

SISTEMA PLANTIO DIRETO E CONTROLE DE EROSIÃO NO ESTADO DO ACRE

PAULO GUILHERME SALVADOR WADT
EDITOR TÉCNICO

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

Sistema Plantio Direto e Controle de Erosão no Estado do Acre

Paulo Guilherme Salvador Wadt
Editor Técnico

*Embrapa Acre
Rio Branco, AC
2007*

Autores

Alberto Carlos de Campos Bernardi

Eng. agrôn., D.Sc., Embrapa Pecuária Sudeste,
Rod. Washington Luiz, km 234, Faz. Canchim, Caixa
Postal 339, CEP:13560-970, São Carlos, SP,
alberto@cnpse.embrapa.br

Ari Pinheiro Camarão

Eng. agrôn., D.Sc., Embrapa Amazônia Oriental,
Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/nº, Bairro do Marco, Caixa
Postal 48, CEP: 66095-100, Belém, PA,
camarao@cpatu.embrapa.br

Beáta Eموke Madari

Eng. agrôn., Ph.D., Embrapa Arroz e Feijão,
Rodovia GO-462, km 12, Caixa Postal 179, CEP:
75375-000, Santo Antônio de Goiás, GO,
madari@cnpaf.embrapa.br

Cláudio José Reis de Carvalho

Eng. agrôn., D.Sc., Embrapa Amazônia Oriental,
Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/nº, Bairro do Marco, Caixa
Postal 48, CEP: 66095-100, Belém, PA,
carvalho@cpatu.embrapa.br

Lucélia Filgueira de Souza

Estudante de Agronomia da Universidade Federal do
Acre, Bolsista Pibic/CNPq/Embrapa/Ufac, Rodovia BR
364, km 14, Caixa Postal 321, CEP: 69908-970, Rio
Branco, AC, lucelia@driis.com.br

Marcos Gervasio Pereira

Eng. agrôn., D.Sc., Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro, Rodovia BR 465, km 7, CEP: 23890-000,
Rio de Janeiro, RJ, gervasio@ufrj.br

Maria do Socorro de Andrade Kato (in memoriam)

Eng. agrôn., D.Sc., Embrapa Amazônia Oriental,
Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/nº, Bairro do Marco, Caixa Postal
48, CEP: 66095-100, Belém, PA

Oswaldo Ryohei Kato

Eng. agrôn., D.Sc., Embrapa Amazônia Oriental,
Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/nº, Bairro do Marco, Caixa Postal
48, CEP: 66095-100, Belém, PA, okato@cpatu.embrapa.br

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Eng. agrôn., D.Sc., Embrapa Acre, Rodovia BR 364, km 14,
Caixa Postal 321, CEP: 69908-970, Rio Branco, AC,
paulo@cpafac.embrapa.br

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado

Eng. agrôn., Ph.D., Embrapa Arroz e Feijão,
Rodovia GO-462, km 12, Caixa Postal 179, CEP: 75375-000,
Santo Antônio de Goiás, GO, pmachado@cnpaf.embrapa.br

Ricardo de Oliveira Figueiredo

Eng. agrôn., D.Sc., Embrapa Amazônia Oriental,
Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/nº, Bairro do Marco, Caixa Postal
48, CEP: 66095-100, Belém, PA, ricardo@cpatu.embrapa.br

Tatiana Deane de Abreu Sá

Eng. agrôn., D.Sc., Embrapa Sede, Parque Estação Biológica
– PqEB s/nº, Caixa Postal 040315, CEP: 70770-901, Brasília,
DF, tatiana.sa@embrapa.br

Capítulo 2

Plantio Direto na Capoeira: Uma Alternativa com Base no Manejo de Recursos Naturais

Oswaldo Ryohei Kato
Maria do Socorro de Andrade Kato
Cláudio José Reis de Carvalho
Ricardo de Oliveira Figueiredo
Ari Pinheiro Camarão
Tatiana Deane de Abreu Sá

Introdução

Uma das práticas de manejo agrícola mais utilizadas pela agricultura familiar na Amazônia é caracterizada pela agricultura itinerante, também conhecida como agricultura de derruba e queima, que se baseia no cultivo agrícola por um ou dois anos, seguido de um período de pousio para o crescimento da vegetação secundária (capoeira). Portanto, este sistema consiste na rotação de culturas anuais ou bianuais com a vegetação secundária.

Estudos conduzidos na região Bragantina, no nordeste do Estado do Pará, indicam que neste sistema rotacional a produtividade dos cultivos permanecerá relativamente estável, enquanto as taxas de rotação se mantiverem com período de pousio suficientemente longo para permitir que a vegetação secundária expresse sua capacidade, considerando-se a manutenção da diversidade florística, a ciclagem de água e nutrientes (Hölscher et al., 1997a, b; Sommer et al., 2004) e o acúmulo de carbono e nutrientes na sua biomassa (Denich, 1991; Denich et al., 1999; Tippmann, 2000).

A estabilidade na produtividade das culturas comerciais é decorrente do controle de invasoras, da proteção do solo pela rede de raízes da capoeira e da disponibilização aos cultivos dos nutrientes acumulados na biomassa da capoeira, após seu corte (Denich et al., 2004). Contudo, quando o período de pousio decresce, a efetividade desses benefícios também decresce, comprometendo a sustentabilidade da produção agrícola (Metzger, 2000).

Um dos problemas resultantes da diminuição do período de pousio é decorrente das repetidas queimadas da

vegetação secundária após a prática de derrubada. O processo de queima provoca uma contínua perda de nutrientes e aumento da taxa de mineralização da matéria orgânica (Hölscher et al., 1997a, b), o que ocasiona a redução da fertilidade do solo, resultando em sua degradação e conseqüente declínio da produtividade.

A menor produtividade das culturas, aliada à crescente pressão populacional, e conseqüente necessidade de aumento da produção agrícola levam à expansão da área cultivada dentro dos limites dos lotes, contribuindo para diminuir o período de pousio neste sistema rotacional para menos de 10 anos (Metzger et al., 1998). Neste cenário, os impactos ambientais negativos extrapolam a degradação dos solos, causando emissão de gases de efeito estufa para atmosfera, que contribuem para o aquecimento global, aumento dos riscos de incêndios florestais e prejuízos à saúde humana pela menor qualidade do ar (Diaz et al., 2003).

Considerando ainda que a Amazônia possui em torno de 600 mil famílias de agricultores familiares, que produzem 70% dos alimentos básicos da população por meio da agricultura de derruba e queima, a Embrapa Amazônia Oriental, em parceria com a Universidade de Bonn e Universidade de Göttingen, desenvolveu estudos para avaliar o sistema de derruba e queima, propondo alternativas ao uso do fogo e redução do período de pousio.

Neste capítulo, serão relatados os principais resultados científicos obtidos na região de Bragantina, PA, com a avaliação do sistema convencional de derruba e queima da vegetação secundária. Serão destacados seus benefícios para a sustentabilidade agrícola e para o controle integrado da erosão.

Localização da Área de Estudo

As pesquisas para o desenvolvimento do novo sistema rotacional capoeiras–culturas comerciais foram desenvolvidas na região Bragantina, no nordeste do Estado do Pará, onde a colonização é mais antiga.

Nesta região, a precipitação média anual é de 2.500 mm, sendo os meses de maior precipitação março e abril e os de menor setembro a novembro. A temperatura média anual varia de 25,5°C a 26,8°C e a umidade relativa do ar de 80% a 89%. Na região predominam solos da subordem Argissolo Amarelo. Normalmente, são solos distróficos, com boas características físicas, e de baixa fertilidade natural (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios de pH, teores de N_{total} , $N_{mineral}$, P, K, Ca, Mg, Al, C e relação C/N em solos com cobertura vegetal de capoeiras de 4 e 10 anos em quatro profundidades. Igarapé-Açu, 1998.

Profundidade cm	pH	N_{total} %	N_{min} ---mg kg ⁻¹ ---	P	K	Ca	Mg	Al	C	C/N
						---cmol(+)kg ⁻¹ ---			%	
-----Capoeira de 4 anos-----										
0 - 10	5,2	0,07	53	3,0	15	0,8	0,4	0,2	1,07	15,3
10 - 20	5,1	0,04	52	1,5	9	0,4	0,2	0,4	0,58	14,5
20 - 30	5,2	0,04	53	1,1	8	0,3	0,2	0,4	0,59	14,7
30 - 50	5,3	0,03	48	0,1	7	0,3	0,2	0,4	0,51	17,0
-----Capoeira de 10 anos-----										
0 - 10	5,1	0,07	83	2	21	0,7	0,4	0,2	0,99	14,2
10 - 20	5,1	0,06	-	1	16	0,7	0,2	0,4	0,81	13,4
20 - 30	5,2	0,05	-	0,1	10	0,3	0,2	0,5	0,72	13,1
30 - 50	5,1	0,04	-	0,1	7	0,3	0,2	0,6	0,58	14,5

Fonte: Kato, 1998.

Caracterização da Vegetação Secundária do Nordeste Paraense

Os estudos realizados principalmente nas últimas décadas vêm comprovando a importância do papel da capoeira nos aspectos ambientais e socioeconômicos enquanto componente do sistema rotacional de uso da terra adotado pela grande parte dos agricultores da Amazônia (Hedden-Dunkhorst et al., 2003).

A manutenção da capoeira no sistema rotacional proporciona acumulação de nutrientes (Denich, 1991; Nye e Greenland, 1960), reciclagem e recuperação de nutrientes de camadas profundas do solo (Sommer, 2000), controle da erosão (Hoang Fagerstrom et al., 2002; MacDonald et al., 2002), supressão de plantas invasoras (Rouw, 1995; Gallagher et al., 1999), suprimento de madeira (Sanchez, 1995) e manutenção da biodiversidade (Baar, 1997).

Em estudos realizados na região Bragantina em 92 áreas de capoeiras, com idade variando de 1 a 10 anos, foi verificada a ocorrência de 673 espécies de plantas, das quais 316 eram árvores e arbustos (Baar, 1997), sendo a maioria das espécies relativamente raras, e 20 espécies representando 80% das árvores e arbustos da biomassa da vegetação secundária de aproximadamente 4 anos de idade (Denich, 1991). Esta diversidade florística abriga diferentes grupos de espécies com concentrações semelhantes de nutrientes, havendo grupos que abrangem espécies com concentrações relativamente elevadas de fósforo (P), como por exemplo, *Cecropia palmata* e *Neea macrophylla*, e outro que engloba espécies com tendência a acumular nitrogênio (N),

incluindo, dentre outras, espécies do gênero *Cassia* e *Inga* (Denich, 1991).

A acumulação de biomassa aérea pela vegetação secundária (Tabela 2) é fundamental no sistema de derruba e queima, pois é nela que se acumulam os nutrientes (Tabela 3) que serão posteriormente disponibilizados pelas cinzas para as culturas agrícolas. Chama atenção a baixa quantidade de fósforo acumulado na biomassa da capoeira. Deve-se ainda considerar que a serrapilheira, formada pelas espécies da capoeira (Cattanio, 2002), influencia na disponibilidade de matéria orgânica e na manutenção da mesofauna do solo (Denich, 1991) e igualmente em processos por ela mediados.

As raízes da vegetação secundária também desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes, pois ao atingirem profundidades que podem chegar a 6 metros, recuperam os nutrientes lixiviados no perfil do solo, ciclando-os para as camadas superficiais (Wickel, 2004; Sommer et al., 2001, Sommer, 2000).

Tabela 2. Biomassa aérea seca ($Mg\ ha^{-1}$) da vegetação secundária do nordeste paraense de diferentes idades.

Compartimento	Idade da capoeira			
	1 ano	4-5 anos	7 anos	10 anos
Madeira	1-3	9-25	29-61	58-68
Folhas	< 1-2	3-5	4-6	6-9
Serrapilheira	3-6	6-8	8-11	12-17
Ervas e gramíneas	< 1-4	1-1	< 1	< 1-1
Total	8-12	19-38	42-77	78-94

Fonte: Denich et al., 2004.

Tabela 3. Macro e micronutrientes acumulados na biomassa de vegetação secundária de 4-5 anos.

Compartmento	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Cu
	-----kg ha ⁻¹ -----								
Folha	56-83	2,2-3,0	1,9-36	27-34	10-15	14	0,3-07	0,1	0,1
Madeira	39-102	1,9-5,1	32-65	43-92	11-18	16	0,4-1,2	0,2-0,4	0,1-0,4
Serrapilheira	62-106	1,6-2,4	8-11	30-102	6-13	10	0,6-1,5	0,1-0,3	0,1-0,2

Fonte: Denich et al., 2004, adaptada de Denich (1991) e Sommer (2000).

O Sistema de Derruba e Queima na Região Bragantina, Pará

O sistema de cultivo itinerante caracteriza-se, em geral, por envolver 1 a 2 anos de cultivo com culturas anuais (milho, arroz, caupi ou mandioca) em rotação com 3 a 7 anos de pousio, crescendo neste período a capoeira. A sustentabilidade deste sistema depende do período de pousio ser suficiente para o acúmulo de biomassa e nutrientes que serão utilizados na fase de cultivo agrícola (Kanashiro; Denich, 1998). O preparo da área para o plantio consiste na derruba manual da vegetação secundária e queima durante o período de seca. Os benefícios imediatos (de curto prazo) são a melhoria da fertilidade natural e diminuição da acidez do solo pela adição das cinzas, a supressão de plantas invasoras e redução dos inóculos de pragas e doenças (Nye e Greenland, 1960; Juo e Lal, 1977; Juo e Manu, 1996).

A desvantagem do processo de queima é a possibilidade de haver perdas de até 96% de nitrogênio, 76% de enxofre, 47% de fósforo, 48% de potássio, 35% de

cálcio e 40% de magnésio, conforme os dados de Mackensen et al. (1996) avaliando a perda de nutrientes em capoeira de 7 anos de idade submetida à queima.

A intensificação do sistema itinerante de derruba e queima, com a redução do período de pousio, e longos períodos de cultivo com espécies semipermanentes, como o maracujá e a pimenta-do-reino, com repetidas capinas, aração e gradagem, eliminam as raízes da vegetação secundária, reduzem a capacidade de regeneração desta e aumentam a incidência de ervas e gramíneas (Denich, 1991; Clausing, 1997; Jacobi, 1997; Nunez, 1995).

Após a queima e até o estabelecimento da nova cultura, a exposição do solo à ação direta das chuvas e a permanência das cinzas sobre o solo descoberto são provavelmente os principais fatores relacionados à degradação do solo, além daqueles já citados. Neste sentido, um manejo alternativo para as capoeiras deve considerar a possibilidade da manutenção da cobertura do solo e a diminuição do revolvimento deste por processos mecânicos (aração e gradagem).

Em geral, a conversão do ecossistema natural para sistema manejado induz a uma substancial redução nos teores de matéria orgânica do solo. Essa redução é resultado das estratégias de manejo do solo adotado pelo agricultor, especialmente pela remoção dos resíduos orgânicos e distúrbios no solo que refletem negativamente na produtividade das culturas (Ayanaba et al., 1976; Lugo e Brown, 1993). A deterioração das propriedades do solo pelas práticas agrícolas nos trópicos é causada, em geral, pela acelerada redução no conteúdo de matéria orgânica do solo (Tiessen et al., 1994; Shang

e Tiessen, 2000; McDonald et al., 2002) o qual favorece a redução do conteúdo dos nutrientes, da capacidade de troca de cátions, da estabilidade de agregados e da aeração do solo. Para manutenção da produtividade no sistema de derruba e queima, a matéria orgânica que é perdida durante o período de cultivo deve ser reposta na fase de pousio (Denich et al., 2004), por isso, é requerido um tempo mínimo nesta fase para reposição dessas perdas.

Alternativas ao Uso do Fogo e Redução do Período de Pousio no Sistema de Derruba e Queima

Grandes esforços têm sido feitos para modernizar o tradicional sistema de cultivo de derruba e queima, concentrados principalmente no restabelecimento da fertilidade do solo, na supressão de plantas invasoras, na melhoria de acumulação de biomassa e nutrientes em pousios mais curtos, bem como no aumento do valor econômico da vegetação secundária (Denich et al., 2004).

A avaliação das limitações atuais do sistema de derruba e queima adotado na agricultura familiar do nordeste do Pará pelo Projeto Shift Capoeira – Programa de cooperação técnica entre a Embrapa Amazônia Oriental e as Universidades de Bonn e Göttingen da Alemanha no âmbito do Programa Shift (Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics) (Kanashiro e Denich, 1998) – apontou a necessidade de intervenção em dois momentos do ciclo do sistema: a) na fase de cultivo, substituindo o fogo no preparo de área pela trituração da vegetação para evitar as perdas de nutrientes pela queima da vegetação e cultivo em sistema de plantio direto (Kato et al., 1999; Kato, 1998);

e b) na fase de pousio, introduzindo a prática da capoeira melhorada com árvores de rápido crescimento para acelerar a acumulação de biomassa e nutrientes de forma a possibilitar a redução do tempo de pousio (Brienza Junior, 1999).

Sistema Alternativo de Corte e Trituração

A substituição do uso do fogo por outro sistema sem o uso deste pode mitigar o balanço negativo do sistema de derruba e queima (Tabela 4) (Sommer, 2000; Holscher et al., 1997). Desta forma a vegetação secundária não queimada serve de fonte de material orgânico para o solo, promovendo melhoras em suas propriedades químicas, físicas e biológicas. O preparo de área sem o uso do fogo pode ser realizado manualmente ou com uso de ensiladeira de forragens, demandando, entretanto, grande quantidade de mão-de-obra (Denich et al., 2004).

A alternativa é a utilização de um triturador de capoeira motomecanizado (ou adaptado de trituradores de galhadas) que realize a derruba da vegetação, trituração da biomassa e distribuição sobre o terreno na forma de cobertura morta (*mulch*) em uma única operação (Block, 2004).

Neste processo, a trituração da biomassa aérea da vegetação secundária deve ser realizada a uma altura de 5-10 cm, de forma a manter os tocos e as raízes da vegetação secundária e assim garantir a regeneração da capoeira. Após a trituração, o material deve ser distribuído sobre o solo na forma de cobertura morta e o plantio deverá ser realizado na forma de plantio direto (Kato et al., 2004a).

No sistema sem queima, a disponibilização de nutrientes será dependente do processo de decomposição da biomassa da capoeira triturada. Por isso, no primeiro momento após a trituração, os microorganismos responsáveis pelo processo de decomposição imobilizam os nutrientes (Cattanio, 2002), sendo necessário adicionar fertilizantes para obter uma boa produção (Kato et al., 1999). Entretanto, como principal benefício tem-se a menor disponibilidade de nutrientes perdidos por erosão, além de se manter o solo coberto evitando o contato direto das gotas de chuva e, ainda, aumentar a rugosidade do solo, diminuindo, portanto, o escoamento superficial. A adubação complementar pode compensar o efeito negativo devido à imobilização dos nutrientes na fase inicial do cultivo agrícola (Tabela 5). E em médio prazo, a produtividade mesmo sem o uso da adubação complementar pode atingir os níveis conseguidos no primeiro ano de queima, proporcionando maior estabilidade de produção ao longo dos anos (Kato et al., 1999).

Normalmente, nitrogênio, fósforo e potássio são os nutrientes que mais limitam a produção em áreas preparadas com corte e trituração (Bünemman, 1998), sendo, dentre estes, o fósforo o mais limitante, pela baixa disponibilidade desse elemento no solo e na biomassa da capoeira (Tabela 3). Portanto, o aumento da produtividade é proporcional ao aumento da adubação fosfatada (Fig. 1) (Bünemman, 1998; Kato et al., 2000). Uma alternativa é a utilização de genótipos de plantas cultivadas adaptadas a solos ácidos e com baixo nível de fósforo (Kato et al., 2002; Vasconcelos; Vielhauer, 1999).

O sistema de corte e trituração tem sido também testado para o cultivo de maracujá. Nesta cultura a produção de frutos nas áreas preparadas pelo método tradicional de derruba e queima apresentou pior desempenho que o sistema de corte e trituração, o qual foi semelhante à área com aração e gradagem. No sistema de pastagens (*Brachiaria brizantha* associada à *Brachiaria humidicola*), também o sistema de corte e trituração proporcionou maior oferta de forragem, além de ser observada menor incidência de plantas espontâneas (Camarão et al., 2002).

Capoeira Melhorada

A outra técnica associada ao sistema de corte e trituração é a melhoria de capoeira com o objetivo de reduzir o período de pousio de 4-10 anos para 2 anos (Denich et al., 2004; Brienza Junior, 1999; Silva Junior et al., 1998). Isso ocorre pela introdução de árvores de rápido crescimento na capoeira, de forma a acelerar o acúmulo de biomassa e nutrientes. As espécies de árvores leguminosas selecionadas até o momento são: *Acacia angustissima*, *Acacia auriculiformes*, *Racosperma mangium*, *Clitoria racemosa*, *Inga edulis* e *Sclerolobium paniculatum*.

Em geral, no sistema de derruba e queima o último cultivo é a mandioca, e posteriormente a área entra em pousio. A introdução de árvores de rápido crescimento é realizada ainda na fase de cultivo da mandioca. Elas se beneficiam dos tratamentos culturais que a mandioca recebe em seu cultivo e, posteriormente, após a colheita dos tubérculos não mais recebem nenhum tratamento cultural específico, passando a crescer juntamente com a

vegetação natural em regeneração. Essa técnica possibilita, em 21 meses, aumentar a produção de biomassa aérea de 13% para 132%, em comparação com áreas de regeneração natural de capoeira no mesmo período.

Tabela 4. Balanço de nutrientes nos sistemas de derruba e queima e corte e trituração*.

Preparo de área (Fontes de ganhos e perdas de nutrientes)	N	P	K	Ca	Mg	S
Derruba e queima	------(kg ha ⁻¹)-----					
Deposição atmosférica	26*	4	12	30	15	22
Adubação	70	48	66	31	-	-
Perdas pela queima	-246	-8	-58	-151	-29	-35
Perdas por lixiviação	-16	-1	-11	-48	-9	-5
Perdas pela colheita	-127	-22	-78	-16	-14	-7
Balanço	-293	21	-69	-154	-37	-25
Corte e trituração						
Deposição atmosférica	26**	4	12	30	15	22
Adubação	70	48	66	31	-	-
Perdas por lixiviação	-10	-1	-3	-25	-6	-13
Perdas pela colheita	-112	-22	-83	-14	-12	-7
Balanço	-26	29	-8	22	-3	2
Ganhos (corte e trituração)	267	8	61	176	34	27

*Pousio de 3,5 anos e período de cultivo de 2 anos.

**Inclusive fixação biológica de nitrogênio.

Fonte: Denich, 2004.

Tabela 5. Produção (Mg ha^{-1}) de arroz, caupi e raízes frescas de mandioca no sistema de corte e trituração.

Preparo de área	Arroz			Caupi			Mandioca		
	1995/1996	1997/1998	2002/2003	1995/1996	1997/1998	2002/2003	1995/1996	1997/1998	2002/2003
VS 4 anos									
Queima + NPK	2,7	2,7	2,9	1,6	1,6	1,4	30,2	24,6	33,8
Cobertura + NPK	2,5	3,2	3,2	1,5	2,0	1,5	28,8	26,0	28,4
Queima	1,5	1,4	1,9	0,3	0,3	0,5	16,3	11,3	15,1
Cobertura	0,9	1,5	1,4	0,2	0,6	0,3	17,7	17,4	15,5
VS 10 anos									
Queima + NPK	3,0	3,9	3,5	1,5	2,0	1,5	30,0	29,0	36,5
Cobertura + NPK	2,3	3,6	3,6	1,5	2,3	1,8	26,8	23,8	34,3
Queima	1,2	1,4	1,6	0,3	0,3	0,2	15,5	10,2	14,5
Cobertura	0,5	1,7	0,8	0,0	0,2	0,2	12,7	13,5	14,0

Em que: VS = vegetação secundária.

Fonte: Kato et al., 2004.

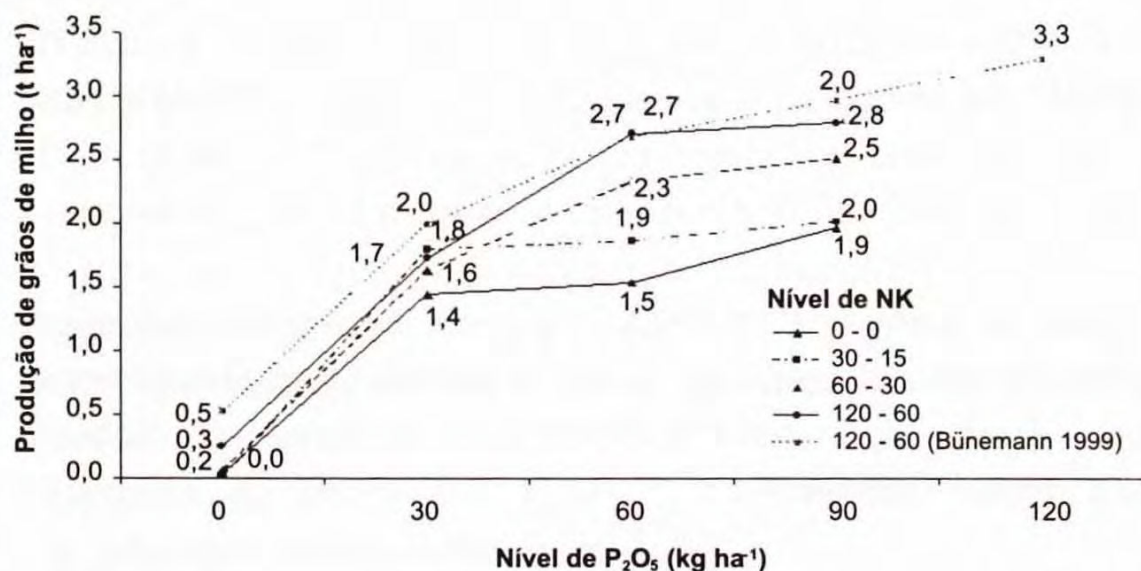


Fig. 1. Produção de grãos de milhos (Mg ha^{-1}) em função da aplicação de níveis crescentes de fósforo em áreas preparadas com corte e trituração.

Considerando a importância da manutenção da biodiversidade da vegetação natural, o plantio das árvores de rápido crescimento deve respeitar um espaçamento mínimo de 2 x 2 m a fim de não comprometer a regeneração das espécies da capoeira natural (Wetzel et al., 2000, citado por Vielhauer; Sá, 1999).

A técnica de melhoria de capoeira é fortemente associada ao preparo da área sem o uso do fogo. A habilidade das árvores de rápido crescimento em absorver nutrientes do solo, inclusive em profundidade, e a grande conversão em biomassa poderão acelerar o processo de degradação caso o fogo venha a ser utilizado no preparo de área, acarretando as maiores perdas de nutrientes durante a queima dessa vegetação (Kato et al., 2004; Vielhauer; Sá, 1999).

Árvores de rápido crescimento também podem ser utilizadas na recuperação de pastagens abandonadas ou degradadas e conversão dessas áreas para uso na produção agrícola (Fernandes et al., 1998). Nesse caso é recomendado utilizar espaçamentos de 1 x 1 m de forma a adensar o plantio para suprimir as gramíneas.

Como o fósforo é o elemento mais limitante ao desenvolvimento de culturas neste sistema, atenção especial está sendo dada para a introdução de espécies cicladoras desse nutriente.

Aspectos Promissores do Sistema Alternativo sem o Uso do Fogo

Intensificação do Sistema de Produção

A tecnologia de corte e trituração permite realizar dois ciclos de cultivo seguidos, ao passo que, no sistema tradicional de derruba e queima, só se consegue boa produção com um ciclo de cultivo (1 a 2 anos). Essa produção só é possível devido à liberação lenta dos nutrientes retidos na biomassa aérea triturada e distribuídos na forma de cobertura morta do solo (Kato et al., 1999; Kato, 1998). Essa intensificação pode ser expressa utilizando-se o fator de uso da terra proposto por Ruthenberg (1980) por meio da equação ($R = [C * 100] / [C + F]$), em que C representa o número de anos de cultivo e F o número de anos de pousio. Os fatores de uso da terra então propostos são:

Sistema tradicional de derruba e queima: $R = 0,27$.

Sistema de corte e trituração com cultivo estendido:
 $R = 0,43$.

Ainda considerando a possibilidade da redução do período de pousio por meio da melhoria da capoeira, o fator de intensificação do uso da terra ficaria, então:

Sistema de corte e trituração com cultivo estendido + capoeira melhorada: $R = 0,60$.

Mudança do Calendário Agrícola

Tradicionalmente o preparo da área para plantio é dependente do período seco para secagem do material vegetal derrubado e posterior queima. Como o sistema de corte e trituração não depende desse período seco, a trituração pode ser realizada em qualquer época do ano, além disso, a camada de cobertura morta conserva mais umidade no solo, permitindo a extensão do cultivo até durante a estação seca, mesmo que as culturas empregadas sejam exigentes em água como o arroz ou o milho (Parry; Vielhauer, 2000). Desta forma existe a possibilidade de mudar a época do plantio, e assim obter produções fora da época normal e o produtor conseguir melhores preços no mercado (Kato et al., 2003).

Melhor Balanço de Nutrientes

Com o sistema de corte e trituração evitam-se perdas de nutrientes com a queima da biomassa aérea, contribuindo para um balanço positivo de nutrientes (Tabela 4) (Sommer et al., 2004). Assim, enquanto a agricultura de derrubada, corte e queima reduz a fertilidade dos solos, o sistema de corte e trituração proporciona a recuperação gradual destes solos com adições contínuas de nutrientes e carbono.

Qualidade do Solo

Toda a biomassa aérea da vegetação secundária no sistema de corte e trituração é fonte de matéria orgânica para o sistema. A quantidade dessa biomassa varia de acordo com a idade da vegetação secundária e com a intensidade e sistema de uso da terra, podendo variar

de 8 Mg ha⁻¹ (capoeira de 1 ano) a 90 Mg ha⁻¹ (capoeira de 10 anos) (Denich et al., 2004). Toda essa biomassa é triturada e distribuída no solo como cobertura morta, formando uma camada que varia de acordo com a biomassa da capoeira e plantio direto. Estudos realizados no âmbito do projeto Tipitamba mostram maiores teores de carbono orgânico no solo, principalmente na camada superficial, quando o sistema de corte e trituração foi utilizado no preparo da área (Tabela 6). Durante os meses seguintes o impacto foi atenuado por meio das perdas por volatilização e utilização como substrato pelos microrganismos do solo.

Há também melhoria no estoque de carbono na biomassa microbiana do solo no local de corte e trituração em comparação à área queimada, sendo este efeito mais evidente aproximadamente dois meses após o preparo da área. Observam-se também valores mais elevados de biomassa microbiana nas áreas sob tratamento de trituração no mês de junho, provavelmente pela manutenção de condições mais estáveis de umidade e pela maior quantidade de carbono disponível na superfície.

Tabela 6. Teores de carbono orgânico coletado em três épocas distintas em área de vegetação secundária, queimada e triturada no Município de Igarapé-Açu, Pará.

Tratamento	fev./2002	abr./2003	out./2003
Vegetação secundária	-----g kg ⁻¹ -----		
0-5 cm	16,55 (±2,29)	9,04 (±0,28)	13,14 (±1,81)
5-10 cm	13,44 (±1,56)	7,94 (±0,13)	9,32 (±1,40)
10-20 cm	10,24 (± 0,40)	6,68 (±0,27)	9,08 (±1,26)
20-30 cm	8,81 (±0,16)	17,66 (±1,17)	8,41 (±2,08)
Queimada	Cultivo milho	Cultivo milho + mandioca	Início de pousio
0-5 cm	16,88 (± 2,86)	14,13 (±1,72)	11,00 (±1,35)
5-10 cm	16,83 (± 0,26)	10,74 (±1,70)	8,62 (±0,45)
10-20 cm	12,09 (± 1,01)	7,93 (±0,68)	7,26 (±0,44)
20-30 cm	8,74 (±1,51)	6,72 (±0,14)	17,66 (±1,17)
Triturada	Cultivo milho	Cultivo milho + mandioca	Início de pousio
0-5 cm	23,95 (± 5,59)	17,66 (±1,17)	21,77 (±1,16)
5-10 cm	15,72 (± 0,95)	12,19 (±0,56)	14,17 (±1,85)
10-20 cm	10,80 (± 0,97)	8,56 (±0,57)	10,92 (±1,11)
20-30 cm	8,59 (±0,75)	7,44 (±0,60)	9,74 (±3,57)

Fonte: Carvalho et al. (dados não publicados).

Dinâmica de Água e Nutrientes

Estudos conduzidos na Embrapa Amazônia Oriental apontaram balanço de água e comportamento hidrológico da área triturada semelhantes aos de uma área de capoeira de 4 anos e meio. Os resultados também mostraram uma lixiviação de nutrientes mais elevada em áreas de cultivo de espécies semiperenes, como a pimenta-do-reino e o maracujá, nas quais o sistema radicular das espécies da capoeira é afetado substancialmente (Wickel, 2004). Deve-se destacar também que em áreas submetidas à queima ocorrem perdas adicionais significativas de potássio, cálcio e magnésio para os corpos de água.

Seqüestro de Carbono

No sistema de derruba e queima ocorre uma considerável perda de carbono (C) para a atmosfera, em poucos minutos. De acordo com Hölscher et al. (1997a), durante a queima da vegetação são perdidos 98% do C estocado na biomassa. A contribuição para o seqüestro de C pelos cultivos agrícolas, durante a fase agrícola do sistema, é de 2,1 Mg ha⁻¹ de C pela cultura do milho (4 meses), de 1,6 Mg ha⁻¹ pelo caupi, de 2,6 a 5,6 Mg ha⁻¹ pela mandioca (1 a 1,5 ano), de 2,6 Mg ha⁻¹ pelo maracujá (1 ano) e 5,3 Mg ha⁻¹ pela pimenta-do-reino com 2,5 anos de idade (Denich et al., 1999).

As vegetações secundárias, em pousio, em propriedades agrícolas e em nível de paisagem são capazes de acumular carbono acima (Tabela 7) e abaixo do solo. As capoeiras melhoradas com introdução de leguminosas de rápido crescimento também acumulam carbono (Denich et al., 1999; Brienza Junior, 1999) e as capoeiras melhoradas com *Racosperma mangium* foram aquelas que apresentaram maior seqüestro de carbono.

Tabela 7. Estoque de carbono acima do solo (Mg ha⁻¹ em capoeiras naturais e melhoradas).

Capoeira	Idade da capoeira (meses)	Carbono (Mg ha ⁻¹)
Capoeira natural	30	9,5
Capoeira melhorada		
<i>Acacia auriculiformes</i>	21	18,9
<i>Acacia angustissima</i>	30	13,9
<i>Clitoria fairchildiana</i>	30	10,9
<i>Inga edulis</i>	30	12,3
<i>Racosperma mangium</i>	30	23,6

Fonte: Denich et al., 1999; Brienza Junior, 1999.

A decomposição da biomassa triturada causa imobilização de nutrientes pelos microorganismos envolvidos no processo de decomposição (Cattanio, 2002) devido à elevada relação C/N do material (Kato, 1998). Apesar disso, aos 5 meses a decomposição da biomassa pode liberar em torno de 28% a 50% de biomassa proveniente de capoeira de 4-5 anos (Denich, 1991; Kato, 1998), podendo chegar a 70% aos 10 meses (Bervaldo, 2005).

A prática da agricultura sem queima, por meio da técnica de corte e trituração, evita perdas de carbono e nutrientes. No entanto, lentamente libera carbono para atmosfera quando comparada à técnica de derruba e queima, contribuindo, em longo prazo, para aumentar a quantidade de matéria orgânica do solo.

Conservação da Biodiversidade

A manutenção do sistema rotacional de capoeiras com culturas comerciais pode favorecer a manutenção da biodiversidade (Baar, 1997), principalmente pelo fato de que a maioria das espécies de vegetação secundária se regenera pela rebrota dos tocos e raízes (Denich, 1991; Nunez, 1995). Os resultados indicam que a diversidade e a estrutura vertical de vegetação secundária em pousio, que antes fora preparada pelo sistema de corte e trituração, são semelhantes à da capoeira não manejada (Rodrigues et al., 2004), embora uma maior densidade de plantio das árvores de rápido crescimento na capoeira melhorada ocasione efeito negativo na regeneração da vegetação secundária natural (Wetzel et al. citado por Vielhauer et al., 1998; Lima e Miranda, 2004).

Conclusão

Enquanto a agricultura de derruba e queima reduz a fertilidade dos solos, o plantio direto na capoeira proporciona a recuperação gradativa da fertilidade com adições contínuas de nutrientes e carbono. A cobertura morta do solo resultante da trituração da vegetação secundária contribui para uma melhor manutenção do conteúdo de água no solo, menores variações da temperatura, redução da erosão, aumento da atividade biológica, melhoria das características físicas do solo e manutenção da biodiversidade. Destaca-se que as raízes das espécies da capoeira são as grandes responsáveis pela recaptura dos nutrientes que lixiviam no perfil do solo, os quais são utilizados em seu crescimento, conferindo sustentabilidade a estes agroecossistemas.

Referências

AYANABA, A.; TUCKWELL, S. B.; JENKISON, D. S. The effects of clearing and cropping on organic reserves and biomass of tropical forest soils. **Soil Biological Biochemistry**, v. 8, p. 519-525. 1976.

BAAR, R. **Vegetations kundliche und ökologische Untersuchungen der Buschbrache in der Feldumlagewirtschaft im ostlichen Amazonasgebiet.** Gottinger Beitrage zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen. 1997. 202 p.

BERVALD, C. M. P. **Tecnologia mecanizada em preparo de área sem queima no nordeste paraense.** 2005. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, 2005, Santa Maria.

BLOCK, A. **Gottinger mahhacksler tritucap und forstmulcher – nicht brennende flachenvorbereitung am Beispiel der Zona Bragantina, Nord-Ost-Amazonien, Brasilien.** 2004. 171 p. Tese (Doutorado). Universität Göttingen.

BRIENZA JUNIOR, S. **Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous trees in the Eastern Amazon of Brazil.** Gonttinger Beitrage zur Land-und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen, Göttingen, 1999. 134 p. Tese (Doutorado).

BÜNEMANN, E. **Einfluß von Mulch und mineralischem Dunger auf Zea mays und Vigna unguiculata in der Feldumlagewirtschaft Ostamazoniens.** Diplomarbeit Georg-August. Universität Göttingen, 1998.

CAMARÃO, A. P.; RODRIGUES FILHO, J. A.; RISCHKOWSKY, B.; MENDONÇA, C. L. G.; HOHNWALD, S. Disponibilidade de forragem, composição botânica e qualidade da pastagem de capim quicuío-da-amazônia (*Brachiaria humidicola*) sob três condições. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2002. 1 CD-ROM.

CATTANIO, J. H. **Soil N mineralization dynamics as affected by pure and mixed application of leavy material from leguminous trees used in planted fallow in Brazil.** Georg-August-Universität, Göttingen. Fakultät für Agrarwissenschaften. 2002. Dissertation. Disponível em: <<http://webdoc.gwdg.de/diss/2002/cattanio/cattanio.pdf>>.

CLAUSING, G. Early regeneration and recolonization of cultivated areas in the shifting cultivation system employed in the eastern Amazon region, Brazil. **Natural Resource Development**, v. 45/46, p. 76-102. 1997.

DENICH, M. **Estudo da importância de uma vegetação secundária nova para o incremento da produtividade do sistema de produção na Amazônia Oriental Brasileira.** Belém: EMBRAPA-CPATU, 1991. 284 p.

DENICH, M.; VIELHAUER, K.; KATO, M. do S. A.; BLOCK, A.; KATO, O. R.; SÁ, T. D. de A.; LUCKE, W.; VLEK, P. L. G. Mechanized land preparation in Forest-based fallow systems: the experience of Eastern Amazonia. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 91-1006, 2004.

DENICH, M.; KANASHIRO, M.; VLEK, P. L. G. The potential and dynamics of carbon sequestration in traditional and modified fallow systems of the Eastern Amazon region, Brazil. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; STEWART, B. A. (Ed.). **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC, 1999, p. 213-229.

DIAZ, M. del C. V.; NEPSTAD, D.; MENDONÇA, M. J. C.; MOTA, R. S.; ALENCAR, A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. **O preço oculto do fogo na Amazônia: custos econômicos associados ao uso de fogo**. Report of IPAM/IPEA / WHRC, Belém, Pará, Brazil, 43 p. Disponível em: <http://www.ipam.org.br/publica:publica-papers.php>. Acesso em: nov. 2003.

FERNANDES, T.; VIELHAUER, K.; LOPES, M.; FOLSTER, H. Recuperation of a degraded pasture to return to the traditional shifting cultivation system. In: SHIFT-WORKSHOP, 3., 1998, Manaus. **Proceedings**. Bonn: BMBF, 1998, p. 119-124.

FERREIRA, M. do S. G.; OLIVEIRA, L. C. **Potencial produtivo e implicações para o manejo de capoeiras em áreas de agricultura tradicional no Nordeste paraense**. Belém: Embrapa-CPATU, 2001. 6 p. (Embrapa-CPATU. Comunicado Técnico, 56).

GALLAGHER, R. S.; FERNANDES, E. C. M.; McCALLIE, E. L. Weed management through short-term improved fallows in tropical agroecosystems. **Agroforest Systems**, v. 47, p. 197-221, 1999.

HEDDEN-DUNKHORST, B.; DENICH, M.; VIELHAUER, K.; MENDONZA-ESCALANTE, A.; BORNER, J.; HURTIENNE, T.; SOUZA FILHO, F. R. de; SÁ, T. D. de A.; COSTA, F. de A. Forest-based fallow systems: a safety net for smallholders in the Eastern Amazon? In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL RURAL, 2003, Bonn. **Livelihoods Forests and Biodiversity**. Bogor: CIFOR, 2003. Disponível em: <http://66.102.1.104/scholar?hl=pt-R&lr=&q=cache:9KdKat2QtjAJ:www.zef.de/research_activities/shift/download/CIFOR_Conference_Bonn_Hedden-Dunkhorst.pdf+Forest-based+fallow+systems>. Acesso em: 16 jul. 2007.

HOANG FAGERSTROM, M. H.; NILSSON, S. I.; VAN NOORDWIJK, M.; THAI PHIEN, O. M.; HANSSON, A.; SVENSSON, C. Does Tephrosia candida as fallow species, hedgerow or mulch improve nutrient cycling and prevent nutrient losses by erosion on slopes in northern Vietnam? **Agricultural Ecosystems and Environment**, v. 90, p. 291-304, 2002.

HOLSCHER, D.; LUDWIG, B.; MÖLLER, M. R. F.; FOLSTER, H. Dynamic of soil chemical parameters in shifting agriculture in the Eastern Amazon. **Agricultural Ecosystems and Environment**, v. 66, p. 153-163, 1997a.

HOLSCHER, D.; MOLLER, M. R. F.; DENICH, M.; FOLSTER, H. Nutrient input-output budget of shifting cultivation in Eastern Amazonia. **Nutrient Cycl Agroecosyst**, v. 47, p. 49-57, 1997b.

JACOBI, I. **Der Beitrag von Keimlingen zur Regeneration der brachevegetation im ostlichen Amazonasgebiet**. 1997. 148 f. Thesis. University of Hamburg, Germany, 1997.

JUO, A. S. R.; MANU, A. Chemical dynamics in slash-and-burn agriculture. **Agricultural Ecosystems and Environment**, v. 58, p. 49-60, 1966.

JUO, A. S. R.; LAL, R. L. The effect of fallow and continuous cultivation on the chemical and physical properties of an Alfisol in western Nigeria. **Plant and Soil** v. 47, p. 567-584, 1977.

KANASHIRO, M.; DENICH, M. **Possibilidades de utilização e manejo adequado de áreas alteradas e abandonadas na Amazônia brasileira**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia; CNPq, 1998. 157 p.

KATO, M. S. A.; KATO, O. R.; SECCO, N. B. Intensificando o cultivo em sistemas agroflorestais sucessionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5., 2004, Curitiba. **SAFs: desenvolvimento com proteção ambiental**. Curitiba: Embrapa Florestas, 2004. 1 CD-ROM. p. 111-113. (Embrapa Florestas. Documentos, 98).

KATO, O. R.; KATO, M. S. A.; SÁ, T. D. de A.; FIGUEIREDO, R. Plantio direto na capoeira. **Ciência e Ambiente**, v. 29, p. 99-111, 2004a.

KATO, O. R.; KATO, M. S. A.; VIELHAUER, K.; BLOCK, A.; JESUS, C. C. de. **Cultivo do milho em sistema de corte e trituração da capoeira na região nordeste do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 18 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 19).

KATO, M. S. A.; KATO, O. R.; JESUS, C. C. de; RENDEIRO, A. C. L. **Genótipo de milho para plantio em sistema de corte e trituração**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 4 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 65).

KATO, O. R.; KATO, M. S. A.; DENICH, M.; VLEK, P. L. G. Phosphorus availability in slash-mulch system in Eastern Amazonia. In: GERMAN-BRAZILIAN WORKSHOP ON NEOTROPICAL ECOSYSTEMS- ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS OF COOPERATIVE RESEARCH, 2000. Hamburg. **Abstracts**. Hamburg, 2000. p. 261.

KATO, M. S. A.; KATO, O. R.; DENICH, M.; VLEK, P. L. G. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the eastern Amazon region: The role of fertilizers. **Field Crop Research**, v. 62, p. 225-237, 1999.

KATO, O. R. **Fire-free land preparation as an alternative to slash-and-burn agriculture in the Bragantina region: crop performance and nitrogen dynamics**. Göttingen: Cuvillier, 1998. 132 p.

KATO, M. S. A. **Fire-free land preparation as an alternative to slash-and-burn agricultura in the Bragantina region: crop performance and Phosphorus dynamics**. Göttingen. Cuvillier, 1998. 144 p.

LIMA, T. T. S.; MIRANDA, I. de S. Dinâmica da regeneração natural de capoeiras oriundas de diferentes sistemas agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5., 2004, Curitiba. **SAFs: desenvolvimento com proteção ambiental**. Curitiba: Embrapa Florestas, 2004. 1 CD-ROM. p. 425-427. (Embrapa Florestas. Documentos, 98).

LUGO, A. E.; BROWN, S. Management of tropical soils as sinks of atmospheric carbon. **Plant and soil**, v. 149, p. 27-41, 1993.

MACKENSEN, J.; HOLSCHER, D.; KLINGE, R.; FOLTER, H. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 86, p. 121-128, 1996.

McDONALD, M. A.; HEALEY, J. R.; STEVENS, P. A. The effects of secondary forest clearance and subsequent land-use on erosion losses and soil properties in the Blue Mountains of Jamaica. **Agricultural Ecosystems and Environment**, v. 92, p. 1-19, 2002.

METZGER, J. P. M. Dinâmica e equilíbrio da paisagem em áreas de agricultura de corte-e-queima em pousio curto e longo na região da Bragantina. In: SEMINÁRIO SOBRE MANEJO DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA A SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA FAMILIAR DA AMAZONIA ORIENTAL, 1999, Belém. **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p. 47-50. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 69).

METZGER, J. P.; DENICH, M.; VIELHAUER, K.; KANASHIRO, M. Fallow periods and landscape structure in areas of slash-and-burn agriculture (NE Brazilian Amazon). In: SHIFT-WORKSHOP, 3., 1998, Manaus. **Proceedings...** Bonn: BMBF, 1998. p. 95-100.

NYE, P. H.; GREENLAND, D. J. **The soil under shifting cultivation**. Harpenden: Commonwealth Bureau of soils, 1960. 156 p. (Technical Communication, 51).

NUNEZ, J. B. H. **Fitomassa e estoque de bioelementos das diversas fases da vegetação secundária, provenientes de diferentes sistemas de uso da terra no nordeste paraense, Brasil.** 1995. 184 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará, Belém, 1995.

PARRY, M. M.; VIELAHAUER, K. Produção de milho em diferentes épocas de cultivo e adubação, em áreas preparadas com cobertura morta. In: SEMINÁRIO SOBRE MANEJO DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA A SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA FAMILIAR DA AMAZÔNIA ORIENTAL, 1999, Belém. **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p. 125-127. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 69).

RODRIGUES, M. A. C. de M.; MIRANDA, I. de S.; KATO, M. S. A. Estrutura de florestas secundárias originadas após o uso de diferentes trituradores florestais em sistemas agroflorestais seqüenciais no nordeste paraense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5., 2004, Curitiba. **SAFs: desenvolvimento com proteção ambiental.** Curitiba: Embrapa Florestas, 2004. 1 CD-ROM. p. 452-454. (Embrapa Florestas. Documentos, 98).

ROUW, A. de. The fallow period as a weed-break in shifting cultivation (tropical wet Forests). **Agricultural Ecosystems and Environment**, v. 54, p. 31-43, 1995.

RUTHENBERG, H. **Farming systems in the tropics.** 3. ed. Oxford: Clarendon Press, 1980.

SANCHES, P. Science in agroforestry. **Agroforest Systems an International Journal**, v. 30, p. 5-55, 1995.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Carbon turnover and carbon-13 natural abundance in organo-mineral fractions of a tropical dry forest soil under cultivation. **Soil Science Society An Journal**, v. 64, p. 2149-2155, 2000.

SILVA JUNIOR, M. L.; VIELHAUER, K.; DENICH, M.; VELK, P. L. G. Can tree enrichment of secondary vegetation and fire-free land preparation by cutting, chopping and mulching improve the following crops? In: SHIFT-WORKSHOP, 3., 1998, Manaus. **Proceedings...** Bonn: BMBF, 1998. p. 113-118.

SOMMER, R.; VLEK, P. L. G.; SÁ, T. D. de A.; COELHO, R. F. R.; FOLSTER, H. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon – evidence for sub-soil nutrient accumulation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 68, p. 257-271, 2004.

SOMMER, R.; SÁ, T. D. de A.; VIELHAUER, K.; VLEK, P. L. G.; FOLSTER, H. Water and nutrient balance under slash-and-burn agriculture in the Eastern Amazon, Brazil – The role of a deep rooting fallow vegetation. In: INTERNATIONAL PLANT NUTRITION COLLOQUIUM 'FOOD SECURITY AND SUSTAINABILITY OF AGRO-ECOSYSTEMS, 14, 2001. **Proceedings...**[s.l.:s.n.], 2001. p. 1014-1015.

SOMMER, R. **Water and nutrient balance in deep soils under shifting cultivation with and without burning in the Eastern Amazon**. Göttingen: Cuvillier, 2000. 240 p.

TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. **Nature**, v. 371, p. 783-785, 1994.

TIPPMANN, R. **Assessment of carbon sequestration in landscape under the clean development mechanism of the Kyoto Protocol.** 2000. Thesis (Mestrado in Geography) University of Bonn, Germany, 2000.

VASCONCELOS, S.; VIELHAUER, K. Seleção de genótipos de milho tolerantes à deficiência de P para agricultura familiar no Nordeste Paraense. In: SEMINÁRIO SOBRE AGRICULTURA FAMILIAR DA AMAZÔNIA ORIENTAL, 1999, Belém. **Anais.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental: CNPq. p. 122-124. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 69).

VIELHAUER, K.; SÁ, T. D. de A. Efeito do enriquecimento de capoeiras com árvores leguminosas de rápido crescimento para a produção agrícola no Nordeste Paraense. In: SEMINÁRIO SOBRE AGRICULTURA FAMILIAR DA AMAZÔNIA ORIENTAL, 1999, Belém. **Anais.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental: CNPq. p. 27-34. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 69).

VIELHAUER, K.; KANASHIRO, M.; SÁ, T. D. de A.; DENICH, M. Technology development of slash-and-mulch and of fallow enrichment in shifting cultivation systems of the Eastern Amazon. In: SHIFT-WORKSHOP, 3., 1998, Manaus. **Proceedings...** Bonn: BMBF, 1998. p. 49-59.

WICKEL, B. **Water and nutrient dynamics of a humid tropical watershed in Eastern Amazonia.** 2004. 135 f. Thesis (Doctor. Ecology and Development) University of Bonn, Bonn, 2004.