

BALANÇO DE NUTRIENTES E DA FITOMASSA EM UM ARGISSOLO AMARELO SOB FLORESTA TROPICAL AMAZÔNICA APÓS A QUEIMA E CULTIVO COM ARROZ⁽¹⁾

**F. A. R. SAMPAIO⁽²⁾, L. E. F. FONTES⁽³⁾,
L. M. COSTA⁽³⁾ & I. JUCKSCH⁽³⁾**

RESUMO

O sistema de agricultura migratória constitui um dos principais modelos de agricultura praticados na região Amazônica. Este trabalho teve por objetivo avaliar o balanço de nutrientes no ecossistema florestal após a derrubada da vegetação primária e sua queima. Após a retirada e queima da mata, foi instalado um experimento para comparar áreas queimadas sem cultivo (queimado) e áreas queimadas com cultivo de arroz (cultivado). Estas áreas ainda foram contrastadas com uma área de vegetação primária (mata), considerada como referência. O procedimento da queimada consumiu 36,3 % da biomassa inicial e originou 5,5 Mg ha⁻¹ de cinzas com significativas quantidades de nutrientes, principalmente Ca, Mg e K. A prática da queima como meio de limpeza do terreno apresentou baixa eficiência, uma vez que apenas um pequeno percentual da fitomassa inicial foi convertido em cinzas e grande parte dessa biomassa permaneceu na área na forma de resíduos. Mesmo com a reposição de nutrientes, como Ca, Mg, K, pelas chuvas da região, houve uma considerável remoção de N, P, K, Ca, Mg e S, seja pela ação direta do fogo e do vento sobre as cinzas, seja pela remoção pela cultura. No balanço final, a área queimada sem cultivo apresentou maior perda de nutrientes do que a queimada e cultivada, denotando a importância da cobertura do solo na manutenção de elementos no sistema. Ao final do ciclo da cultura, ainda se verificou o efeito residual das cinzas no sistema, evidenciado pelos valores de P, K, Ca e Mg superiores aos do controle (mata).

Termos de indexação: Amazônia, agricultura itinerante, efeito residual, conversão de florestas.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal de Viçosa – UFV. Recebido para publicação em julho de 2001 e aprovado em agosto de 2003.

⁽²⁾ Pesquisador da Associação de Assistência Técnica e Extensão Rural de Rondônia (EMATER-RO). Av. Farquar 3055, Bairro. Pedrinhas, CEP 78904-660 Porto Velho (RO). E-mail: farsampaio@aol.com

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. Av. PH Rolfs s/n, CEP 36570-000 Viçosa (MG). E-mails: luizfontes@ufv.br; liovando@solos.ufv.br; jucksch@ufv.br

SUMMARY: *NUTRIENT AND PHYTOMASS DYNAMICS IN A YELLOW ARGISSOL UNDER AMAZONIAN TROPICAL FOREST AFTER BURNING AND RICE CULTIVATION*

The system of shifting cultivation is one of the main agriculture models used in the State of Rondônia, as well as in other areas of the Brazilian Amazon. This paper aimed at na evaluation of the nutrient balance in the forest ecosystem after cutting down and burning the primary vegetation. After felling and burning the forest, an experiment was conducted to compare burned areas without cultivation (burned) to burned areas with cultivation of rice (cultivated). Furthermore, these areas were compared with an area of primary vegetation (forest) used as reference. Burning consumed 36.3% of the initial biomass and produced 5.5 Mg ha⁻¹ of ashes with significant amounts of nutrients, mainly Ca, Mg, and K. To clear areas by means of burning turned out to be a practice of low efficiency, because only a small percentage of the original biomass was converted into ashes and the greatest part remained in the form of residues. Even with the restitution of nutrients such as Ca, Mg, K by rain, there was a considerable removal of N, P, K, Ca, Mg, and S, on the one hand by direct action of the fire, on the other through the carrying off of the ashes by the wind, and/or the removal by the crop. Results indicated that nutrient loss in the burned uncultivated area was greater than in the burned cultivated one, demonstrating the importance of soil covering to keep the elements in the system. At the end of the culture cycle, the residual effect of the ashes was still noticeable in the system, clearly expressed by the P, K, Ca, and Mg values which were higher than those measured in the control area (forest).

Index terms: Amazonia, shifting agriculture, residual effect, forest conversion.

INTRODUÇÃO

A discussão a respeito do desmatamento na região Amazônica extrapola os limites dos territórios dos países que abrigam este importante ecossistema mundial. Neste sentido, as causas deste processo de devastação, bem como suas formas de controle e vigilância, além das conseqüências locais, regionais e mesmo de natureza global, têm sido amplamente abordadas em vários encontros políticos e científicos. Por outro lado, essa intensa discussão desencadeada nas últimas décadas não evitou o aumento crescente da taxa de derrubada da floresta. No caso da Amazônia brasileira, o desmatamento aumentou de 1,1 milhão ha ano⁻¹, no início dos anos 90s, para 1,5 milhão entre 1992 e 1994, atingindo 1,9 milhão ha ano⁻¹ entre 1995 e 1998 (Laurance, 2000).

Dentre as regiões mais afetadas neste processo de desmatamento, está o estado de Rondônia, uma das mais recentes fronteiras agrícolas brasileiras. A partir de 1960, o acelerado programa de assentamentos e as facilidades de acesso atraíram para este estado milhares de migrantes, vindos de várias partes do País. A contrapartida que acompanhou este intenso crescimento populacional foi a derrubada e a queima de grandes áreas de florestas naturais. A expressiva taxa anual de crescimento demográfico de 5,4 % (IBGE, 1992), média verificada entre 1980 e 1991, desencadeou um confronto homem-natureza imposto pela

necessidade de sobrevivência dos agricultores migrantes, resultando na redução do período de descanso das áreas para prazos que não permitem uma adequada regeneração da fertilidade do solo.

O sistema tradicional de cultivo na Amazônia, denominado agricultura migratória, vem sendo utilizado há tempos pelas tribos indígenas da região. Este sistema caracteriza-se pela derrubada de pequenas áreas de florestas, em época de pouca chuva, as quais, após um período de secagem, são queimadas antes que um novo ciclo de chuvas recomece. Sem que seja feita uma remoção dos restos vegetais e com pouco revolvimento do solo, são cultivados milho, feijão e o arroz. Geralmente, depois da segunda colheita, as áreas cultivadas são abandonadas para a regeneração da vegetação, caracterizando o período de pousio. Este sistema, praticado por séculos em extensas áreas dos trópicos úmidos, sustenta aproximadamente 300 milhões de pessoas no mundo, principalmente na Ásia, África e América Tropical (Andriess & Schelhaas, 1987).

A redução do estoque de carbono e a perda de biodiversidade são apenas alguns dos aspectos diretamente relacionados com a prática da queima nas florestas tropicais. Fujisaka et al. (1998) verificaram declínio de 200 para 28 Mg ha⁻¹ de C, quando a floresta foi substituída por pastagem e, de 326 espécies no ecossistema natural, 180 estavam presentes em campo de cultivo e somente 20 permaneceram na área queimada e plantada com pastagem. Neary et al. (1999) apresentaram uma

excelente revisão acerca dos efeitos do fogo em ambientes naturais, destacando as alterações provocadas por este elemento perturbador da dinâmica do ecossistema nas propriedades físicas, biogeoquímicas e biológicas do solo.

O fogo representa o meio mais rápido e econômico de que o colono dispõe para limpar e "fertilizar" a área de cultivo. Sob a ação da queima, de ventos e chuvas, movimento de partículas, lixiviação e escoamento superficial, o solo desprotegido perde nutrientes contidos nas cinzas. Considerando a alta pluviosidade da região amazônica, o efeito da perda anual de nutrientes intensifica-se, dado que mesmo uma pequena inclinação do terreno promove incremento da erosão.

O número de anos a que o solo é submetido ao cultivo varia de acordo com sua fertilidade natural. Quando a atividade deixa de ser compensadora, o local é abandonado e outra área de floresta nativa é buscada. Não dispondo de área de vegetação primária, o colono passa a utilizar áreas de floresta secundária com vários anos de pousio (Martins et al., 1990). A manutenção da floresta secundária neste sistema de produção desempenha importante papel como técnica de manejo dentro do período de pousio, uma vez que promove a melhoria da qualidade do solo (Forsberg & Fearnside, 1997).

A ciclagem de nutrientes é muito importante para a manutenção de um ecossistema de floresta, principalmente em solos de baixa fertilidade natural, como os Latossolos e Argissolos situados na Amazônia. Esta ciclagem é igualmente fundamental para manter os sistemas tradicionais de agricultura migratória verificados na região. Durante o pousio, os nutrientes acumulam-se na vegetação da floresta secundária e, com a derrubada e queimada, são realocados para a camada superficial do solo, repondo, parcialmente, os nutrientes deslocados do sistema e exportados pelos cultivos. Outras formas de transferência de nutrientes dentro do sistema são a constante deposição de liteira, a lavagem pluvial das copas (Nye, 1961) e a própria contribuição das chuvas.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da queima seguida do cultivo do arroz sobre a biomassa

e balanço de nutrientes em um Argissolo Amarelo sob floresta tropical amazônica em Rondônia.

MATERIAL E MÉTODOS

O município de Ji-Paraná, estado de Rondônia, está situado a 158 m de altitude nas coordenadas S 10° 53' e W 61° 57'. A pluviosidade da região é de cerca de 1.800 mm anuais, distribuídos em duas estações bem distintas: uma chuvosa (outubro a abril) e outra com escassez de chuvas (junho a agosto). A umidade relativa do ar média é de 77% e a temperatura média anual varia por volta dos 25 °C (Brasil, 1978).

A vegetação original da região é constituída, basicamente, pela floresta tropical perenifolia (Floresta Amazônica de Terra Firme). A região apresenta topografia bastante variável de mais ou menos plana a ondulada, com predominância de solos de moderada resistência à erosão e baixa fertilidade natural (Brasil, 1978).

A localização do experimento coincidiu com a área do Projeto de Reforma Agrária Pyrineus, Setor União, da Seção Riachuelo, distante 15 km da sede do município de Ji-Paraná. A classe de solo predominante no assentamento é o Argissolo Amarelo, de natureza álica e textura franco-argilo-arenosa (Quadro 1).

Na ausência de dados climáticos específicos da área em estudo, o balanço hídrico foi estimado pelo método proposto por Thornthwaite & Mather e simplificado por Camargo (1978), para o período de julho de 1995 a junho de 1996. Esta estimativa foi baseada nos dados fornecidos pela Estação de Agrometeorologia da CEPLAC de Ouro Preto D'Oeste (RO), considerando o nível de 125 mm de retenção hídrica, que tem sido associado aos Latossolos e Argissolos da região Amazônica com precipitação pluviométrica similar à do local do experimento (Bastos, 1972). A pluviosidade foi quantificada *in loco* por meio de leituras diárias efetuadas em pluviômetros, distribuídos tanto na área desmatada como na queimada.

Quadro 1. Caracterização físico-química do solo sob vegetação de floresta tropical aberta

Profundidade	pH H ₂ O	MO	P	K	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H + Al	SB	CTCe	CTCt	Areia	Silte	Argila
cm		g kg ⁻¹	- mg dm ⁻³ -					cmol _c dm ⁻³					g kg ⁻¹	
0- 5	4,1	19,1	3,8	40,8	1,02	0,12	0,10	4,4	0,43	1,45	4,8	632	68	300
5-10	4,1	16,4	3,1	35,4	1,02	0,08	0,10	4,0	0,36	1,38	4,4	630	76	294
10-20	4,2	7,9	1,8	26,8	1,06	0,08	0,02	4,2	0,24	1,30	4,5	620	96	284

MO = matéria orgânica; SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺; CTCe = SB + Al³⁺; CTCt = SB + (H + Al).

Os tratamentos consistiram de três condições de uso do solo: área com vegetação primária (ecossistema natural) (M); área cuja floresta primária foi derrubada e queimada (Q); e área derrubada, queimada e cultivada com arroz (*Oryza sativa*), cultivar Agulhinha (C). A área útil total do experimento foi de 3 ha, divididos igualmente em três parcelas principais, correspondentes aos três tratamentos mencionados, distanciados entre si de 10 m.

A floresta primária (M) foi utilizada como referência de um sistema em equilíbrio. A derrubada da mata foi efetuada pelo proprietário da área, com motosserra, foice e machado, sem nenhum controle de direção e distribuição de queda das árvores. A queima das áreas Q e C ocorreu 70 dias após a derrubada, em um dia com temperatura média de 21,4 °C e 54 % de umidade relativa do ar. O plantio do arroz na área C ocorreu 10 dias depois da queima, após as primeiras chuvas, seguindo a tradição e técnica dos agricultores da região.

Para o estudo do balanço de nutrientes, foram considerados seis aspectos, a saber:

- (1) Fitomassa total da floresta: somatório dos valores de biomassa da vegetação arbórea, vegetação de sub-bosque e fitomassa depositada na superfície do solo (liteira). A biomassa arbórea foi estimada pelo método clássico de amostragem para fins botânicos, com a instalação de cinco transectos de 100 m² (4 x 25 m²) e o registro dos dados de diâmetro a altura do peito (DAP) medido a 1,3 m de altura de todos os indivíduos de DAP > 2,5 cm. O peso de tecido seco de cada árvore (Y) foi estimado segundo a equação $Y \text{ (kg arv}^{-1}) = 38,4908 - 11,7883 \times \text{DAP} + 1,1926 \times \text{DAP}^2$ (Brown et al., 1989). O valor final de biomassa arbórea (kg ha⁻¹) foi obtido a partir dos valores médios verificados nos transectos. A biomassa de arbustos ou sub-bosque foi estimada em dez unidades amostrais de 1 m² dentro dos transectos anteriores, por meio de coleta aleatória e destrutiva de indivíduos de DAP ≤ 2,5 cm. A partir do peso da amostra fresca total coletada e do fator de umidade encontrado para subamostras de 500 g provenientes de cada unidade amostral, foi calculado o valor médio do peso de material seco (kg ha⁻¹) desta classe de vegetação. A fitomassa depositada na superfície do solo foi determinada a partir da coleta da serrapilheira em dez áreas de 0,25 m², dispostas em cada unidade de amostragem da biomassa de sub-bosque. O peso (kg ha⁻¹) da serrapilheira seca foi estimado utilizando o mesmo procedimento descrito para o sub-bosque.
- (2) Estoque de nutrientes no ecossistema natural: a concentração de nutrientes presentes na fitomassa viva e morta e no solo da floresta primária foi avaliada 60 dias depois do desmatamento e antes da queima. O material arbóreo, arbustivo e a serrapilheira presente em cinco parcelas de 1 m², foram coletados, tendo sido colocadas, individualmente, em sacolas plásticas, amostras de ramos, fustes, folhas e serrapilheira. O peso do material seco (kg ha⁻¹) foi obtido a partir de subamostras de 500 g de cada um dos componentes avaliados, considerando a correspondente correção da umidade. Destas mesmas subamostras, foram retiradas porções para as análises químicas. O estoque de nutrientes do solo foi estimado em amostras coletadas nos mesmos locais de amostragem da vegetação viva e morta e em diferentes profundidades (0-5; 5-10 e 10-20 cm).
- (3) Fitomassa e estoque de nutrientes após a queima: a biomassa das árvores e ramos queimados e não queimados foi estimada em cinco parcelas de 100 m², com base no comprimento (h) e diâmetro (D) dos indivíduos com diâmetro superior a 10 cm. Neste cálculo, foi utilizada a equação proposta por Martinelli et al. (1988): $\text{massa (kg tronco}^{-1}) = D^2 / (4 \pi h s)$, em que a densidade específica da madeira (s) é assumida como 0,67 g cm⁻³. A biomassa lenhosa queimada e a não queimada e do carvão foram estimadas em dez parcelas de 0,25 m², a partir da coleta, separação, secagem em estufa e pesagem dos materiais. Todo o material componente da fitomassa pós-queima foi homogeneizado individualmente, picado e uma subamostra foi recolhida para análises químicas. As cinzas incorporadas ao sistema, imediatamente após a queima, foram recolhidas em placas de zinco de 1 m². Dentre as 40 placas inicialmente distribuídas sobre o terreno, após a queima, cinco delas foram sorteadas e tiveram seu conteúdo cuidadosamente recolhido. Posteriormente, a cinza foi separada do material não queimado em peneiras de 1 mm de malha e levada à estufa para a determinação do peso do material seco. As cinco subamostras foram reunidas em uma única amostra composta, que foi submetida às análises químicas. Paralelamente à amostragem de cinzas, foram coletadas amostras de solo lateralmente às placas e nas mesmas profundidades já mencionadas.
- (4) Movimento de cinzas sobre a superfície do solo: uma vez finalizada a coleta das cinzas, todas as placas de zinco foram limpas e, diariamente, antes das chuvas, o material presente em cinco placas escolhidas por sorteio foi coletado. Estas amostras foram levadas à estufa e o peso do material seco foi determinado.
- (5) Contribuição da água da chuva: a entrada de nutrientes via precipitação pluviométrica foi avaliada mediante a coleta da água proveniente das dez primeiras chuvas verificadas no local. Cinco coletores foram distribuídos na área queimada (Q) a uma altura de 1,2 m da superfície do solo e, após cada evento, sempre às 9 h, as

amostras de água foram recolhidas. Todo o material recolhido foi reunido e homogeneizado; uma única amostra composta (50 mL) foi separada para determinação de elementos químicos.

- (6) Exportação de nutrientes pela cultura do arroz: ao final do ciclo da planta, amostras da parte aérea (folhas, colmos, grãos com casca) foram recolhidas, secas em estufa, pesadas e submetidas a análises químicas. Lateralmente ao local de coleta da biomassa da cultura, foram retiradas amostras de solo nas mesmas profundidades já assinaladas anteriormente.

As análises químicas de matéria seca, cinzas e carvão foram efetuadas após prévia digestão nítrico-perclórica (K, P, S, Ca e Mg) e sulfúrica (N), de acordo com Bataglia et al. (1983). Na água de chuva coletada, foram determinados: o pH, por potenciometria; Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica, e K e Na, por fotometria de chama. Nas amostras de solo, foram avaliados, segundo EMBRAPA (1997), pH (H₂O e KCl), C.O., N, S, Al, Ca, Mg, P disponível, K, Na e H + Al.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da vegetação da área

O ecossistema estudado representa uma das áreas remanescentes da região, composto por vegetação do tipo de floresta tropical aberta e caracterizado por apresentar indivíduos arbóreos espaçados. O porte das árvores do extrato superior chega a 20 a 25 m de altura, com indivíduos emergentes de até 45 m. Foi constatada uma prévia e seletiva perturbação da área (extração da madeira), uma vez que não foram identificadas espécies de valor comercial, tais como: cerejeira (*Torresia acreana*), mogno (*Swietenia macrophylla*), ipê (*Tapebuaia* spp.), sumaúma (*Ceiba pentandra*), cedros (*Cedrella* spp.), dentre outras.

Balanço hídrico

O índice pluviométrico no período avaliado alcançou 1.907 mm, com concentração de 84 % desta pluviosidade no período de novembro a abril, meses que apresentaram precipitações sempre superiores a 240 mm (Figura 1). O déficit hídrico acumulado de julho a setembro - período de maior estiagem, foi de 246 mm, tendo o excedente hídrico do período mais chuvoso (novembro-março) alcançado 814 mm. Este excedente hídrico assume papel relevante no contexto da agricultura da região no que tange à possibilidade de perdas de nutrientes, uma vez que praticamente todas as atividades que envolvem o uso da queima, tanto no preparo de áreas agrícolas, como no manejo de pastagens, ocorrem no período em que o solo está completamente saturado.

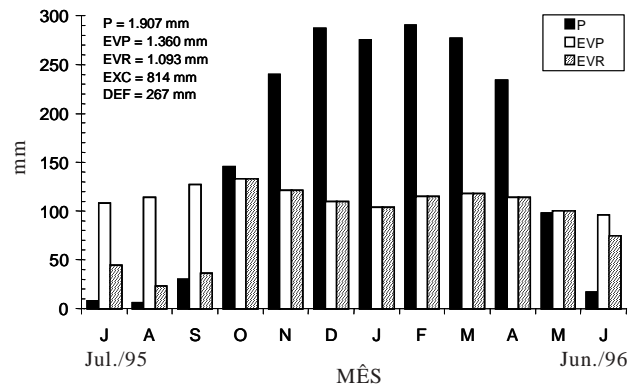


Figura 1. Balanço hídrico da região estudada (P: precipitação, EVP: evapotranspiração potencial, EVR: evapotranspiração real, EXC: excedente hídrico, DEF: déficit hídrico), no período de julho de 1995 a junho de 1996.

Biomassa florestal e concentração de nutrientes

A biomassa da floresta primária foi estimada em 339,1 Mg ha⁻¹ (Quadro 2), distribuídos entre os compartimentos avaliados. Os teores dos nutrientes nos diferentes componentes vegetais seguiram a ordem de grandeza: N > Ca > K > Mg > S > P. Os compartimentos folhas e ramos finos, sub-bosque e serrapilheira apresentaram teores de nutrientes muito semelhantes, quase sempre superiores aos verificados no compartimento caule e ramos grossos, evidenciando maior concentração de nutrientes nas partes mais jovens.

Entretanto, as diferenças marcantes nos estoques de biomassa entre caule e ramos grossos e os demais compartimentos fazem com que o estoque de nutrientes nos primeiros seja muito maior. Desta forma, caule e ramos grossos apresentaram a maior contribuição como reservas de nutrientes, uma vez que concentram a maior parte da biomassa. Assim 82,5 % da fitomassa acima do solo está armazenada no compartimento caule e ramos grossos; 9 % nas folhas e ramos finos; 0,9 % no sub-bosque e 7,6 % na serrapilheira. Conseqüentemente, os nutrientes encontravam-se estocados nos caules e ramos grossos (72,1 % do N; 60,8 do P; 67,8 do K; 77,2 do Ca; 77,4 do Mg; 80,1 do S).

Embora possam conter reduzido estoque de nutrientes, as partes mais jovens apresentam papel relevante neste ecossistema, uma vez que, quando submetidos à queima, estes componentes são quase que totalmente transformados em cinzas, ficando sujeitos a diversos tipos de perdas, principalmente numa região onde as chuvas não constituem fator limitante.

A queima e seus efeitos

A queima consumiu 36,3 % da biomassa inicialmente estimada no ecossistema natural, produzindo,

Quadro 2. Fitomassa e concentração de nutrientes nos compartimentos da vegetação de floresta tropical aberta em Rondônia

Compartimento	Biomassa		N		P		K		Ca		Mg		S	
	Mg ha ⁻¹	% ⁽¹⁾	kg ha ⁻¹	% ⁽²⁾	kg ha ⁻¹	% ⁽²⁾	kg ha ⁻¹	% ⁽²⁾	kg ha ⁻¹	% ⁽²⁾	kg ha ⁻¹	% ⁽²⁾	kg ha ⁻¹	% ⁽²⁾
Arbórea	310,3		2.281		42,7		588		1.188		302		313	
Caule e ramos grossos ⁽³⁾	279,7	82,5	1.909	0,7	31,6	0,01	447	0,2	1.037	0,4	257	0,09	274	0,10
Folhas + ramos finos ⁽⁴⁾	30,6	9,0	372	1,2	11,1	0,04	141	0,5	151	0,5	45	0,15	39	0,13
Sub-bosque	3,0	0,9	39	1,3	1,7	0,06	15	0,5	16	0,5	4	0,13	3	0,10
Serrapilheira	25,8	7,6	327	1,3	7,6	0,03	56	0,2	140	0,5	26	0,10	26	0,10
Total	339,1	100	2.647		52,0		659		1.344		332		342	

⁽¹⁾ Percentual em relação à fitomassa total (peso/peso). ⁽²⁾ Concentração do nutriente na fitomassa do compartimento. ⁽³⁾ Ramos com diâmetro igual ou superior a 2,5 cm. ⁽⁴⁾ Ramos com diâmetro inferior a 2,5 cm.

em média, 5,5 Mg ha⁻¹ de cinzas; 11,8 Mg ha⁻¹ de carvão e 198,7 Mg ha⁻¹ de material semicarbonizado ou *coivara*, constituído de árvores remanescentes, troncos e ramos não totalmente consumidos pelo fogo (Quadro 3). O fogo utilizado na limpeza do terreno não se mostrou eficiente, uma vez que apenas 1,6 % da biomassa inicial foi convertida em cinzas e 62,1 % permaneceu no sistema na forma de carvão e *coivara*.

Por outro lado, esta baixa conversão pode ser considerada apropriada do ponto de vista da conservação dos nutrientes no sistema, dado que apenas uma pequena parte das cinzas depositadas na superfície do terreno estará sujeita a perdas mais ou menos imediatas, dependendo do manejo a ser adotado. Mesmo que em pequenas quantidades, esse material merece especial atenção, uma vez que nas cinzas concentra-se grande parte dos nutrientes, principalmente P, K, Ca e Mg (Quadro 3).

A redução da eficiência da queima pode ser relacionada com a baixa combustão dos indivíduos vegetais maiores, que respondem por grande parte da biomassa total (82,5 %, Quadro 2), mas que não se queimam com facilidade como os indivíduos menores do sub-bosque e serrapilheira. Fearnside et al. (1999) destacaram este fenômeno que afeta a avaliação da eficiência de queima, ao observarem que, enquanto apenas 21 % dos troncos de mais de 10 cm de diâmetro foram consumidos pelo fogo, quase a totalidade (97 %) da serrapilheira e folhas desapareceu após a queima.

A maior concentração de nutrientes nas cinzas e carvão (Quadro 3), em relação à observada na *coivara* reflete a maior riqueza de elementos dos componentes mais jovens da vegetação. A *coivara*, por sua vez, apresenta composição química muito similar à verificada para o compartimento caule e ramos grossos (Quadro 2), concentrando também o maior estoque (kg ha⁻¹) de nutrientes dentre os componentes pós-queima.

Uma considerável perda de nutrientes para a atmosfera foi verificada (Quadro 4). O balanço entre o estoque de nutrientes presentes na biomassa inicial e nos resíduos produtos da queima indica uma acentuada perda de N e S por volatilização. A perda de P, K, Ca e Mg pode ser associada ao movimento de partículas durante a queimada. Após a prática do fogo e antes da primeira chuva, 1,221 kg ha⁻¹ de cinzas saíram do sistema pela ação dos ventos, o que corresponde, em kg ha⁻¹, a 13,8 de N; 4,4 de P; 25,0 de K; 43,8 de Ca, 4,8 de Mg e 2,1 de S. Desta forma, os nutrientes presentes no restante das cinzas (77,8 % da massa inicial produzida) que permaneceram na área estiveram sujeitos a perdas por lixiviação e escoamento superficial.

Contribuição da chuva

Depois da queima, uma pequena parte dos nutrientes lançados à atmosfera acabou retornando ao solo pela ação da gravidade ou das chuvas, que em menos de um mês e meio superaram 320 mm. A própria lavagem do material depositado nas copas das árvores pode ter contribuído como fonte de reposição de nutrientes ao ecossistema.

Quadro 3. Concentração e massa de diferentes resíduos produzidos pela queima de uma floresta tropical aberta de Rondônia

Resíduo	Massa	N	P	K	Ca	Mg	S
Cinzas	5,5	1,14	0,36	2,05	3,59	0,39	0,18
Carvão	11,8	0,09	0,03	0,27	0,90	0,15	0,06
Coivara	198,7	0,31	0,01	0,15	0,38	0,07	0,07

Quadro 4. Alteração na biomassa e perdas de nutrientes para a atmosfera após a queima de floresta tropical aberta em Rondônia

	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹					
Antes da queima	339,1	2.647,0	52,0	659,2	1.343,9	331,8	342,8
Depois da queima	216,0	691,1	43,2	448,3	1.062,3	175,3	158,6
Perdas	123,1	1.955,9	8,9	210,9	281,6	156,5	184,2

Nas primeiras dez chuvas ocorridas na área, altas concentrações de Ca, Mg, K e Na foram verificadas, com conseqüente aumento de pH da água recolhida (Quadro 5). Esta riqueza de nutrientes pode ser vinculada à saturação da atmosfera de partículas provenientes das queimadas realizadas na região, associada ao período de estiagem que perdurava até o momento. Com o aumento da frequência e intensidade das precipitações, as concentrações dos nutrientes declinam em razão da melhor qualidade do ar.

Cultura do arroz

Os nutrientes mais removidos do solo pela cultura do arroz foram o K e o N, seguidos, em ordem decrescente, do Ca > P > S > Mg (Quadro 6). Considerando que, seguindo a tradição da região, a palhada do arroz foi deixada no campo, a remoção pela cultura de nutrientes via grãos e casca consistiu de, em kg ha⁻¹: 25,8 de N; 4,4 de P; 43,3 de K; 7,4 de Ca; 3,8 de Mg e 4,4 de S. Como as análises químicas foram efetuadas para todas as partes da cultura, esta estimativa foi obtida considerando que 1/3 da matéria seca acumulada pela cultura do arroz é exportada do sistema na forma de grãos e casca (Malavolta & Fornasieri Filho, 1983).

Perda de nutrientes no sistema solo-planta

A comparação dos resultados obtidos indicou que as maiores perdas de nutrientes ocorreram no tratamento “queimado” (Q) (Quadro 7). As perdas no tratamento “cultivado” (C), apesar de elevadas, foram expressivamente menores do que as verificadas no tratamento Q, uma vez que, além da contribuição da palhada do arroz que permaneceu no terreno, apresentou maior teor de nutrientes no compartimento solo. Esta superioridade de estoque de nutrientes no solo da área “cultivada” denota o efeito da cobertura do solo na redução das perdas de nutrientes em um ambiente perturbado. A proteção do solo contra agentes erosivos promove a redução de perdas por escoamento lateral e mesmo por movimentação de partículas. A superioridade de nutrientes na área “cultivada” em relação à área “queimada” foi equivalente, em kg ha⁻¹, a 51,6 de N; 14,8 de P; 96,4 de K; 218,8 de Ca; 47,2 de Mg; 92,8 de S.

Quadro 5. Nutrientes presentes em amostras de água de chuva coletadas na floresta tropical aberta de Rondônia (ano de 1995)

Data	Chuva	pH	Ca	Mg	K	Na
	mm		mg L ⁻¹			
30/09	30	9,2	25,13	16,06	31,19	12,58
02/10	14	8,5	19,27	12,59	22,83	7,50
06/10	22	8,2	5,24	5,74	12,83	8,58
13/10	58	6,3	3,76	3,82	8,32	2,08
21/10	34	5,6	2,90	2,22	5,25	1,58
29/10	17	5,6	2,67	3,32	2,15	0,89
06/11	40	5,3	1,32	1,68	1,40	0,74
08/11	56	5,3	1,45	0,25	0,80	0,84
09/11	20	5,3	0,45	0,11	0,55	0,55
12/11	30	5,2	0,22	0,16	0,45	0,30
Total	(kg ha ⁻¹)		16,51	12,26	23,62	9,83

Quadro 6. Extração de nutrientes pela cultura do arroz, cultivado após a queima da vegetação primária de floresta tropical aberta de Rondônia

	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
12.500 ⁽¹⁾	77,32	13,25	129,87	22,15	11,30	13,06
Remoção pela cultura ⁽²⁾	25,77	4,42	43,29	7,38	3,73	4,35

⁽¹⁾ Produção (matéria seca) do arroz cultivado (em kg ha⁻¹). ⁽²⁾ 1/3 da matéria seca acumulada é exportada na forma de grãos e casca (Malavolta & Fornasieri Filho, 1983).

Balanço geral

O estoque total de biomassa verificado neste estudo (Quadro 2 - 339,1 Mg ha⁻¹) encontra-se dentro da faixa de valores normalmente observada na região Amazônica (Kauffman et al., 1995; Graça et al., 1999). Comportamento semelhante foi observado para os dados de eficiência de queima (36 %), que

Quadro 7. Perdas de nutrientes após a derrubada e queima de floresta tropical aberta em Rondônia, considerando o sistema completo: solo + biomassa viva e morta

Tratamento		N	P	K	Ca	Mg	S
		kg ha ⁻¹					
Mata ⁽¹⁾ (M)	Solo (0-20 cm)	3.300,0	8,7	103,0	54,0	25,2	292,8
	Biomassa	2.647,0	52,1	659,2	1.343,9	331,8	342,8
	Total (M)	5.947,0	60,8	762,2	1.397,9	357,0	635,6
Queimado ⁽²⁾ (Q)	Solo (0-20 cm)	2.400,0	12,5	110,2	282,0	68,4	130,4
	Biomassa ⁽⁴⁾	628,6	23,5	335,6	865,0	153,8	148,9
	Total (Q)	3.028,6	36,0	445,8	1.147,0	222,2	279,3
Cultivado ⁽³⁾ (C)	Solo (0-20 cm)	2.400,0	18,5	120,2	486,0	108,0	214,5
	Biomassa ⁽⁵⁾	680,2	32,4	422,2	879,8	161,4	157,6
	Total (C)	3.080,2	50,9	542,4	1.365,8	269,4	372,1
Perdas totais	(M - Q)	2.918,4	24,8	316,4	250,9	134,8	356,3
	(M - C)	2.866,8	9,9	219,8	32,1	87,6	263,5

Obs: Densidade do solo = 1,5 Mg m⁻³.

⁽¹⁾ Estoque inicial de nutrientes no solo e planta. ⁽²⁾ Estoque final de nutrientes na parcela queimada sem cultivo. ⁽³⁾ Estoque final de nutrientes na parcela queimada com cultivo. ⁽⁴⁾ Considerando como biomassa a contribuição de carvão e coivara. Cinzas não foram consideradas, dada sua susceptibilidade à remoção. ⁽⁵⁾ Considerando como biomassa a contribuição de carvão e coivara, acrescido de 2/3 da matéria seca da cultura do arroz não exportada (Malavolta & Fornasieri, 1983).

foram semelhantes aos verificados por Kauffman et al. (1995) (42 a 57 %), Graça et al. (1999) (35 %) e Sorrensen (1999) (47 a 58 %). Já Fearnside et al. (1999) sugerem o valor de 39 % como um valor médio de eficiência de queima, baseado na avaliação de dados obtidos para dez diferentes locais na Amazônia.

As cinzas desempenham importante papel dentro do sistema de agricultura praticado na Amazônia, uma vez que concentram parte dos nutrientes consumidos pela biomassa vegetal. Sua participação é fundamental nos processos de ciclagem de nutrientes pela capacidade de reposição rápida de elementos vitais ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Poucos são os trabalhos em que a composição química das cinzas é determinada, muito embora muitos autores destaquem a relevância de práticas de manejo que objetivem sua manutenção no sistema agrícola.

As quantidades de cinzas (Quadro 3) verificadas neste estudo estavam dentro do previsto, muito embora a massa de carvão (11,8 Mg ha⁻¹) tenha superado bastante os 2,2 Mg ha⁻¹ obtidos por Fearnside et al. (1999) e os 6,4 Mg ha⁻¹ verificados por Graça et al. (1999).

Os componentes vegetais mais jovens e de menor diâmetro apresentam maior concentração de nutrientes e, por serem mais susceptíveis à completa combustão, proporcionam a obtenção de cinzas de elevada riqueza nutricional. Grande estoque de nutrientes ainda permanece no terreno, após a

queima, na forma de *coivara*, podendo ser perdida ou mesmo ser transferida para os compartimentos, cinza e carvão, em próximas queimadas.

Como esperado, os maiores percentuais de perda após a queima corresponderam aos elementos de menor temperatura de volatilização, N e S. A quantidade perdida de nutrientes reflete o importante impacto da prática da queima no balanço de nutrientes no ecossistema. Ainda que possa ser considerada relevante a contribuição das chuvas na reposição de nutrientes, este aporte representa pouco em relação ao perdido após a queima. A precipitação devolveu ao sistema quase 6 % do Ca e 8 % do Mg perdidos com o fogo; o aporte de K superou os 11 %.

A superioridade de nutrientes verificada na área cultivada em relação à queimada indica a importância da cobertura vegetal e a necessidade da escolha de espécies e variedades de culturas agrícolas de crescimento rápido e com grande capacidade de recobrimento do solo, de forma a minimizar as perdas de cinzas.

Tendo em vista que o sistema praticado pelos agricultores da região Amazônica pressupõe o uso do fogo, esforços de pesquisa devem ser direcionados a fim de não só viabilizar práticas alternativas e economicamente viáveis (agrossilvicultura e reservas extrativistas, por exemplo) ou mesmo melhorias na aplicação da queima de limpeza do terreno, mas também minimizar os efeitos locais e globais de sua utilização. Neste sentido, a definição

das melhores condições atmosféricas que proporcionem o menor impacto no ecossistema também é fundamental, já que a transferência de calor, mais do que a combustão propriamente dita, é que produz a maior parte dos impactos nos processos físicos, químicos e biológicos do ecossistema (Neary et al., 1999).

Outra linha de ação a ser considerada, tanto pela pesquisa como pela extensão, seria a que favorecesse o aumento do tempo de pousio da área entre as queimadas. O repouso da área permite uma melhor recuperação do ecossistema nos compartimentos vegetação e solo, garantindo uma melhor eficiência de ciclagem e reposição de nutrientes, com impactos diretos na produção agrícola após futuras queimadas. A redução dos períodos de pousio apresenta um custo agrônomo na forma de redução da produção, como destacado por Forsberg & Fearnside (1997), que verificaram relação direta entre tempo de pousio e produção de milho na Amazônia.

CONCLUSÕES

1. A prática da queima como meio de limpeza do terreno apresentou baixa eficiência, uma vez que apenas um pequeno percentual da fitomassa inicial foi convertido em cinzas e grande parte dessa biomassa permaneceu na área na forma de resíduos.

2. As perdas de nutrientes para a atmosfera decorrentes da queima foram relevantes, por volatilização ou por arraste associado ao movimento ascendente de partículas.

3. O aporte de nutrientes das primeiras chuvas foi pequeno em relação ao perdido com a queima.

4. As maiores perdas de nutrientes ocorreram na parcela “queimada”, comparada à “queimada e cultivada”, na qual foi mantida a palhada do arroz no terreno como cobertura do solo.

LITERATURA CITADA

- ANDRIESSE, J.P. & SCHELHAAS, R.M. A monitoring study of nutrient cycles in soils used for shifting cultivation under various climatic conditions in Tropical Asia. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 19:285-332, 1987.
- BASTOS, T.X. O estudo atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira. Belém, IPEAN, 1972. p.68-122. (Boletim Técnico, 54)
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78)
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. Folha SC 20 Porto Velho: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1978. (Levantamento de Recursos Naturais, 16)
- BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R. & LUGO, A.E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *For. Sci.*, 35:881-902, 1989.
- CAMARGO, A.P. Balanço hídrico do Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1978. (Boletim, 116)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Resultados preliminares do Censo Demográfico - Rondônia, 1991. Rio de Janeiro, 1992. 95p.
- FEARNSIDE, P.M.; GRAÇA, P.M.L.A.; FILHO, N.L.; RODRIGUES, F.J.A. & ROBINSON, J.M. Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. *For. Ecol. Manag.*, 123:65-79, 1999.
- FORSBERG, M.C.S. & FEARNSIDE, P.M. Brazilian Amazonian *caboclo* agriculture: effect of fallow period on maize yield. *For. Ecol. Manag.*, 97:283-291, 1997.
- FUJISAKA, S.; CASTILA, C.; ESCOBAR, G.; RODRIGUES, V.; VENEKLAAS, E.J.; THOMAS, R. & FISHER, M. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: Estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 69:17-26, 1998.
- GRAÇA, P.M.L.A.; FEARNSIDE, P.M. & CERRI, C.C. Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondônia, Brazil: biomass, charcoal formation and burning efficiency. *For. Ecol. Manag.*, 120:179-191, 1999.
- KAUFFMAN, J.B.; CUMMINGS, D.L.; WARD, D.E. & BABBITT, R. Fire in the Brazilian Amazon: I. Biomass, nutrients pools, and losses in slashed primary forests. *Oecologia*, 104:397-408, 1995.
- LAURANCE, W.F. Mega-development trends in the Amazon: implications for global change. *Environ. Monit. Assess.*, 61:113-122, 2000.
- MALAVOLTA, E. & FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: FERREIRA, M.E.; YAMADA, T. & MALAVOLTA, E., eds. Cultura do arroz de sequeiro - fatores afetando a produtividade. Piracicaba, Instituto Internacional da Potassa, 1983. p.95-143.
- MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; MOREIRA, M.Z.; ARRUDA, J.R.; BROWN, I.F.; FERREIRA, C.A.C.; COELHO, L.F.; LIMA, R.P. & THOMAS, W.W. Implantação de parcelas para monitoramento de dinâmica florestal na área de proteção ambiental, UHE Samuel, Rondônia. Piracicaba, CENA, 1988. 72p.
- MARTINS, P.F.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. & ANDREUX, F. Conseqüências do cultivo e do pousio sobre a matéria orgânica do solo sob floresta natural na Amazônia Oriental. *Acta Amaz.*, 20:19-28, 1990.
- NEARY, D.G.; LOPATEK, C.C.; DeBANO, L.F. & FFOLIOTT, P.F. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *For. Ecol. Manag.*, 122:51-71, 1999.

- NYE, P.H. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant Soil*, 13:333-346, 1961.
- SORRENSEN, C. Linking smallholder land use and fire activity: examining biomass burning in the Brazilian Lower Amazon. *For. Ecol. Manag.*, 128:11-25, 2000.