sobre fertilizantes estão redigidos no decreto 86.655 do Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA).

16. Adubação verde

A "adubação verde" consiste na aplicação de MO por meio do cultivo de espécies vegetais no processo de rotação de culturas que são mantidas na superfície do solo ou incorporadas e que sejam capazes de melhorar as condições físicas, químicas, biológicas com consequente aumento da capacidade produtiva dos solos devido ao processo de reciclagem dos nutrientes presentes em camadas profundas do solo, que

foram reintroduzidas pelo sistema radicular pelos processos de absorção e solubilização ou contido na atmosfera pela fixação simbiótica de N. Essa melhoria do solo pode ser alcançada com a utilização de material orgânico proveniente de restos vegetais, como galhos, folhas e cascas de frutos, ou com o corte das plantas, como gramíneas, deixando-as como cobertura morta ou incorporando-as ao solo.

Existe também o plantio de leguminosas ou gramíneas de forma intercalar com plantas perenes ou em uma área específica, para posterior incorporação no solo. O cultivo de leguminosas resulta na fixação biológica do nitrogênio (FBN) aumentando o N da biomassa microbiana e acelera a mineralização da MO. As plantas mais utilizadas nesse processo são as leguminosas, como as crotalárias (*Crotalaria spectabilis* e *Crotalaria juncea*), feijão guandu (*Cajanus cajan*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*), kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*) e soja perene (*Neonotonia wightii*), e as gramíneas braquiária decumbens (*Urochloa decumbens*) e braquiária ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*).

Os principais fatores positivos para utilização dos adubos verdes são: *i*) melhora o controle de pragas e doenças do solo; *ii*) atua no controle biológico e conservativo de pragas agrícolas; *iii*) atrai polinizadores; *iv*) aumenta a microbiota do solo, *v*) melhora a troca de cátions de forma mais efetiva no solo; *vi*) diminui a infestação de ervas daninhas; *vii*) atua na descompactação do solo; *viii*) diminui os teores de alumínio trocável do solo e *ix*) melhora a infiltração de água no solo, ou seja, a utilização destes matérias melhora significativamente a qualidade do solo como verificado com o plantio de girassol (*Helianthus annus* L.), crotalária e feijão guandu para cobertura do solo.

17. Adubação química

Semelhante à adubação orgânica, a aplicação de fertilizantes químicos deve obedecer aos quatro fatores: **como**, **quanto**, **onde** e a **época correta de aplicação**, sem interferir no custo de produção, sempre na expectativa de aumentar significativamente

a produtividade. Esses fertilizantes podem ser provenientes de jazidas ou serem fabricados industrialmente. Podem ser classificados como mononutrientes (por exemplo, ureia, que contém N), binários (por exemplo, nitrato de potássio, que contém N e K_2O e superfosfato triplo com Ca e P_2O_5 ou P), ternários (por exemplo, formulados com N-P_2O_5-K_2O ou N-P-K), fertilizantes com outros macronutrientes (como sulfato de cálcio, que contém S e Ca) ou fertilizantes com micronutrientes (como sulfato de cobre, que contém S e Cu). Também existem os fertilizantes minerais simples (como o MAP) e os fertilizantes minerais mistos (como ureia + KCl). Por fim, há os fertilizantes minerais complexos [NH_3 (gás) + H_3PO_4 (líquido) + KCl (sólido)].

Além desses fertilizantes, existem as **fritas**, que são fertilizantes fabricados a partir de óxidos e silicatos (FTE BR 8, FTE BR 9, FTE BR12, entre outros). Esses materiais são tratados a alta temperatura até sua fusão, formando um composto óxido de silicatado, que contém um ou mais micronutrientes, como B, Cu, Fe, Mn e Zn (óxidos + silicatos aquecidos a 1500°C → fritas). Características visuais da ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio.

18. Bioinsumos

Os bioinsumos são produtos derivados de materiais biológicos que são utilizados na agricultura para promover o crescimento das plantas, melhorar a saúde do solo e aumentar a produtividade de forma sustentável. Esses insumos são geralmente compostos por micro-organismos benéficos, extratos de plantas, substâncias orgânicas e outros elementos biológicos.

Existem diferentes tipos, incluindo:

- **Bioestimulantes**: Podem ser químicos e/ou orgânicos. Esses produtos contêm princípios ativos ou agentes orgânicos ou minerais isentos de substâncias agrotóxicas, capazes de atuar diretamente ou indiretamente sobre as plantas cultivadas, aumentando sua produtividade. Esses produtos não levam em consideração seu valor hormonal ou estimulante;
- **Biopesticidas**: Utilizam organismos vivos, como bactérias, fungos, vírus ou extratos de plantas, para controlar pragas e doenças sem o uso de produtos químicos;
- **Biofertilizantes**: Fornecem os nutrientes para as plantas na forma de compostos orgânicos ou minerais. Podem conter bactérias fixadoras de nitrogênio (*Rhizobium*), microrganismos solubilizadores de fósforo (micorrizas), entre outros (pseudomonas, *Azospirillum* etc.);
- **Estimulantes de crescimento**: Contêm substâncias naturais que estimulam o crescimento das plantas, com maior absorção dos nutrientes, aumentando a resistência a estresses ambientais;
- **Ativadores biológicos do solo**: Promovem a atividade microbiana, melhorando sua estrutura, aeração e capacidade de retenção de água no solo tendo como consequência o melhor desenvolvimento das plantas.

A utilização tem crescido como uma alternativa aos fertilizantes convencionais, visando reduzir o impacto ambiental e promover práticas agrícolas mais equilibradas. Além disso, podem contribuir para a produção de alimentos mais saudáveis e a preservação da biodiversidade.

19. Experimentação em solução nutritiva

Além da experimentação ser feita em vasos em condições de casa de vegetação com utilização de substratos, como solo e areia, também pode ser conduzido ensaios com solução nutritiva, abrangendo os estudos de interações entre nutrientes a partir de doses a serem avaliadas que são subtraídas de um solução padrão. Quando se deseja obter os sintomas característicos de deficiência de um nutriente, utiliza-se uma solução completa padrão, como as de Hoagland & Arnon (1950), Sarruge (1975) e Johnson et al. (1957). Nos experimentos de diagnóstico por subtração, a partir das soluções completas omite-se o nutriente 'M' desejado, comparando-se com o tratamento controle que apresenta na composição todos os nutrientes da solução (denominada de completa).

Abaixo segue a tabela da composição química da solução nutritiva (mL L^{-1}) de Hoagland & Arnon modificada por Epstein & Bloom (2004) em um ensaio que omitiu o N.

Soluções estoque	PM (g)	Concentração (g L^{-1})		100 (%) (mL)	-N (mL)
KH_2PO_4	136,1	1,0 mol L^{-1}	136,1	6,0	-
KNO_3	101,1	1,0 mol L^{-1}	101,1	4,0	-
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	236,2	1,0 mol L^{-1}	236,2	2,0	-
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	246,5	0,5 mol L^{-1}	123,3	2,0	2,0
K_2SO_4	174,3	1,0 mol L^{-1}	174,3	-	2,0
$CaCl_2$	103,9	1,0 mol L^{-1}	103,9	-	2,0
$NH_4H_2PO_4$	115,0	1,0 mol L^{-1}	115,0	-	4,0
Micronutrientes	-	*	-	1,0	1,0
Fe -EDTA	-	**	-	1,0	1,0

*A solução de micronutrientes tem a seguinte composição em g L^{-1}: H_3BO_3, 2,86; $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, 1,81; $ZnCl_2$, 010; $CuCl_2$, 0,04; $H_2MoO_4.H_2O$, 0,02. **Dissolver 26,1 g de EDTA dissódico em 286 mL de NaOH 1,0 Mol L^{-1}, misturar com 24,9 g de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Arejar por uma noite e completar a 1 litro com água. PM, peso molecular.

Na solução é essencial que os nutrientes exigidos devam estar em equilíbrio na solução nutritiva e na ausência de um dos nutrientes ‘M’, as plantas não completa o seu ciclo de vida ou não expressem todo o seu potencial produtivo, evidenciando-se inicialmente pelos sintomas foliares, como detalhado no item 6 e posterior senescência e morte das plantas.

Com o desenvolvimento das plantas, a falta do nutriente 'M' se manifesta por sintomas visuais característicos de deficiência, observados, principalmente nas folhas e ramos, além de um crescimento reduzido. Os sintomas se manifestam muitas vezes por meio de mudanças na tonalidade de cor, clorose, necrose e definhamento.

Como o intuito de obter o ciclo completo de uma planta, sem desarranjos nutricionais, é preciso muita atenção no preparo das soluções estoque, pipetagem destas nos vasos, aeração controlada e temperatura da água, visto que qualquer erro nesta etapa de instalação pode ocasionar na perda ou ‘mascarar’ os resultados do experimento.

20. Hidroponia

A hidroponia é um sistema comercial que utiliza solução nutritiva, porém é conduzida em estufas em grande escala comercial. A nutrição das plantas cultivadas neste meio também é também feita por meio de uma solução aquosa que contém todos os elementos essenciais ao crescimento em quantidades e proporções definidas e isentas de quantidades elevadas de elementos potencialmente tóxicos. Para sua instalação, é

necessário um grande reservatório hidropônico para o armazenamento da solução nutritiva e, deste, a solução é bombeada para a bancada de cultivo, passando pelos perfis hidropônicos, onde entram em contato com as raízes das plantas e retornando ao reservatório. Atualmente, é um dos sistemas mais utilizados para a produção de diferentes tipos de hortaliças, frutíferas, flores e cereais.

É um cultivo que produz plantas sadias sem contaminantes, ao contrário do que ocorre muitas vezes em cultivos no solo ou em substratos. O sistema hidropônico apresenta técnicas mais eficientes de produção; porém, necessita de equipamentos apropriados e uso de fórmulas específicas para diversas culturas. No mercado, são encontradas misturas de sais (fertilizantes) já elaboradas para o uso na hidroponia, contendo todos os nutrientes essenciais (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn), principalmente para o cultivo de hortaliças. Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água são capazes de conduzir corrente elétrica, além de interferir no pH. O pH ideal de cultivo é na faixa de 5,5 a 6,5, enquanto a condutividade elétrica deve permanecer em torno de 1,2 mS ou 600 mg L^{-1}, o que indica que cada mS é igual a 500 mg L^{-1}, e esses dois parâmetros devem ser aferidos diariamente.

No mercado, existem diferentes soluções nutritivas para o cultivo hidropônico; porém, é necessário fazer um planejamento detalhado de produção, com plantios escalonados, de forma a colher a quantidade que precisa num determinado espaço de tempo. Uma das soluções nutritivas encontradas na literatura para o cultivo de alface (*Lactuca sativa* L.) segue abaixo:

Fertilizante comercial	Concentração de nutriente	Quantidade g por 1000 L
$Ca(NO_3)_2$	14,5% NO_3, 1,0% N-NH_4 e 19,0% de Ca	1000
KNO_3	36,5% de K e 36,0% de N-NO_3	600
KCl	49,8% de K e 47,0% de Cl	150
$NH_4H_2PO_4$ (MAP)	21,1% de P e 11,0% de N-NH_4	150
$MgSO_4$	9,5% de Mg e 13,0% de S-SO_4	250
Micro	-	500 mL
Fe-EDTA	-	500 mL

- *Solução de micronutrientes:*

Dissolver separadamente em cerca de 100 mL de água, 2,3 g de cloreto de manganês tetrahidratado ($MnCl_2 \cdot 4H_2O$), 2,04 g de ácido bórico (H_3BO_3), 0,88 g de sulfato de zinco heptahidratado ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,20 g de sulfato de cobre pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), 0,26 g de molibdato de sódio diidratado ($Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$). Após a dissolução dos sais, misturar e completar o volume a 1.000

mL. A composição concentrada desta solução em mg mL^{-1} contêm B = 0,36, Cu = 0,05, Mn = 0,65, Mo = 0,10 e Zn = 0,20. O preparo detalhado da solução de Fe-EDTA está descrito no item 18.

21. Experimentação com substratos em casa de vegetação.

Muitos experimentos são realizados em ambiente controlado com recipientes (vasos) contendo substratos que podem ser solos com diferentes características, areia e a mistura destes dois. Dependendo do objetivo proposto para os cálculos de aplicação de fertilizantes e corretivos, pode-se utilizar solos de diferentes profundidades e locais. Para exemplificar os cálculos de recomendação, será estipulado um solo coletado na camada arável de 20 cm ou 0,2 m para estimar as quantidades de corretivos e fertilizantes por vaso a serem aplicados, e neste experimento hipotético será considerada a densidade do solo (Ds) em g cm^{-3} igual a 1,0. Importante enfatizar que a Ds pode variar de acordo com a textura e estrutura de cada solo. Nos experimentos realizados em condições de casa de vegetação ou estufa, podem ser avaliados, entre outros estudos, os efeitos de fontes e doses de adubos e a interação de nutrientes, em diversos tipos de solos, através da avaliação do estado nutricional, produtividade de grãos (PG) ou de matéria seca ou massa seca da parte aérea (MSPA) ou total (MSPA + raízes), sempre baseado na comparação com os tratamentos controle ou completo.

Para os efeitos estatísticos, os experimentos devem ser instalados com no mínimo três repetições (GL = n - 1) em delineamento inteiramente casualizado (DIC) ou em blocos casualizados (DBC), que envolvem os três princípios da experimentação: repetição, casualização e controle local. Neste caso, se as condições locais não forem homogêneas, a posição dos vasos pode ter efeito significativo sobre os tratamentos sendo recomendada a utilização do DBC, ou seja, quando existe alguma condição experimental (física ou biológica) heterogênea, o suficiente para interferir nos tratamentos a serem testados, os blocos devem ser uniformes quanto possível e espera-se que haja uma minimização dessas diferenças.

Primeiramente, as análises dos atributos químicos do solo antes e após irão fornecer a quantidade a ser aplicada e os teores subtraídos para quantificar os efeitos dos tratamentos. Primeiramente, deve-se quantificar o volume de solo de 1,0 hectare a ser utilizado.

O volume de 1,0 hectare tem 100 m × 100 m × 0, 2 m = 2000 m³ de solo, transformando para kg, então 1,0 m^3 equivale a 1000 kg de solo, um hectare é calculado da seguinte maneira:

1,0 m^3 de solo ——————— 1.000 kg de solo
2.000 m^3 de solo ——————— X
X = 2.000.000 kg de solo

Após definir a quantidade de solos por hectare, será necessário fazer a correção e adubação, mas para isso uma leitura adequada da análise dos atributos químicos do solo é fundamental. Após interpretação da análise de solo e após aplicação do calcário quando necessário, deve-se umedecer os vasos com 70% da capacidade de campo (CC) e deixá-los por pelo menos 30 dias encubados para que a reação de alcalinidade (liberação de OH^-) ocorra.

Para exemplificar a necessidade e quantidade de calcário agrícola com a recomendação hipoteticamente indicada de uma tonelada por hectare pelo método da saturação por bases (V%), a aplicação por vaso de 3 L (Ds = 1,0 g cm^{-3}) seria de:

1000 kg ha^{-1} de calcário ——————— 2.000.000 kg de solo
X ——————— 1,0 kg de solo
X = 0,0005 kg de solo = 0,5 g de solo
0,5 g × 3,0 L de solo (tamanho do vaso) = 1,5 g por vaso

No caso da adubação feita após a calagem, é necessário saber qual a finalidade dos tratamentos, se for somente suprir as necessidades das plantas, a quantidade de um formulado 'X' a partir da aplicação indicada de 500 kg ha^{-1} ou 500 kg para 2.000.000 de kg de solo por um boletim de recomendação temos:

Se 500 kg é igual a 500.000 g do formulado 'X', então: 500.000 g para 2.000.000 kg de solo corresponde a 0,25 g kg^{-1} ou 250 mg kg^{-1} de 'X' a ser aplicado no solo. Como ilustração, um vaso de capacidade de 3,0 litros (não leva em consideração a Ds) de capacidade de solo deveria ser aplicado 750 mg do formulado por vaso.

Individualizando a aplicação de um fertilizante, como por exemplo NPK (N, P_2O_5 e K_2O), os cálculos para aplicação de 100 mg kg^{-1} de N (fonte: ureia, 45% de N), 100 mg kg^{-1} de P [fonte: superfosfato triplo (SFT), 42% de P_2O_5 ou 18,3% de P] e 100 mg kg^{-1} de K (fonte: cloreto de potássio (KCl), 60% de K_2O ou 50% de K) deve-se ser do seguinte modo:

100 mg kg^{-1} de ureia ———— 45 mg kg^{-1} de N
X ———— 100 mg kg^{-1} de N
X = 222,2 mg kg^{-1} de ureia
222,2 mg kg^{-1} × 3,0 L de solo (tamanho do vaso) = 666,6 por vaso
666,6 por vaso ~ 0,7 g por vaso

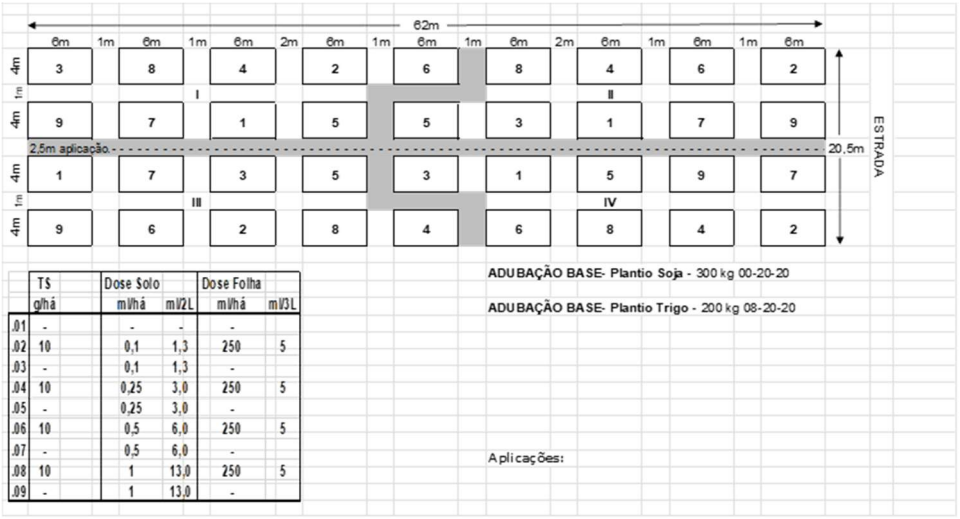
P_2O_5 = 142 mg kg^{-1} (PM) contem 62 mg kg^{-1} de P
142 mg kg^{-1} de P_2O_5 ———— 62 mg kg^{-1} de P
X ———— 100 mg kg^{-1} de P
X = 229 mg kg^{-1} de P_2O_5
SFT (Superfosfato triplo) = 42% de P_2O_5
100 mg kg^{-1} de SFT ———— 42 mg kg^{-1} de P_2O_5
X ———— 229 mg kg^{-1} de P_2O_5
X = 545 mg kg^{-1} de SFT
545 mg kg^{-1} × 3,0 L de solo (tamanho do vaso) = 1635 por vaso
1635 por vaso ~ 1,64 g por vaso

K_2O = 94 mg kg^{-1} (PM) contem 78 mg kg^{-1} de K
94 mg kg^{-1} de K_2O ———— 78 mg kg^{-1} de K
X ———— 100 mg kg^{-1} de K
X = 120,5 mg kg^{-1} de K_2O
KCl (Cloreto de potássio) = 60% de K_2O
100 mg kg^{-1} de KCl ———— 60 mg kg^{-1} de K_2O
X ———— 120,5 mg kg^{-1} de K_2O
X = 201 mg kg^{-1} de KCl
201 mg kg^{-1} × 3,0 L de solo (tamanho do vaso) = 602,6 mg por vaso
602,6 por vaso ~ 0,60 g por vaso

Portanto, 100 mg kg^{-1} de N, 100 mg kg^{-1} de P e 100 mg kg^{-1} de K em solo com Ds = 1,0 g cm^{-3} e vaso de 3,0 L de capacidade, corresponde a 0,7 g por vaso de ureia, 1,64 g por vaso de SFT e 0,6 g por vaso de KCl. Os outros nutrientes a serem aplicados seguem os mesmos tipos de cálculos.

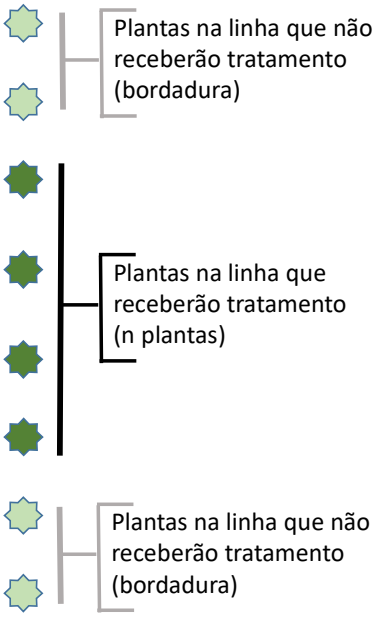
22. Experimentação de campo

Existem várias maneiras de realizar um experimento em condições de campo, podendo ser em faixas sinalizadas por bandeiras ou estacas e na forma de blocos ao acaso. Primeiramente, deve-se fazer a amostragem do solo e, a partir dos resultados, selecionar a área mais homogênea possível. Em experimentos realizados com culturas anuais (arroz, feijão, milho, soja e outras) ou semi-perenes (alfafa, trevo branco, gramíneas e outras), deve-se esquadrejá-la, balizando-a com posterior estaqueamento das parcelas, que devem ser preferencialmente separadas por carreadores, como exemplificado abaixo.



	TS	Dose Solo		Dose Folha	
	g/há	ml/há	ml/2L	ml/há	ml/3L
.01	-	-	-	-	
.02	10	0,1	1,3	250	5
.03	-	0,1	1,3	-	
.04	10	0,25	3,0	250	5
.05	-	0,25	3,0	-	
.06	10	0,5	6,0	250	5
.07	-	0,5	6,0	-	
.08	10	1	13,0	250	5
.09	-	1	13,0	-	

Os cálculos dos fertilizantes e corretivos e espaçamento entre linhas e plantas dentro de cada parcela devem ser de acordo com a cultura e dos tratamentos testados. Em culturas perenes (café, seringueira, citros e outras), comumente seleciona um número de plantas na linha deixando duas ou três plantas de bordadura por tratamento com exemplificado abaixo.



23. Fórmulas de adubação (Formulados)

Para evitar a aplicação dos nutrientes N, P e K de cada vez, existem no mercado os adubos compostos, formulados previamente preparados, que são feitos de acordo com as exigências nutricionais de cada cultura a ser adubada. As quantidades dos três

nutrientes nas fórmulas são expressas em porcentagem, como por exemplo o fertilizante 10-10-10, que contém 10% de N, 10% de P_2O_5 (4,4% de P) e 10% de K_2O (8,3% de K) na sua composição.

- Exemplo: Cálculos dos nutrientes para fabricação de 1000 kg de 10-10-10, o que equivale a 100 kg de N, 100 kg de P_2O_5 e 100 kg de K_2O contido no formulado.

Fontes propostas para fabricação do formulado:

Nitrato de Amônio (NA, NH_4NO_3), 34% de N ou 340 kg para 1000 kg

Superfosfato simples (SFS), 20% de P_2O_5 ou 200 kg para 1000 kg

Cloreto de potássio (KCl), 60% de K_2O ou 600 kg para 1000 kg

$$\text{Nitrogênio} \rightarrow \frac{1000 \times 100}{340} \cong 294 \text{ kg de NA}$$

$$Fósforo \rightarrow \frac{100 \times 1000}{200} \cong 500\ kg\ de\ SFS$$

$$\text{Potássio} \rightarrow \frac{1000 \times 100}{600} \cong 167 \text{ kg de KCl}$$

NA + SFS + KCl = 294 + 500 + 167 = 961 kg

Para completar os 1000 kg do formulado faltam:

1000 – 961 = 39 kg de material inerte (‘carga’), que será colocado para preencher a fórmula, visto que segundo a legislação do MAPA o formulado tem que ser equivalente a 1000 kg completo.

Mas o formulado pode ser feito sem a necessidade de completar com material inerte, como exemplificado abaixo:

a) SFS + KCl = (500 + 167) = 667 kg, ou seja, a quantidade de N na fórmula deve ser de 333 kg.

b) Escolher duas fontes de N ⇒ Nitrato de Amônio, NA (34% de N) e sulfato de amônio, SA (20% de N), ou seja, NA + SA = 333 kg.

c) O formulado tem 10% de N o que equivale no formulado a 100 kg, com isso 0,34% × NA + 0,20 × SA = 100 kg, como NA = 333 - SA, ao substituir na formula, ficaria: 0,34 × (333 - SA) + 0,20 × SA = 100 ⇒

113,2 – 0,34 × SA + 0,20 × SA = 100 ⇒ 113,2 – 100 = 0,14 SA

$$\text{SA} = \frac{13{,}2}{0{,}14} = 94{,}3 \text{ kg} \cong 94 \text{ kg}$$

NA = 333 - 94 = 239 kg de NA

A produção do formulado sem ‘carga’ contém: 94 kg de SA + 239 kg de NA + 500 kg de SFS + 167 kg de KCl = 1000 kg de 10-10-10 (N-P_2O_5-K_2O).

Se for incluído micronutrientes como 5,0 kg de Zn e 1,0 kg de B no formulado deve-se utilizar a seguinte equação:

$$[M] = \frac{Qa \times 100}{Qf}, \text{onde:}$$

M = % do produto (micronutriente) no formulado;

Qa = Quantidade a aplicar do micronutriente;

Qf = Quantidade do formulado a ser aplicado por ha.

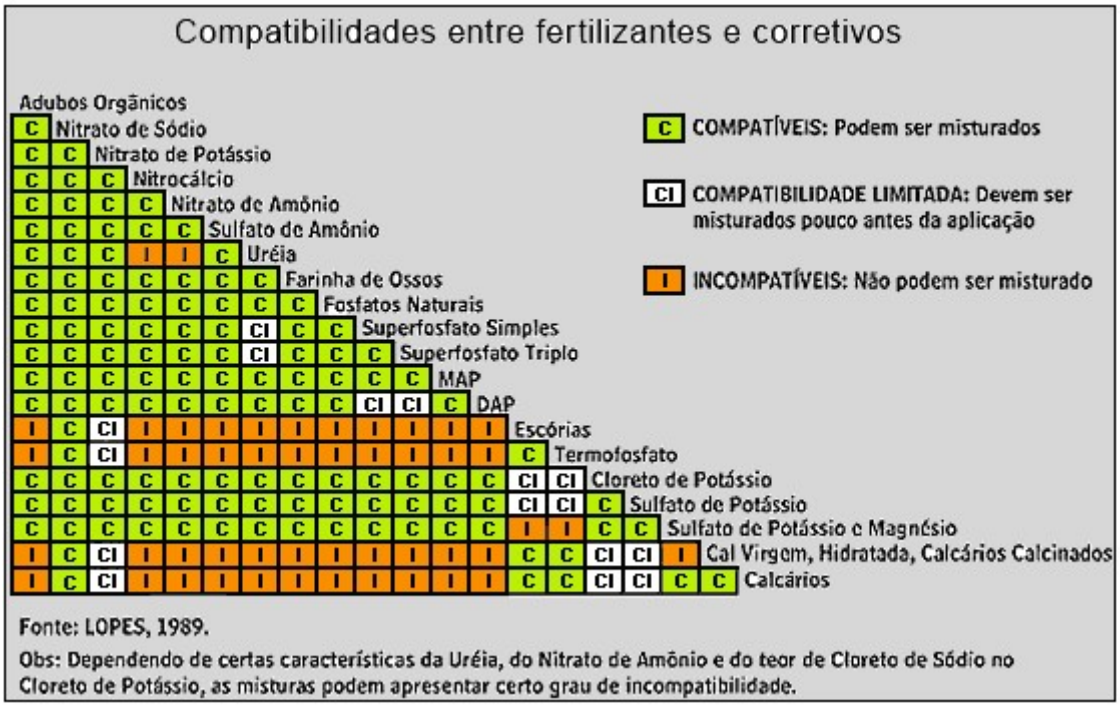
Se a quantidade me kg ha^{-1} do formulado for 500 kg, então

$$B\ (\%) = \frac{1 \times 100}{500} = 0{,}2\%\ \text{de B}$$

$$Zn\ (\%) = \frac{5 \times 100}{500} = 1{,}0\%\ Zn$$

Aplicar o seguinte formulado: 500 kg de 10-10-10 + 0,2% de B e 1,0% de Zn.

Para confecção de um formulado, na escolha dos fertilizantes deve-se ficar atento a compatibilidade entre as fontes utilizadas, podendo ser compatíveis, compatibilidade limitada e incompatíveis na sua combinação, como verificado na figura abaixo.



24. Rotação de culturas

Não se deve confundir a prática de rotação simplesmente como uma sequência ou sucessão de culturas. Trata-se de um plantio ordenado e qualificado com plantas que

se complementam. Essa rotação de culturas equivale a plantar em uma mesma área diferentes culturas em um mesmo período do ano. Sua importância, além do aspecto econômico, é reduzir os impactos ambientais, mantendo o solo sempre coberto com matéria orgânica (MO), com controle de plantas daninhas e doenças causadas pelo monocultivo. Esses benefícios tornam possível a produção diversificada de culturas em uma mesma área, permitindo que o solo se beneficie com a melhoria das características físicas, químicas e biológicas, quebra o ciclo de desenvolvimento e propagação de patógenos, pragas e ervas daninhas, reduzindo suas ocorrências, o que possibilita a reposição e/ou manutenção da MO no sistema solo-planta através da cobertura morta ou restos de culturas.

A melhoria das características físicas permite maior infiltração da água e maior agregação das partículas do solo, reduzindo o processo de erosão superficial, além de melhorar a capacidade de troca de cátions (CTC). A proteção do solo contra os agentes climáticos, advindos dessas mudanças do clima, torna a produção mais estável e contribui para o aumento ou manutenção da produtividade.

É necessário manter um planejamento bem elaborado para a sucessão ordenada de plantios, evitando uma sucessão contínua, como soja-milho e soja-trigo na mesma área. O produtor deve levar em conta sempre os benefícios que cada cultura oferecerá ao sistema produtivo e à sustentabilidade do solo, visto que uma rotação de sucessão ocasionará menor incidência de doenças e propagação de pragas, como os nematoides. É importante levar em conta a aptidão agrícola da região e o planejamento sequencial de plantas de diferentes grupos de plantas, como o grupo das gramíneas: milho (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.) e outras espécies de interesse agronômico e as leguminosas – grão de bico (*Cicer arietinum* L.), feijoeiro, soja, ervilha (*Pisum sativum* L.) e lentilha (*Lens culinaris* L.) é fundamental para o sucesso na produção agrícola.

25. Hormônios vegetais naturais e sintéticos

Existem inúmeros hormônios vegetais ou fitohormônios contendo substâncias químicas biologicamente ativas produzidas pelas plantas, que modulam ou regulam determinados processos fisiológicos. Os dois mais importantes e comumente usados são os sintéticos como ácido indolbutírico (AIB) e o giberélico conhecido como ácido indolilacético (GA). O AIB é normalmente utilizado para o estímulo de enraizamento

de estacas devido à sua menor mobilidade, menor fotossensibilidade e maior estabilidade química nas plantas e o GA, utilizado para o desenvolvimento de brotações laterais e apicais do vegetal e funciona como regulador do crescimento dos vegetais, sendo também um excelente hormônio para sementes com dificuldade de germinação, bem como em estudos que buscam aumentar o pegamento e crescimento dos frutos.

São empregados normalmente em mg L^{-1}. Para os cálculos pode-se utilizar µg g^{-1} ou µg mL^{-1}, ou mg kg^{-1}, ou seja 1,0 mL contém 1.000.000 de µg de água, de maneira que 1,0 micrograma de soluto por litro contêm 1,0 mg kg^{-1} ou mg L^{-1}. a) Nos cálculos do hormônio AIB nas concentrações de 100 mg de AIB, diluir 100 mg dissolvido em álcool e colocar em 1,0 de água (enraizador). b) Cálculo para preparação do GA, utiliza-se 100 mg de GA dissolvido em álcool, em 200 mL de água que irá produzir 200 mL de solução com 500 mg L^{-1}.

26. Propagação de plantas

As plantas são propagadas por sementes – via sexuada – ou através de suas partes vegetativas, como caule, ramos, folhas, raízes e divisão de touceiras – via assexuada. No tipo de propagação vegetativa, as partes vegetais escolhidas para serem enraizadas devem ser colocadas em recipientes com substratos adequados, onde vão constituir raízes para posterior transplante em locais definitivos. É importante ressaltar que nesse processo de reprodução de mudas, trata-se de uma clonagem vegetal e as plantas crescem com as características produtivas da matriz, podendo dar frutos a partir de dois anos. Por outro lado, através de sementes, a planta passa por diversas fases de crescimento até atingir a maturidade, e a produção de frutos pode levar, no mínimo, cinco anos. Nesse caso, o grande problema é o risco de a planta produzir frutos com características distintas, em razão da possibilidade de uma variabilidade genética proveniente de uma polinização cruzada. A grande vantagem, porém, é a de produzir mudas para servirem de porta-enxerto, e, por serem rústicas, têm maior resistência a doenças. As técnicas de propagação vegetativa são bastante usadas na fruticultura em geral, e as principais formas de obtenção de mudas através desse método são por intermédio da estaquia, mergulhia e enxertia.

Estaquia: a estaquia consiste em colocar partes da planta, que se deseja clonar, em um substrato úmido para gerar raízes e constituir uma muda. As estacas, de aproximadamente 20 cm ou 25 cm, são retiradas da parte 26 de um ramo ‘semi-lenhoso’,

cortadas em bisel na parte inferior e transversal na parte superior. Aconselha-se, antes, porém, para facilitar o enraizamento, a parte basal das estacas podem ser mergulhadas em uma solução de indução enraizadora, no caso do AIB, na concentração de 1000 a 2000 mg L^{-1}, por 5 ou 10 segundos e proceder o plantio. O fitorregulador é preparado a partir de uma solução de estabilidade hidroalcóolica, uma vez que enraizador não se dissolve em água. Primeiro, decide-se as miligramas do AIB a compor em mg L^{-1}, dissolve em 50 mL de álcool e 50 mL com água, Depois de dissolvido, completa a um litro. O tempo de enraizamento vai depender de cada espécie. Existem as que demoram 30 dias, outras, no entanto, de 60 a 90 dias. É um dos métodos que produzem mais precocemente as mudas.

Um outro método de enraizamento simples e caseiro, que pode ser utilizado, é o da estaquia em substrato numa garrafa de plástico, tipo 'pet'. Nela é feito um corte quadrado, como um pequeno orifício, por onde será colocado o solo e o manuseio das estacas. Depois do solo úmido, as estacas são enterradas a $^1/_3$ de seu tamanho, fecha-se a janela com uma fita adesiva, deixando a garrafa em um local fresco, com luz indireta. Nenhuma preocupação em irrigar, uma vez que não há perda de água, porque é criado um microclima no interior da garrafa. Com isso, a água que sobe pelo vapor é a mesma que desce para o solo. As estacas que, porventura secarem, devem ser retiradas, evitando a formação de fungos. Enraizadas, o melhor a se fazer é colocar as estacas enraizadas em saquinhos de polietileno, com um substrato contendo terra argilosa, areia e esterco n proporção 1: 1: 1, e deixá-los em um local fresco, com luz indireta, para a adaptação, em seguida, o transplante em local definitivo.

Mergulhia: é um tipo simples de multiplicação vegetativa que consiste em dobrar um ramo da 'planta-mãe' e enterrá-lo no solo. A parte enterrada enraíza, e, quando atinge um sistema radicular satisfatório, faz a sua separação da 'planta-mãe', obtendo-se assim, uma planta independente e com a característica de adulta.

Enxertia: cavaleiro e cavalo ou enxerto e porta enxerto, é feita da seguinte forma:

a) Garfagem lateral: em uma muda de pé franco (originada de semente), bem desenvolvida, faz-se um corte oblíquo na lateral do tronco e coloca-se um pequeno ramo em fenda do enxerto, envolvendo, em seguida, enxerto realizado, com o fitilho;

b) Garfagem no topo: corta-se uma ponta de um ramo de aproximadamente 15 cm, faz uma fenda (enxerto), corta uma muda de 20 ou 25 cm, que servirá de porta enxerto com um canivete e procede uma pequena rachadura, para

encaixar o ramo, exatamente no tamanho da fenda do ramo de enxerto. Ambos devem ter o diâmetro igual e o encaixe deve ser perfeito para a união dos tecidos. Depois envolve o enxerto por um fitilho, como proteção contra a umidade externa e de doenças nos ferimentos;

c) Encostia: também conhecida como 'inglês-simples', é a união do porta enxerto e o enxerto a ser propagado. Basta fazer um corte lateral nas duas partes e juntá-las, unindo cascas com cascas, para favorecer a soldagem, depois amarra-o com um fitilho, até que ocorra a junção perfeita dos tecidos. Depois de soldado, corta-se o resto do porta-enxerto, acima da região enxertada, para que o enxerto se desenvolva;

d) Borbulhia: uma gema vegetativa de 2,0 cm é destacada uma gema do broto de uma matriz ('planta-mãe'), da qual se deseja propagar. Introduz essa gema em uma muda que servirá como porta enxerto. Tipos de borbulhia: corte em 'T' ou invertido faz um pequeno corte horizontal e um vertical no porta enxerto na casca porta enxerto, desprega um pouco casca do lenho, introduz a borbulha e amarra o enxerto com o fitilho, mantendo a gema descoberta. A do 'T' invertido, como já diz, é o contrário, mas o processo de encaixe da gema é o mesmo;

e) Alporquia: é uma técnica muita usada na clonagem vegetal, que consiste em fazer crescer raízes em um galho selecionado da 'planta-mãe'. Retira uma camada externa (casca), através de um anelamento. Retira-se a casca com auxílio de um canivete. A próxima etapa é envolver esse anelamento com um substrato envolvido por um plástico branco, para que nesse substrato haja a formação de raízes. Esse anelamento bloqueia a distribuição da seiva, o que leva a um entumecimento na região das partes de cima do corte, pelo acúmulo de nutrientes e de hormônios vegetais, originando as raízes. Depois de bem enraizado, o ramo é cortado, separado da 'planta-mãe' e plantado em cova, seja no chão ou em um vaso;

Cultura de tecidos: micropropagação *in vitro* é uma outra técnica de propagação vegetativa, pela cultura de tecidos, uma metodologia laboratorial, utilizada para cultivar partes de um tecido fora do seu ambiente natural. Nessa técnica de propagação, pequenos fragmentos de tecido vivo chamados explantes, são isolados de um organismo vegetal desinfestados e desinfectados e cultivados assepticamente, em um meio de cultura apropriado e iluminação e temperatura também apropriadas. Para a agricultura o propósito é criar, em série, mudas sadias e produtivas, livres de pragas e doenças. É

uma técnica, portanto, de melhoramento de plantas. Na floricultura essa técnica também é bem aplicada.

27. Controle biológico, químico e manejo integrado de pragas e doenças

O método de controle biológico é utilizado para controlar e manejar pragas agrícolas, como insetos e organismos transmissores de doenças. Baseia-se no uso de outros organismos, como insetos predadores (*os inimigos naturais*) ou microrganismos benéficos, como fungos, vírus e bactérias. Essa abordagem é uma alternativa sustentável, visando reduzir o uso de agrotóxicos e manter um ecossistema equilibrado. No manejo integrado de pragas (MIP), é permitido o uso do controle químico apenas se a população de pragas estiver acima do esperado e houver pouca ação dos inimigos naturais - parasitas e predadores. A principal razão para isso não é apenas reduzir o uso de defensivos agrícolas, mas também introduzir práticas de sustentabilidade no agroecossistema. Portanto, esse método deve ser visto como um pilar do manejo e não como uma alternativa.

Se nenhum controle for realizado, doenças serão espalhadas e, juntamente com os danos causados pelos insetos, os prejuízos em uma safra podem chegar a até 30%. Além disso, ao longo do tempo, esses organismos prejudiciais às culturas podem desenvolver resistência aos defensivos. Por isso, estão sendo cada vez mais pesquisados os defensivos biológicos ou 'biodefensivos', produtos agrícolas desenvolvidos a partir de ingredientes ativos biológicos capazes de eliminar doenças e pragas das lavouras sem agredir o ambiente. Os 'biodefensivos' já estão sendo comercializados, com formulações biológicas e recomendações específicas de aplicabilidade do ingrediente ativo.

O método do pano-de-batida consiste em amostrar pragas utilizando um pano branco em culturas como soja, milho e sorgo. Esse pano é preso entre duas varas posicionadas entre duas fileiras do cultivo. As plantas são vigorosamente sacudidas, fazendo com que os insetos caiam sobre o pano. Posteriormente, os insetos são analisados quanto à espécie, número e estágio. Além disso, aproveita-se a possível presença de insetos nas plantas, como brocas e ninfas.

Com base nos dados obtidos das amostragens de pragas e inimigos naturais benéficos, é possível avaliar o nível de infestação e decidir se é necessário realizar um controle químico ou biológico. Esse processo pode ser repetido várias vezes durante a

safra em diversos talhões. Se as amostragens indicarem que, apesar das pragas coletadas, a quantidade de inimigos naturais é muito pequena, talvez seja recomendado realizar o controle adequado. A quantidade de uma determinada praga pode ser estimada em um hectare ou nos talhões.

Como a área do pano de amostragem é conhecida, de acordo com o espaço entre linhas, é fácil calcular a quantidade do coletado, em m², e fazer uma estimativa por hectare. Para exemplificar, depois várias amostragem, no espaçamento de 50 cm entre linhas, um pano de 1,0 m de comprimento × 0,5 m de largura = 0,5 m². Caso três lagartas, em média, sejam colhidas no pano, então, e em um 1,0 m², serão seis lagartas = 60.000 lagartas por 10.000 m² ou 60.000 por hectare. As lagartas são insetos muito desfolhantes, mais que os besouros, inclusive. Por isso é justificável o manejo e controle de pragas, para evitar uma redução da colheita, que pode significar uma perda de 25 a 30%.

28. Plantas daninhas

As plantas daninhas são espécies que estão inseridas em um sistemas de cultivo e prejudicam o desenvolvimentos de outras plantas de interesse econômico e por isso são conhecidas como ervas daninhas ou plantas invasoras. Dentro do sistema, elas competem com as plantas, principalmente, por luz, água, nutrientes e espaço. Essas plantas podem ser encontradas em diferentes áreas agrossilvipastoril como, jardins, pastagens, florestas lavouras comerciais ou de subsistência, e integração de sistemas (agroflorestal). Além disso, plantas provenientes de sementes que ficam no campo após a colheita de um cultivo anterior, como por exemplo o ‘milho tiguera’ ou ‘milho voluntário’ também devem ser eliminadas.

As plantas podem ser classificadas em três categorias principais:

Plantas daninhas anuais: Completa o ciclo de vida em apenas um único ano. Elas germinam a partir de sementes, crescem, florescem, produzem sementes e morrem no mesmo ciclo agrícola. Exemplos: caruru (*Amaranthus deflexus*), corda-de-viola (*Ipomea* sp.) e a poaia (*Richardia brasiliensis*);

Plantas daninhas bienais: Completa o ciclo de vida em dois anos. No primeiro ano, crescem vegetativamente e formam uma roseta de folhas próximas ao solo. No segundo ano, florescem, produzem sementes e morrem. Exemplos: beldroega (*Portulaca oleracea*), guanxuma branca (*Sida glaziovii*) e quebra-pedra rasteira (*Chamaesyce prostrata*);

Plantas daninhas perenes: Persistem por mais de dois anos, muitas vezes se reproduzindo tanto por sementes quanto por estruturas vegetativas, como rizomas, tubérculos ou bulbos. Elas podem ser particularmente difíceis de controlar devido à sua capacidade de sobreviver e se regenerar mesmo após intervenções de manejo. Exemplos: vassorinha de botão (*(Spermacoce verticillata),* tiririca (*Cyperus* spp.) e capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*).

As plantas daninhas podem causar uma série de problemas ao competir com as plantas cultivadas por recursos essenciais, como água, luz, nutrientes do solo e espaço, reduzindo assim o rendimento das culturas. Além disso, algumas plantas daninhas abrigam pragas e doenças que prejudicam as plantas cultivadas. Por esses motivos, o controle ou eliminação eficaz das plantas daninhas é fundamental para manutenção das produtividade agrícola e a conservação dos recursos naturais. O controle pode ser feito, dependendo do grau de infestação e das espécies, com a utilização de herbicidas seletivos (2,4-D, glifosato, imazethapyr, flazasulfuron, entre outros) ou não (paraquat, glufosinate-amonnium, entre outros), capina manual ou mecânica, arranquio e rotação de culturas.

29. Custos da produção

Para obter a colheita máxima envolvem devidos custos de produção. Nesses custos são somatizados a extrema dedicação de um profissional responsável pelas técnicas apropriadas a serem aplicadas, como uma boa gerência e planejamento do produtor, através da contabilização da disponibilização das ferramentas e maquinário modernos para a obtenção eficaz da produção e que no final, haja êxito sobre o que tudo foi planejado, ou seja, a gestão de custos é de enorme relevância para garantir a manutenção e a evolução da produtividade no campo.

Para que isso ocorra, é necessário que se faça o gerenciamento eficiente dos recursos disponíveis e que os gestores agrícolas tomem decisões, não condicionadas somente pela sua experiência e disponibilidade de recursos financeiros, mas também, das estratégias de custo de produção para garantir maior produtividade economicamente

viável. '*Arcar com os custos de forma equilibrada é aguardar a satisfação garantida pelo retorno dos investimentos feitos durante todo o ciclo de cultivo*'.

Considerações finais

Com o avanço das pesquisas e introdução de novas tecnologias nas décadas de 1970 e 1980 houve a incorporação de novas áreas de cultivo, principalmente as localizadas no Cerrado do planalto brasileiro e nas mesorregiões centro ocidental e sul paranaense. Hoje, com uma população de quase 214 milhões habitantes, o que significa muitas pessoas para alimentar, muitos veículos para locomover e muitos corpos para vestir é necessário produzir mais e incorporar de forma sustentável novas áreas cultivo, como as denominadas como MATOPIBA e SEALBA. Com o crescimento do agronegócio, a produção atual de alimentos, celulose e fibras tem sido quase suficiente para suprir as necessidades nutricionais e melhorar a qualidade de vida dos brasileiros e de uma população de quase um bilhão em outros países. A cada ano bate-se o recorde das safras, sempre garantindo o equilíbrio da nossa balança comercial.

Fora os fatores climáticos, o nosso agronegócio ano a ano aumenta sua produtividade. Com o advento da '*Revolução Verde*' iniciada por Norman Borlaug, a tese malthusiana, a qual previa um descompasso fatal entre o crescimento populacional e a produção de alimentos não teria sido derrubada há muito tempo. A fome verificada em certas regiões do nosso país é resultante, principalmente, das diferenças regionais, do problema socioeconômico e da frágil estrutura de distribuição de renda, visto que se adubar e cuidar **"Nesta terra em se plantando tudo dá"**, como diria Pero Vaz de Caminha ao descrever as Terras de Vera Cruz. À época, segundo este autor, bastava apenas retirar uma pequena parte de uma vegetação e plantar que tudo se convertia em alimentos. Ao acreditar nesta versão e sem saber a fragilidade do solo, o homem passou a devastar mais florestas, sem imaginar que a cada colheita uma grande quantidade de nutrientes era exportada pela cultura e sem saber a real necessidade de reposição através da adubação. Nas práticas agrícolas de hoje, graças aos ganhos de conhecimentos gerados, principalmente pela pesquisa, é possível manipular o que há de novo na fabricação e conversão dos insumos em comida.

Aprendeu-se que para obtenção de alimentos deve começar com a nutrição da própria planta. Não existe uma semente milagrosa sem adubo e não existe o efeito do adubo sem a água. A planta não "*come*" a seco. Ao lançá-la ao solo, uma série de

nutrientes hoje descritos como essenciais devem estar em disponibilidade adequada no solo e de maneira equilibrada, para que as plantas se desenvolvam e manifestem todo o seu potencial genético e produtivo.

Outro fator relevante, fora o clima, latitude e longitude, o Brasil possui diferentes tipos de solos e cada material genético ou planta adaptada para cada local exige uma quantidade distinta de nutrientes, cuja aplicação é baseada na amostragem de terra e de posterior análise dos atributos químicos do solo e pôr fim a recomendação. Mas, para se obter boas safras, o solo deve ser bem preparado, adubado e sua conservação é necessária para evitar os danos causados pela erosão evitando as perdas da camada fértil de terra e a lavagem dos corretivos e fertilizantes contidos e aplicados.

Na planta, a carência de um nutriente pode ser verificada pelos sintomas visuais manifestados nas folhas, raízes, grãos e caule mostrado pelo crescimento irregular e menor produtividade. Quando observada no início o sintoma de deficiência, a adubação foliar pode corrigi-la e com isso, o uso adequado dos fertilizantes nesta fase de desenvolvimento permite aumentar ou manter a produtividade por área, colhendo-se mais na mesma área plantada, ajudando a preservar as florestas e matas ciliares, garantindo mais comida para o agora e o futuro.

As pragas e doenças podem consumir até 30% de uma colheita sem levar em consideração o aumento do custo de produção, o que demanda um controle sistemático com uso de defensivos agrícolas, utilizando-se dos métodos seguros e da recomendação adequada indicada pelo manejo integrado de pragas e doenças para que não cause a contaminação de frutas e cereais, danos ao operador e ao ecossistema.

Cabe destacar, que para potencializar a produção e colher mais com sustentabilidade, atualmente existe uma tendência de mesclar o uso dos produtos convencionais com os bioinsumos e os biodefensivos. Esse produtos vêm demonstrando efeitos positivos, porém, estudos são necessários para que possamos usar essas novas tecnologias de forma eficaz, mantendo e/ou aumentando a produtividade em patamares atualmente navegáveis e no futuro nunca navegáveis e tendo em mente, como diria a frase do saudoso Professor E. Malavolta "*A agricultura é a arte de perturbar os ecossistemas sem causar danos irreversíveis*".

Referências consultadas

Amorim, L., J. A. M. Rezende, L. F. A. Camargo. (2016). *Manual de Fitopatologia*. São Paulo: Agronômica Ceres. 810p.

Arruda, M. R., A. Moreira, L. A. C. Moraes, J. C. R. Pereira. (2014). *Amostragem e Cuidados na Coleta de Solo para Fins de Fertilidade*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 18p.

Bergman, W. (1992). *Nutritional Disorders of Plants*. Stuttgart: Gustav Fischer. 742p.

Bertol, O. J., A. Colozzi Filho, G. M. C. Barbosa, J. B. Santos, M. F. Guimarães. (2019). *Manual de Manejo e Conservação do Solo e da Água para o Estado do Paraná*. Curitiba: SBCS-NEPAR. 325p.

Cantarella, H., J. A. Quaggio, D. Mattos Júnior, R.M. Boaretto, B. van Raij. (2022). *Boletim 100: Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas. 489p.

Carvalho, L. B. (2013). *Plantas Daninhas*. Lajes: Edição do Autor. 82p.

Epstein, E., A. J. Bloom. (2004). *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. Oxford: Sinauer Associates. 380p.

Fagan, E. B., E. O. Ono, J. D. Rodrigues, A. Chalfun Junior, D. Dourado Neto. (2015). *Fisiologia Vegetal: Reguladores Vegetais*. Viçosa: Andrei. 300p.

Fageria, N. K. (2009). *The Use of Nutrients in Crop Plants*. Boca Raton: CRC Press. 430p.

Klein, V. A. (2014). *Física do Solo*. Viçosa: Editora UFV. 263p.

Lopes, A. S. (1989). *Manual de Fertilidade do Solo*. São Paulo: ANDA/Potafos. 155p.

Malavolta, E. (2006). *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres. 631p.

Malavolta, E., F. Pimentel-Gomes, J. C. Alcarde. (2000). *Adubos & Adubações*. São Paulo: Nobel. 200p.

Martinez, H. E. P. (2021). *Manual Prático de Hidroponia*. Viçosa: Aprenda Fácil. 294p.

Moreira, A., A. C. C. Bernardi, J. B. Rassini, R. P. Ferreira, P. P. A. Oliveira. (2007). *Fertilidade do Solo e Estado Nutricional da Alfafa Cultivada nos Trópicos*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. 40p.

Moreira, A., A. C. C. Bernardi, J. B. Rassini. (2008). Correção do Solo, Estado Nutricional e Adubação da Alfafa. In: Ferreira, R. P., J. B. Rassini, A. A. Rodrigues,

A, R, Freitas, A. C. Camargo, F. C. Mendonça. (Eds.). *Cultivo e Utilização da Alfafa nos Trópicos*. São Carlos: Embrapa. p.81–126.

Moreira, A., A. C. V. Motta, A. Costa, A. S. Muniz, L. C. Cassol, L. A. Zanão Júnior, M. A. Batista, M. M. L. Müller, M. V. Cremonesi, N. Hager, V. Pauletti. (2018). *Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná*. Curitiba: SBCS-NEPAR. 289p.

Moreira, A., A. L. Borges, M. R. Arruda, J. C. R. Pereira. (2010). Nutrição e Adubação dos Bananais Cultivados na Região Amazônica. In: L. Gasparotto, J. C. R. Pereira, (Eds.). *A Cultura da Bananeira na Região Norte do Brasil*. Manaus: Embrapa. p.97–132.

Moreira, A., L. A. C. Moraes. (2018). Nutrição e Adubação da Cultura da Soja: Macronutrientes. In: Prado, R.M., C. N. S. Campos. (Eds.). *Nutrição e Adubação de Grandes Culturas*. Jaboticabal: FCAV. p.181–201.

Moreira, A., P. C. Teixeira, C. G. Plácido Junior, R. A. Zaninetti. (2010). *Fertilizantes e Corretivo da Acidez do Solo em Pimenta de Cheiro* (Capsicum chinense) *Cultivada no Estado do Amazonas* (*1ª aproximação*). Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 18p.

Moreira, A., R. A. D. Cabrera, J. C. R. Pereira, L. Gasparotto, T. B. Garcia, M. R. Arruda. (2008). *Diagnóstico Nutricional, Adubação e Calagem para Citros Cultivado no Estado do Amazonas (1ª Aproximação)*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 26p.

Raij, B. van. (2011). *Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes*. Piracicaba: IPNI. 420p.

Ribeiro, A. C., P. T. G. Guimarães, V. H. Alvarez-Venegas. (1999). *Recomendação para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais*. Viçosa: CFEMG. 359p.

Salvador, J. O., A. Moreira, E. Malavolta. (2000). Nutrição Mineral e Adubação. In: I. Manica, I. M. Icuma, N. T. V. Junqueira, J. O. Salvador, A. Moreira, E. Malavolta. (Eds.). *Fruticultura tropical 6. Goiaba*. Porto Alegre: Cinco Continentes, p. 135–168.

Silva, A. (1990) *Enxertia: manual técnico para amadores e profissionais*. São Paulo: Ecoagri. 166p.