

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Mudanças no uso e cobertura do solo na Amazônia e suas
implicações no ciclo de nitrogênio**

Adelaine Michela e Silva Figueira

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ecologia Aplicada.**

**Piracicaba
2006**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Adelaine Michela e Silva Figueira
Licenciado Pleno em Ciências Biológicas**

**Mudanças no uso e cobertura do solo na Amazônia e suas implicações no ciclo
de nitrogênio**

**Orientador:
Prof. Dr. LUIZ ANTONIO MARTINELLI**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ecologia Aplicada.**

**Piracicaba
2006**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/ USP**

Figueira, Adelaine Michela e Silva

Mudanças no uso e cobertura do solo na Amazônia e suas implicações no ciclo de nitrogênio / Adelaine Michela e Silva Figueira. - - Piracicaba, 2006.
114 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

1. Amazônia 2. Ecologia vegetal 3. Floresta 4. Isótopos estáveis 5. Nitrogênio I. Título

CDD 634.94

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Aos meus pais, Antonio e Adelaide Figueira, pela coragem de deixar sua terra e atravessar o “rio-mar” em busca de educação para seus filhos, e por não medirem esforços para levar todos eles à universidade (Vocês são os verdadeiros mestres)

Dedico

À minha “grande família”, que apesar da distância, esteve sempre ao meu lado

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Apesar de ser quase impossível listar o nome de todas as pessoas e instituições que colaboraram com este trabalho, gostaria de agradecer pelo menos à algumas delas...

Meu orientador Luiz Antonio Martinelli (Zebu), pelas “sandálias” e tudo que esta metáfora representa, e também claro, por aquela “iluminada” palestra em Santarém. Pela paciência, inspiração diária e pelo apoio constante ao incessante processo de aprendizado que começa a se manifestar nesta dissertação.

Jean Ometto, por tudo o que representou na minha vida científica, pela credibilidade, entusiasmo e apoio durante todo este percurso e principalmente por ter aberto esta trilha onde caminho agora.

Gabriela Nardoto, por ter abraçado a causa desde o início, pelo apoio em todas as etapas desta jornada, pela orientação e exemplo, e principalmente, pela amizade.

Museu Paraense Emílio Goeldi , EMBRAPA, Projeto LBA/ND-02 pela infraestrutura das coletas em São Francisco do Pará e Escritório LBA/Santarém, IBAMA e acampamento “do Seu Sabino”, pelas coletas em Santarém.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão da bolsa de mestrado (Processo nº 04/04098-6).

Education for Nature Program (EFN-WWF) pelo apoio nas coletas em Santarém.

Aos imprescindíveis colaboradores nas coletas de campo: Mamá, Gilson, Augusto e Cleuton (Coletas em Santarém) Seu Manoel, Zezão e Arlete Almeida (Coletas em São Francisco do Pará).

Aos colaboradores nos trabalhos de São Francisco do Pará: Cláudio Carvalho, Ima Vieira e especialmente Eric Davidson, por estar sempre disposto a esclarecer as dúvidas, pelas palavras sábias e o incentivo nos desafios.

Todos os funcionários e pós-graduandos do Laboratório de Ecologia Isotópica e Geoprocessamento, especialmente os colegas de sala pelo bom humor do dia-a-dia.

Dr. Marcelo Moreira, Maria Antônia (Tonica), Fabiana e estagiários pela ajuda no preparo de amostras no laboratório e pelas análises isotópicas. Agradeço especialmente à Luciana e Bethe pela “forcinha” com os experimentos de solo.

A todos os “mocorongos” de sangue e de coração (Eráclito, Jadson, Edgard, Mauro e Yoko) por não me fazerem esquecer que, como diz a música: “*temos a mesma sorte nascer no norte que é nosso lugar*”, especialmente Yoko Ishida pelo socorro nos momentos de aperto, pelas caronas e acolhida; e pelos muitos momentos divertidos que passamos juntos.

A cidade de Piracicaba pela acolhida e pelos momentos de descontração.

Daniela Mariano por abrir as portas de sua casa e me ensinar “*que sempre pode ser pior*” (e *que também pode ser melhor!*), pelo compartilhar dos dias, dos momentos de tristeza e das muitas alegrias.

Simone Vieira pela logística na chegada e amizade; e Rafael Oliveira pelas energias sempre positivas.

A galera do vôlei, que apesar de raro e esparso, foi marcante no alívio das tensões e Idamis Lescovar, pelos momentos “lúdicos”, indispensáveis no bem-estar do dia-a-dia.

As queridas secretárias Regina Freitas (Pós-graduação/ PPGI) e Neusa Augusti por estarem sempre dispostas a ajudar.

Fátima Meckdece, Mary Menton, Lisa Merry, Daniel Nepstad, Gina Cardinot, Scott Miller, Humberto Rocha e todos do Setor de Treinamento e Educação do LBA, pelo apoio e credibilidade no início da vida científica.

Projeto LBA pela oportunidade de “fazer ciência”.

Todos os “maifriends” de Santarém, pelos momentos inesquecíveis que passamos juntos.

A todos que não me esqueceram quando parti, minha família e meus amigos, que sempre com uma carta, ligação, mensagem ou oração não me deixaram esquecer que “*a saudade existe pra quem sabe ter*”.

Agradeço a José Mauro (mais uma vez e sempre!), que por todos estes anos me ajudou a “carregar todas as minhas caixas” e tudo o que elas representaram na minha vida, pelo companheirismo, amizade, paciência “quase” infinita e por acreditar (e insistir em me fazer acreditar) que tudo é possível. Pelas lições diárias de humildade, honestidade e solidariedade.

A Deus sobre todas as coisas.

Muito obrigada!

“A sabedoria do caboclo (ou cabôco) está em conhecer pelo nome dezenas de paus e suas utilidades, a hora da maré, a força da lua, os peixes e suas iscas certas, conhecer cada passarinho só pelo cantar, qualquer inseto quando nocivo ou inofensivo, a direção de onde o vento sopra, até calcular a hora pelo cantar do galo e quanta coisa mais que fica fora do alcance do *estudado...*”

Miguel Pinto

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT	11
LISTA DE TABELAS	14
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo.....	17
1.2 Revisão bibliográfica.....	17
1.2.1 Agricultura de corte e queima na região Amazônica.....	17
1.2.2 Florestas Secundárias como componentes da paisagem Amazônica	18
1.2.3 Exploração seletiva de madeira na região Amazônica	21
1.2.4 Ciclo de nitrogênio (N)	23
1.2.5 Uso de isótopos estáveis do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) em estudos ambientais	25
1.2.6 O papel das Leguminosas na ciclagem de nitrogênio.....	26
REFERÊNCIAS.....	28
2 ALTERAÇÕES NO CICLO DE NITROGÊNIO EM UMA CRONOSSEQUÊNCIA DE FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL.....	35
Resumo	35
Abstract.....	36
2.1 Introdução.....	37
2.1.1 Objetivos.....	39
2.1.2 Hipóteses.....	40
2.2 Material e Métodos	40
2.2.1 Área de estudo.....	40
2.2.2 Amostragem.....	43
a) Coleta de folhas	43
b) Coleta de serapilheira	44
c) Solos.....	44
2.2.3 Análises das amostras.....	45

a)	<i>Preparo das amostras</i>	45
b)	<i>Determinação isotópica de N e C estáveis e determinação das concentrações de N e C total</i>	45
c)	<i>Fósforo total e cálcio</i>	45
d)	<i>Análise físico-química de solo</i>	46
2.2.4	Análises Estatísticas	46
2.3	Resultados	47
2.3.1	Caracterização do solo	47
2.3.2	Composição isotópica de plantas leguminosas e não-leguminosas	50
2.3.3	Composição nutricional de plantas leguminosas e não-leguminosas	51
2.3.4	Composição isotópica e nutricional da serapilheira	54
2.3.5	Relação do $\delta^{15}\text{N}$ foliar e concentrações foliares de N, P e razão C/N foliar.....	55
2.4	Discussão	57
2.4.1	Ciclagem de N nos estágios iniciais da cronossequência de florestas secundárias.....	57
2.4.2	Alterações na ciclagem de nitrogênio no decorrer da sucessão secundária	60
2.5	Conclusões	63
	Referências	64
3	ALTERAÇÕES NO CICLO DE NITROGÊNIO EM CLAREIRAS DE DIFERENTES IDADES FORMADAS PELA EXPLORAÇÃO SELETIVA DE MADEIRA NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS, PARÁ, BRASIL	69
	Resumo	69
	Abstract	70
3.1	Introdução	71
3.1.1	Objetivo.....	73
3.1.2	Hipóteses	73
3.2	Material e Métodos	74
3.2.1	Área de estudo.....	74
3.2.2	Amostragem.....	75
3.2.3	Análises das amostras.....	78
a)	<i>Preparo das amostras</i>	78

b) <i>Determinação da razão isotópica do N e C estáveis e determinação das concentrações de N e C em amostras de folhas, serapilheira e solos</i>	79
c) <i>Taxas de Mineralização e Nitrificação</i>	79
3.2.4 Análises Estatísticas	80
3.3 Resultados	81
3.3.1 Composição isotópica ($\delta^{15}\text{N}$), concentração de N e razão C/N do solo em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades	81
3.3.2 Mineralização e nitrificação líquida	83
3.3.3 Composição isotópica ($\delta^{15}\text{N}$) de plantas leguminosas e não-leguminosas em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades	85
3.3.4 Concentração de N e razão C/N foliar de plantas leguminosas e não-leguminosas em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades	86
3.3.5 Relações entre o $\delta^{15}\text{N}$ e demais parâmetros estudados.....	88
3.3.6 Composição isotópica ($\delta^{15}\text{N}$), concentração de N e razão C/N da serapilheira em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades.....	90
3.4 Discussão	91
3.5 Conclusões	95
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
Referências	97
APÊNDICES.....	100

RESUMO

Mudanças no uso e cobertura do solo na Amazônia e suas implicações no ciclo de nitrogênio

O estudo da dinâmica de áreas alteradas na Amazônia pode contribuir para a elucidação dos possíveis impactos dos atuais modelos de uso do solo sobre o sistema florestal bem como sua capacidade de recuperação ao longo do tempo, permitindo assim, que sejam feitas previsões quanto ao futuro ambiental da região. O objetivo deste trabalho foi investigar a dinâmica de nitrogênio ao longo de florestas secundárias formadas pela agricultura de corte e queima no município de São Francisco do Pará, e ao longo de clareiras formadas pela exploração seletiva de madeira na Floresta Nacional do Tapajós, ambas no Estado do Pará. Foram selecionadas florestas secundárias de diferentes idades (6, 20 e 40 anos) e clareiras de diferentes idades de formação (1, 3 e 5 anos) bem como áreas de florestas de terra-firme não perturbadas. Nestas áreas, foram avaliadas a abundância natural de ^{15}N e concentrações de N e C em solo, serapilheira e vegetação. Nas clareiras e floresta não perturbada em áreas de exploração seletiva também foram realizados experimentos de mineralização e nitrificação. De um modo geral, todas as áreas investigadas apresentaram um aumento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ no solo de acordo com a profundidade. Ao longo da cronossequência de florestas secundárias foi observado um aumento no $\delta^{15}\text{N}$ e na concentração de N foliar, assim como uma diminuição na razão C/N foliar. As concentrações de N foliar foram maiores em espécies de leguminosas e a razão C/N foi mais elevada em espécies de não leguminosas em todas as áreas amostradas. O $\delta^{15}\text{N}$ da serapilheira também aumentou com a idade da vegetação. Estes resultados indicam que as florestas secundárias tornam-se mais ricas em N à medida que o sistema recupera-se da perturbação, sugerindo uma mudança na ciclagem de N, de mais fechada nos primeiros estágios da sucessão, à mais aberta à medida que esta se aproxima da fisionomia original. Já na área de exploração seletiva de madeira, foram observadas menores taxas de mineralização e nitrificação nas clareiras de 1 ano, porém estas taxas não diferiram entre as demais idades de clareira e entre estas e a floresta de terra-firme. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar não diferiram entre as áreas, nem entre leguminosas e não-leguminosas dentro de uma mesma área, no entanto, as concentrações de N foliar foram maiores em espécies de leguminosas em todas as áreas amostradas e a razão C/N foi mais elevada em espécies de não leguminosas. Estes fatores indicam a ocorrência de uma ciclagem aberta de N nestas áreas independentemente da perturbação, sugerindo assim, que impactos, como a abertura de uma clareira em florestas ricas em N, não sejam de intensidade suficiente a ponto de causar uma alteração significativa na ciclagem de N nestas áreas, como o que foi observado no estudo enfocando as florestas secundárias estabelecidas em áreas previamente utilizadas para agricultura, onde a perturbação no sistema foi mais intensa.

Palavras-chave: Amazônia, floresta secundária, clareira, isótopos estáveis, nitrogênio

ABSTRACT

Land-use and land-cover changes in the Amazon and their implications for the nitrogen cycle

The study of nutrient dynamics in disturbed areas of the Amazon region helps to provide understanding of how the current land-use models affect the forest ecosystem and its capacity to recover over time. The object of this study was to investigate the nitrogen dynamics along a chronosequence of secondary forests (6, 20 and 40 year-old), following slash-and-burn agriculture that occurred in the municipality of São Francisco do Pará, and along gaps in different stages of development (1,3 and 5 year-old) created by selective logging in the Tapajós National Forest, both in the state of Pará. In order to understand the effects of land cover changes in the nitrogen cycle, we investigated the $\delta^{15}\text{N}$, C and N concentrations in soil, litter, and vegetation in these areas. At the selective logging sites, mineralization and nitrification rates were measured. All sites showed an increase in $\delta^{15}\text{N}$ values in the soil, correlated with depth, in the first 50 cm. There were significant increases in $\delta^{15}\text{N}$ and N concentrations in the vegetation along the chronosequence of secondary forests and a decrease in the C/N ratio. The litter $\delta^{15}\text{N}$ measurements also increased with secondary forest age. These parameters suggest an increasing N availability with stand age. That is, nitrogen cycling is more closed due to N limitation during the first stages of secondary succession, and becomes more open as the secondary forest ages and as rates of N cycling accelerate. At the selective logging sites, mineralization and nitrification rates were lower in the one-year gap. However, differences were not found within the other gap ages and between those gaps and the undisturbed forest. Significant differences in the foliar $\delta^{15}\text{N}$ were not found among the various areas, including legume and non-legume groups that belong to a common area. Foliar N contents were greater in legume than in non-legume species and the C/N ratio was higher in the non-legume species in all areas. Nevertheless, these parameters did not differ among the overall areas. These results indicate an open nitrogen cycle occurring in these areas, suggesting that disturbances such as canopy opening in forests originally enriched in nitrogen, are not strong enough to alter significantly this nutrient cycling, as is the conversion of mature to secondary forest through slash and burn agriculture.

Key-words: Amazon, secondary forests, forest gaps, stable isotopes, nitrogen

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo e mapa de uso do solo	42
Figura 2 - Variações em $\delta^{15}\text{N}$ (A) e concentração total de N (B) em perfis de solo (0-50cm de profundidade) das áreas investigadas	49
Figura 3 - Valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar (‰) (média \pm erro padrão) de plantas leguminosas (em rajado) e não-leguminosas (em branco) coletadas nas áreas investigadas	50
Figura 4 - Valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar (‰) (média \pm erro padrão) incluindo plantas leguminosas e não-leguminosas coletadas nas áreas investigadas	51
Figura 5 - Valores de concentração de N total (%) (média \pm erro padrão) de plantas leguminosas (em rajado) e não-leguminosas (em branco) das áreas investigadas	52
Figura 6 - Valores de razão C/N foliar (média \pm erro padrão) de plantas leguminosas (em rajado) e não-leguminosas (em branco) das áreas investigadas	53
Figura 7 - Relação entre a concentração de N foliar e $\delta^{15}\text{N}$ foliar (A), concentração de P foliar e $\delta^{15}\text{N}$ foliar (B), concentrações de N e P foliares (C) e entre razão C/N foliar e $\delta^{15}\text{N}$ foliar (D).....	56
Figura 8 - Esquema de funcionamento da exploração seletiva de madeira na área de estudo	75
Figura 9 - Clareira com um ano de formação, aberta pela derrubada de árvores durante a exploração seletiva de madeira na Floresta Nacional do Tapajós, Pará.....	76
Figura 10 - Variações em $\delta^{15}\text{N}$ (A) e concentração total de N (B) em perfis de solo (0-50cm de profundidade) das áreas estudadas, sendo o n=1 perfil nas clareiras de 1, 3 e 5 anos e n = 3 perfis na floresta de terra-firme, onde as barras correspondem ao desvio padrão.....	82
Figura 11 - Concentrações de amônio (N-NH_4^+) e nitrato (N-NO_3^-) (A) e taxas de mineralização e nitrificação líquida (B) em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades na Floresta Nacional do Tapajós (média \pm desvio padrão).....	84

Figura 12 - Valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar (média \pm erro padrão) das espécies leguminosas (em rajado) e não-leguminosas (em branco) coletadas em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades na Floresta Nacional do Tapajós	85
Figura 13 - Valores de concentração de N foliar (média \pm erro padrão) das espécies leguminosas (em rajado) e não-leguminosas (em branco) coletadas em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades na Floresta Nacional do Tapajós	87
Figura 14 - Valores médios (\pm erro padrão) de razão C/N foliar das espécies leguminosas (em rajado) e não-leguminosas (em branco) coletadas em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades na Floresta Nacional do Tapajós	88
Figura 15 - Relação entre a concentração de N foliar e o $\delta^{15}\text{N}$ foliar de espécies de leguminosas e não-leguminosas coletadas nas áreas	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização físico-química dos solos superficiais (0-10 cm de profundidade) das áreas estudadas	47
Tabela 2 - Concentração foliar de P e Ca (média e erro padrão), razão N/P e C/P para leguminosas (L) e não-leguminosas (NL) nas áreas estudadas. Letras diferentes na mesma linha representam diferença significativa entre Leguminosas (L) e Não leguminosas (NL) ($p < 0,05$).....	53
Tabela 3 - Valores (média \pm EP) de $\delta^{15}\text{N}$, concentração de N e razão C/N para serapilheira coletada nas áreas de estudo	54
Tabela 4 - Processos e fluxos de nitrogênio para florestas secundárias e floresta de terra-firme na região Bragantina estado do Pará ¹	58
Tabela 5 - Valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ foliar, concentração foliar de N (média \pm erro padrão) e razão C/N para espécies de leguminosas (L) e de não-leguminosas (NL) nas áreas estudadas. Letras diferentes na mesma linha representam diferença significativa entre Leguminosas (L) e Não-leguminosas (NL) ($p < 0,05$).....	86
Tabela 6 - Valores (média \pm EP) de ^{15}N , concentração de N e razão C/N para serapilheira coletada nas áreas de estudo	90
Tabela 7 - Processos e fluxos de nitrogênio na área de estudo.....	94

1 INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica representa o maior remanescente contínuo de floresta tropical do mundo, cobrindo no Brasil uma área de 3,5 milhões de km². Na Amazônia brasileira, apesar das florestas primárias ainda predominarem, estimativas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2005) indicam um desmatamento total acumulado até o ano de 2004 de 652.908 km², o equivalente a aproximadamente 16% da área de cobertura florestal original. Esta alta taxa de desmatamento é consequência principalmente da demanda sócio-econômica para o estabelecimento de atividades agropecuárias e aberturas de clareiras pela exploração madeireira (FEARNSIDE, 2005). Em consequência desse fato, a paisagem encontrada em várias regiões da Amazônia é caracterizada pela existência de mosaicos constituídos por áreas que sofreram algum tipo de alteração intercaladas com áreas ainda intactas.

O estudo da dinâmica ecológica destas áreas após a perturbação, assim como dos possíveis mecanismos de recuperação adotados pelo sistema, podem contribuir para a elucidação dos impactos dos atuais modelos de uso do solo sobre o sistema florestal bem como sua capacidade de recuperação ao longo do tempo, permitindo assim, que sejam feitas previsões quanto ao futuro ambiental da região, dando base para a criação de alternativas que permitam o uso sustentável dos recursos florestais nativos e a recuperação daqueles que já se apresentam degradados.

A dinâmica e a conservação de nutrientes são fatores críticos para a manutenção da produtividade nas florestas nativas, assim como para seu restabelecimento após uma perturbação (UHL, 1987; REICH et al., 1997). O impacto de atividades humanas, como alterações no uso do solo e mudanças na cobertura vegetal, modifica a dinâmica de nutrientes nesses sistemas. Os ciclos biogeoquímicos, em particular o ciclo de nitrogênio, estão intimamente ligados à produtividade florestal, portanto investigar os possíveis efeitos de perturbações antrópicas na dinâmica de nutrientes em sistemas alterados, bem como acompanhar a recuperação (ou não) destes ciclos ao longo do tempo pode antever consequências graves como o declínio da produtividade, alterações no equilíbrio do sistema ou mesmo mudanças climáticas locais, ou regionais.

Em um sistema alterado, como uma floresta após abertura de clareiras ou mesmo uma floresta estabelecida em áreas abandonadas após uso agrícola, novas interações bióticas e abióticas passam a ocorrer. Dentro deste contexto, o ciclo de nitrogênio destaca-se como um fator chave para o entendimento da dinâmica de recuperação dos sistemas em regeneração, pois os processos envolvidos na ciclagem de nitrogênio são diretamente influenciados por estas interações.

Nas últimas décadas, o uso de isótopos estáveis de nitrogênio, aliado as várias medidas dos processos de ciclagem de N, tem auxiliado a compreender os processos de ciclagem de N nestes sistemas bem como as respostas destes às alterações de causas humanas ou naturais (HANDLEY; RAVEN, 1992; GUEHL et al., 1998; BUSTAMANTE et al., 2004). Em áreas alteradas na Amazônia, no entanto, ainda são poucos os estudos que têm utilizado a abundância natural de ^{15}N como ferramenta na elucidação dos processos de ciclagem de N na floresta em regeneração (GEHRING et al., 2005). Dentro desta ótica também coloca-se um questionamento importante quanto à forma de ciclagem de N em ambientes tropicais alterados, ou em processo de regeneração.

Este estudo baseou-se na utilização dos isótopos estáveis de N na investigação dos processos de ciclagem de N em estudos de caso de importância econômica e ecológica, pois aborda, em dois capítulos distintos, duas relevantes correntes de alteração na paisagem amazônica, a agricultura e a exploração madeireira. O primeiro capítulo trata das alterações na ciclagem de nitrogênio em uma cronossequência de florestas secundárias oriundas de áreas com uso prévio por agricultura de corte e queima e o segundo aborda esta dinâmica em áreas submetidas à exploração seletiva de madeira, dando enfoque principalmente às possíveis alterações causadas ao sistema pela abertura de clareiras durante a exploração. Ambas investigações surgiram como uma oportunidade única dentro do Projeto LBA (Larga Escala Biosfera Atmosfera na Amazônia) que tem, entre outros sítios de estudo ao longo da região Amazônica, uma área constituída de florestas secundárias de diferentes idades na região nordeste do Estado do Pará e uma área de exploração seletiva de madeira na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra – Pará. Diante do exposto acima, a pergunta básica que norteia

este estudo é a seguinte: como mudariam os processos de ciclagem de nitrogênio ao longo de sucessões secundárias na Amazônia?

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi investigar a dinâmica de nitrogênio ao longo de florestas secundárias e clareiras em diferentes estágios de regeneração formadas por dois dos mais importantes processos de alteração humana na paisagem amazônica, a agricultura de subsistência (aqui referida como agricultura de corte e queima) e a exploração seletiva de madeira.

1.2 Revisão bibliográfica

1.2.1 Agricultura de corte e queima na região Amazônica

A agricultura de corte e queima é um sistema de cultivo praticado por mais de 250 milhões de pessoas nas regiões tropicais (ATTIWILL, 1994), sendo considerado bem adaptado ao clima e solos dessas regiões, além de acessível a pequenos produtores devido a seu baixo custo (FEARNSIDE, 1985). Na Amazônia especificamente, este método é a forma tradicional de cultivo que tem sido usada há muitos anos por populações rurais e ribeirinhas (MORAN, 1974); e mesmo populações indígenas já vêm utilizando a agricultura de corte e queima por séculos como forma de subsistência (GROSS et al., 1979; CARNEIRO, 1983).

Os ciclos tradicionais de agricultura de corte e queima caracterizam-se por alternar períodos de cultivo e de pousio*, e nos últimos é quando ocorre o desenvolvimento da vegetação secundária. O tempo de pousio pode variar de 2 a

*Intervalo de tempo onde as áreas cultivadas são temporariamente abandonadas e quando ocorre o estabelecimento da vegetação secundária. Este tempo é considerado pelos agricultores como necessário para restauração dos nutrientes do solo.

muitos anos dependendo da necessidade do agricultor e, após este período, as florestas são cortadas e queimadas novamente promovendo um enriquecimento do solo pelas cinzas, e à curto prazo, um aumento de sua produtividade permitindo, desse modo, uma nova fase de cultivo (METZGER, 2003). Neste sistema uma pequena área de floresta (0,5 a 4 ha) é derrubada e o material é queimado, fornecendo uma camada de cinza para o solo. A área então é cultivada até que a produtividade decline (após 2 a 4 anos); e quando isto ocorre, a área é abandonada para o reaparecimento da floresta e o agricultor muda o sistema de plantio para uma nova área de floresta (METZGER, 2002).

O uso do fogo na Amazônia apresenta-se como uma alternativa do produtor em face à restrição de recursos, tais como baixa oferta de mão-de-obra, baixa rentabilidade agrícola, existência de poucas alternativas economicamente viáveis, além da baixa qualidade do solo para a agricultura, o que pode explicar a utilização intensa do fogo nas atividades agropecuárias (NEPSTAD; ALENCAR; MOREIRA, 1999; NEPSTAD et al., 1999; NEPSTAD et al., 2001). Todos esses fatores têm contribuído para que o processo de corte e queima seja o instrumento predominante para o preparo do solo na região amazônica, sobretudo em pequenas e médias propriedades (SAMPAIO et al., 2003).

Este sistema, porém, promove muitos prejuízos ecológicos, como o desmatamento, emissões de carbono para a atmosfera e perdas de biodiversidade (BRADY, 1996; FUJISAKA; ESCOBAR; VENEKLAAS, 1998). Além disso, a limpeza da área para o cultivo utilizando o corte e a queima da vegetação presente, promove a perda de nutrientes por lixiviação e volatilização (principalmente nitrogênio) (RAISON; KHANNA; WOODS, 1985).

1.2.2 Florestas Secundárias como componentes da paisagem Amazônica

Florestas secundárias são extensivas nos trópicos, correspondendo a cerca de 40% do total da área de floresta e apresentam taxas de formação na ordem de 9 milhões ha ano⁻¹ (BROWN; LUGO, 1990).

A paisagem das áreas onde ocorre o estabelecimento de florestas secundárias é bastante dinâmica em função do surgimento de novas florestas secundárias, do amadurecimento ou mesmo do desaparecimento destas de acordo com as perspectivas econômicas das atividades que eventualmente as substituirão.

As florestas secundárias constituem-se como um importante componente para a manutenção da produtividade do sistema agro-ecológico, pois desempenham uma série de funções importantes como acumulação de nutrientes na biomassa vegetal e o melhoramento da estrutura do solo (GOSS, 1991).

Em termos biológicos, a floresta secundária é essencial para a conservação da biodiversidade nos trópicos. Em áreas de derrubada extensiva de florestas primárias, essas florestas constituem um importante reservatório genético de espécies nativas (NEPSTAD et al., 1996; VIEIRA et al., 1996; MOUTINHO; GASCON, 1998) e têm um papel importante como corredores ecológicos entre fragmentos remanescentes de mata primária (SALIMON; BROWN, 2000).

Sob aspectos climáticos, na escala amazônica e global, as vegetações secundárias contribuem consideravelmente para a evaporação e a captação de grandes quantidades de carbono na biomassa aérea e subterrânea (HOLSCHER et al., 1997; NEPSTAD; MOUTINHO; MARKEWITZ, 2001).

As florestas secundárias não exercem apenas determinadas funções ecológicas, como evitar a erosão e recuperar a fertilidade do solo, seqüestro de carbono pela vegetação em desenvolvimento e ser habitat para muitas espécies animais (UNRUH, 1988; BROWN; LUGO, 1990; LUGO; BROWN, 1992; MOUTINHO, 1998), elas também têm implicações econômicas e sociais positivas por constituírem um capital natural que fornece madeira e outros produtos florestais de valor como lenha, carvão, material de construção, produtos de uso extrativista e plantas medicinais (HOLSCHER et al., 1997; NEPSTAD; MOUTINHO; MARKEWITZ, 2001).

A vegetação secundária se estabelece por quatro processos principais: regeneração de indivíduos remanescentes, germinação pelo banco de sementes do solo, brotamento de raízes e hastes, dispersão de sementes e migração de outras áreas. Durante os primeiros estágios de sucessão, espécies pioneiras como a vegetação herbácea “dependentes de luz”, mudas (plântulas) e pequenas árvores

(varas) ocupam a área e competem por espaço e recursos (TUCKER; BRONDIZIO; MORAN, 1998). Espécies secundárias em florestas tropicais são caracterizadas por um curto ciclo de vida, alta taxa de crescimento, alta distribuição de recursos reprodutivos e sementes de tamanho reduzido e longa viabilidade (GÓMEZ-POMPA; VÁZQUEZ-YANES, 1981).

Grande parte dos estudos sobre regeneração de florestas tropicais aborda principalmente aspectos aéreos como acúmulo de fitomassa e restauração da estrutura e da composição vegetal (NEPSTAD; UHL; SERRAO, 1991; MESQUITA, 2000). Interferências na estrutura da floresta secundária como, diferentes trajetórias de regeneração e as influências das diversas formas de uso do solo levam a grandes variações na acumulação de fitomassa. Por exemplo, quando o uso do solo foi muito intenso (com ocorrência de queimadas, por exemplo) a sucessão é lenta e a comunidade de espécies é relativamente pobre; dizendo-se então que existe um processo inibido ou atrasado de recuperação. Em outros casos, a vegetação que se forma é muito diversa, e cresce rápido, seguindo assim uma outra trajetória. Isso acontece quando a terra sofreu um uso pouco intensivo, e assim, há mais chances de a vegetação se regenerar. (BROWN; LUGO, 1990).

À medida que as florestas secundárias evoluem, diversas propriedades, como altura, biomassa, índice de área foliar, entre outros se alteram. Em florestas jovens ocorre uma distribuição mais uniforme de diâmetros e alturas das árvores, e com o passar do tempo, estas florestas apresentam uma distribuição maior não apenas em altura, mas também na densidade e nas características do dossel. Este fato implica potencialmente em diferentes padrões de distribuição de luz no perfil do dossel e de características microclimáticas sensivelmente diferentes, o que permite o estabelecimento e invasão de novas espécies, alterando a distribuição dos componentes da vegetação original (VIEIRA et al., 2003)

A conservação de nutrientes e sua dinâmica aparecem como fatores críticos para a manutenção da produtividade nas florestas secundárias, assim como para o seu restabelecimento após a perturbação (UHL, 1987; REICH; ELLSWORTH; UHL, 1995). Em termos de ciclagem de nutrientes, florestas secundárias caracterizam-se por

acumular nutrientes com o tempo, porém a proporção desta acumulação na vegetação, serapilheira e solo varia dependendo do elemento em questão (VITOUSEK, 1984).

1.2.3 Exploração seletiva de madeira na região Amazônica

A exploração seletiva de madeira, vem se tornando de grande relevância na região Amazônica nas últimas décadas. Este destaque tem ocorrido principalmente devido à intensificação da busca por métodos alternativos de exploração madeireira que amenizem os danos causados à floresta. Estudos demonstraram que a exploração seletiva de madeira, comparada aos métodos de exploração convencional, diminui substancialmente os prejuízos à floresta matriz (PINARD et al., 1995; JOHNS; BARRETO; UHL, 1996).

A exploração seletiva de madeira, também chamada corte seletivo de madeira, consiste em um conjunto de tratamentos silviculturais, com base na produção sustentável, que permite a retirada seletiva de árvores produtivas adotando-se o conceito de “floresta balanceada” (SCOLFORO, 1997). Este método vem sendo utilizado por provocar poucos efeitos (quando comparados à exploração convencional) na estrutura da floresta, composição e dinâmica de regeneração (DEKKER; DE GRAAF, 2003).

Entre as técnicas adotadas neste método de exploração, estão incluídas a retirada de um número reduzido de árvores (3 a 20 árvores por hectare) (UHL; VIEIRA, 1989), a diminuição dos danos às árvores remanescentes pelo direcionamento da queda da árvore a ser retirada e o corte dos cipós um ou dois anos antes da exploração (PINARD et al., 1995), além de contar com um sistema planejado de inventário e mapeamento das árvores a serem extraídas, das estradas e ramais para retirada das toras do interior da floresta, além da utilização de trilhas de arraste e pátios estrategicamente localizados de forma a diminuir os danos provocados ao solo e a estrutura da floresta (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996)

Os impactos ecológicos da exploração seletiva de madeira são geralmente difíceis de serem detectados porque não é feita a remoção completa do dossel, mas

estão geralmente relacionados ao número de árvores retiradas por hectare, ou seja quanto maior este número, mais visíveis serão os impactos na estrutura da floresta. Este reduzido impacto ao dossel (reduzido em relação à exploração convencional), também dificulta a estimativa, com utilização de imagens de satélite, da área de abrangência deste método de exploração na Amazônia brasileira (PEREIRA et al., 2002).

Porém, estudos baseados em levantamento de serrarias sugerem por exemplo, que de 5.000 a 9.000km² de floresta foram cortadas em 1996-1997 e que em termos de amplitude de área de floresta perturbada, a exploração seletiva abrange uma área bastante extensa, aumentando cada ano (NEPSTAD et al., 1999). Técnicas mais avançadas de sensoriamento remoto contabilizam a extensão anual da exploração seletiva variando em torno de 12.075 a 19.823km², incluindo na amostragem os cinco maiores estados produtores de madeira na Amazônia brasileira: Pará, Mato Grosso, Rondônia, Roraima e Acre (ASNER et al., 2005).

Apesar de reduzidos, em comparação à exploração convencional, os danos provocados à floresta pela exploração seletiva também incluem a danificação das árvores remanescentes, à vegetação do sub-bosque e do solo, assim como impactos nos processos hidrológicos, na composição vegetal e animal, erosão, armazenamento de carbono, além de tornar a floresta mais suscetível ao fogo pela abertura de clareiras (NEPSTAD et al., 1999)

Silva et al (1995) em um estudo conduzido 13 anos após o corte seletivo em área de floresta explorada na Floresta Nacional do Tapajós, demonstraram a ocorrência de mudanças na estrutura do dossel e na composição de espécies, havendo uma redução das espécies tolerantes à sombra e o desenvolvimento de espécies dependentes de luz.

Estudos em uma área de floresta de terra-firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira, mostraram alterações significativas nas quantidades de alguns nutrientes como potássio, cálcio, magnésio e sódio, que tornaram-se mais elevadas na solução do solo no centro das clareiras. As quantidades dos íons amônio e nitrato, no entanto, foram menos afetadas (FERREIRA et al., 2006).

Martinelli et al. (2000), considerando um número de nove árvores retiradas por hectare de floresta em Rondônia, estimaram em 14 a 22% as potenciais perdas de nutrientes como N, P, Ca e Mg, pela exploração seletiva de madeira. Em floresta tropical Atlântica, o corte seletivo provocou alterações como a diminuição na deposição bem como no estoque de nutrientes na serapilheira (VILLELA et al., 2006).

1.2.4 Ciclo de nitrogênio (N)

Os dois processos mais importantes de entrada de N em um ecossistema são as descargas elétricas na atmosfera e a fixação biológica de N, sendo este de maior relevância (VITOUSEK; HOWARTH, 1991). Howarth et al. (1996) mostraram que nas regiões altamente industrializadas e com agricultura intensiva, as fontes antrópicas de N apresentam ordens de magnitude superiores às entradas naturais. No entanto, em locais onde fontes antrópicas de aporte de N são menos importantes, os processos naturais provavelmente ainda dominam estas entradas (HEDIN; ARMESTO; JOHNSON, 1995). Segundo Galloway (1998), na ausência de atividades humanas, a fixação biológica de nitrogênio é a fonte primária de nitrogênio disponível, fornecendo cerca de 90-130 Tg N ano⁻¹ nos continentes.

A entrada de N no sistema através da fixação biológica (FBN) é mediado por uma parcela relativamente pequena das espécies de procariotos que possuem a enzima nitrogenase, capaz de reduzir o N₂ em N biologicamente disponível. A maioria da fixação biológica de N envolve as formas de simbioses microorganismo:planta vascular, com a formação de nódulos radiculares, que são estruturas nas raízes habitadas por microrganismos específicos, como as bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* e os actinomicetos do gênero *Frankia*, que fixam o N₂ atmosférico. Nessa relação, o microorganismo (rizóbio) usa a planta como fonte de carbono, enquanto libera o nitrogênio fixado que será convertido em N orgânico e utilizado pela planta ou liberado como N inorgânico reduzido (NH₄⁺). Esse N reativo entra nos processos do ciclo de N circulando entre as plantas, animais, microrganismos, solo, soluções e sedimentos (VITOUSEK et al., 2002).

A circulação anual de N em um sistema é freqüentemente de 10 a 20 vezes maior que a quantidade recebida de fontes externas (SCHLESINGER, 1997) sendo a produção de serapilheira o caminho dominante para o retorno dos nutrientes ao solo (especialmente para N e P). A subsequente disponibilização destes nutrientes às plantas e microrganismos se dá através dos processos de decomposição e mineralização, os quais têm um papel chave como reguladores da produtividade de comunidades florestais (ATTIWILL; ADAMS, 1993).

Nas últimas décadas, vários trabalhos têm sido realizados na tentativa de entender o controle da nitrificação (transformação de NH_4^+ em NO_3^-) e como este processo pode afetar outras funções do sistema – consumo pelas plantas, microrganismos e perdas gasosas - após uma perturbação, como a remoção de florestas e seu posterior abandono, ou após uma queimada (VITOUSEK, 1984). Quando a vegetação é removida, a temperatura e umidade do solo são maiores, favorecendo o processo de amonificação aumentando assim a disponibilidade de NH_4^+ . Subseqüentemente, uma imobilização microbiana de N pode retardar a perda de NO_3^- por lixiviação ou por emissões gasosas. No entanto, se a produção de NO_3^- for maior que o utilizado pelas plantas e microrganismos, grande perdas por lixiviação podem ocorrer.

Em geral, nitrificação e perdas gasosas são maiores em florestas com alta disponibilidade de N (MACEDO; ANDERSON, 1993; MARTINELLI et al., 1999). Estas taxas normalmente diminuem durante a recuperação da vegetação logo após a perturbação (DAVIDSON; BUSTAMANTE; PINTO, 2001). Em áreas onde ocorreram corte e queima da vegetação para o plantio Raison et al. (1985) e Holscher (1997), por exemplo, relatam perdas de nutrientes (principalmente nitrogênio) por volatilização e lixiviação em áreas onde o fogo foi utilizado. Esta perda de nutrientes com a perturbação e o consumo acelerado no decorrer da recuperação da vegetação promove um fechamento na ciclagem de N, este fechamento é caracterizado por perdas menores por emissões gasosas ou lixiviação, promovendo um uso mais eficiente do N pelo sistema.

De um modo geral, mudanças na estrutura dos ecossistemas terrestres levam à perdas de nitrogênio (VITOUSEK et al., 1979; HUNGATE et al., 2003). Na Amazônia,

estudos anteriores têm demonstrado haver uma perda considerável de biomassa e conseqüente perda de nutrientes durante a substituição da floresta de terra-firme por algum cultivo agrícola (KAUFFMAN et al., 1995; FEARNSIDE et al., 1999; HUGHES; KAUFFMAN; CUMMINGS, 2002). Essas perdas são especialmente elevadas quando o elemento tem uma fase gasosa, como é o caso do nitrogênio (ANDREAE; MERLET, 2001). Em termos de quantidade por exemplo, o nitrogênio é o mais importante nutriente perdido na agricultura de corte-e-queima, seja pela volatilização durante a queima ou pela subsequente lixiviação de nitrato (KAUFFMAN et al., 1995; HOLSCHER et al., 1997) e que a vegetação secundária potencialmente reacumularia.

1.2.5 Uso de isótopos estáveis do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) em estudos ambientais

Uma característica importante que tem difundido o uso da ferramenta isotópica em estudos ambientais é seu caráter integrador (HOGBERG, 1997; ROBINSON, 2001). Ou seja, substituem-se as medidas pontuais e repetitivas sobre os processos que regulam o ciclo do N, pela determinação dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ em compartimentos dos ecossistemas, como solos e plantas, o que permite fazer uma série de inferências sobre a sua dinâmica.

Existem dois isótopos estáveis do N: ^{14}N e ^{15}N . A média natural de abundância de ^{15}N na atmosfera é a constante e igual a aproximadamente 0,366%, sendo usada como padrão para as análises de N. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ encontrados na natureza variam de -20 a $+20$ ‰. Os tecidos animais apresentam normalmente valores maiores de $\delta^{15}\text{N}$ em relação ao encontrados em plantas e esse progressivo enriquecimento aumenta com os níveis tróficos, como conseqüência dos caminhos catabólicos que favorecem a liberação do isótopo mais leve. O nitrogênio da matéria orgânica do solo tende a ser mais rico em ^{15}N se comparado aos tecidos aéreos, indicando uma discriminação microbiana durante o processo de decomposição (HOGBERG, 1997).

Em termos de fixação biológica, a conversão de N_2 em formas orgânicas de nitrogênio parece discriminar pouco contra ^{15}N . Conseqüentemente, valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ das leguminosas, quando estão fixando N da atmosfera, tendem a ficar

próximas a 0‰ (EHLERINGER; RUNDEL, 1989). Por outro lado, espécies não-fixadoras de N mostram uma grande variação na sua razão isotópica dependendo da taxa de mineralização de N no solo (GARTEN; VANMIEGROET, 1994).

As dificuldades em medir as taxas de fixação de N no campo, especialmente na vegetação perene, tem levado ao desenvolvimento e ao uso cada vez maior de técnicas usando isótopos estáveis que oferecem uma análise qualitativa capaz de discriminar a origem do N fixado pelas plantas. Em locais onde o N derivado do solo apresenta uma composição isotópica bem diferenciada, a composição isotópica das espécies fixadoras de N difere das encontradas para as plantas não-fixadoras. Diferenças significativas entre $\delta^{15}\text{N}$ atmosférico e do solo são necessárias para a validação dessa consideração (HOGBERG, 1997).

1.2.6 O papel das Leguminosas na ciclagem de nitrogênio

As Leguminosas são abundantes nos trópicos e possuem a maior diversidade de todas as famílias de plantas da bacia Amazônia Brasileira (MOREIRA; DASILVA; DEFARIA, 1992).

O fato de as plantas desta família apresentarem alta concentração de N foliar (MOREIRA; DASILVA; DEFARIA, 1992; SPRENT et al., 1996) e na floresta de terra-firme amazônica, essas plantas não parecerem estar fixando N regularmente, sugerem que a fixação simbiótica de N poderia estar ocorrendo durante períodos temporários de menor disponibilidade de N no solo (MCKEY, 1994). A comparação da média foliar dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ de leguminosas arbóreas e de espécies não-fixadoras presentes em áreas de floresta de terra-firme amazônica indicaram que somente algumas espécies estavam fixando N nessas florestas (YONEYAMA et al., 1993; VITOUSEK et al., 2002; NARDOTO, 2005).

No estudo realizado por Sylvester-Bradley et al. (1980) a ocorrência de nódulos foi rara em floresta de terra-firme amazônica, mais esporádica em florestas primárias perturbadas (pequenas clareiras) e nas florestas secundárias, e sendo mais freqüente

em solos cultivados. Aberturas do dossel, queimadas e cultivo causam uma diminuição temporária de N o que por sua vez, poderia induzir a fixação de N pelas leguminosas.

Segundo Nardoto et al (2005), as leguminosas fixando ou não N_2 atmosférico, possuem um papel chave no funcionamento dos sistema. Estas apresentam um estilo de vida com alto requerimento de N, possuindo então baixas razões C/N foliares, o que confere uma produção de material foliar de alta qualidade para a serapilheira, desempenhando então um papel importante de redistribuição de N no sistema.

REFERÊNCIAS

- ANDREAE, M. O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.15, n.4, p.955-966, Dec 2001.
- ASNER, G. P.; KNAPP, D. E.; BROADBENT, E. N.; OLIVEIRA, P. J. C.; KELLER, M.; SILVA, J. N. Selective logging in the Brazilian Amazon. **Science**, Washington, v.310, n.5747, p.480-482, Oct 21 2005.
- ATTIWILL, P. M. The disturbance of forest ecosystems: The ecological basis for conservative management. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.63, n.2/3, p.247-300, Feb 1994.
- ATTIWILL, P. M.; ADAMS, M. A. Nutrient cycling in forests. **New Phytologist**, New York, v.124, n.4, p.561-582, Aug 1993.
- BRADY, N. C. Alternatives to slash-and-burn: A global imperative. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.58, n.1, p.3-11, 1996.
- BROWN, S.; LUGO, A. E. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, New York, v.6, p.1-32, Feb 1990.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P. B.; KLINK, C. A.; DOMINGUES, T. F.; SANTOS, R. V. ¹⁵N natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian savannas (cerrado). **Ecological Applications**, Washington, v.14, n.4, p.S200-S213, Aug 2004.
- CARNEIRO, R. L. The cultivation of manioc among the Kuikuru of the upper Xingú. In: HAYNES, R.; VICKERS, W. (Ed.). **Adaptive Responses of Native Amazonians**. New York: Academic Press, 1983. v. 1. chap. 4. p.65-111.
- DAVIDSON, E. A.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A. D. S. Emissions of nitrous oxide and nitric oxide from soils of native and exotic ecosystems of the Amazon and Cerrado regions of Brazil. **The Scientific World**, Newbury, UK, v.1, p.312-319, 2001.
- DEKKER, M.; DE GRAAF, N. R. Pioneer and climax tree regeneration following selective logging with silviculture in Suriname. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.172, n.2/3, p.183-190, Jan 2003.
- EHLERINGER, J. R.; RUNDEL, P. W. Stable isotopes: history, units, and instrumentation. In: EHLERINGER, J. R.; RUNDEL, P. W.; NAGY, K. A. (Ed.). **Stable isotopes in ecological research**. **Ecological Studies**. New York: Springer-Verlag, 1989. v. 68. chap. 1. p.1-15.

- FEARNSIDE, P. M. Agriculture in Amazonia. In: PRANCE, G.; LOVEJOY, T. (Ed.). **Key Environments: Amazonia**. Oxford, UK: Pergamon Press, 1985. v. 1. chap. 21. p.393-418.
- FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates, and consequences. **Conservation Biology**, Oxford, v.19, n.3, p.680-688, Jun 2005.
- FEARNSIDE, P. M.; GRACA, P.; LEAL, N.; RODRIGUES, F. J. A.; ROBINSON, J. M. Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Para. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.123, n.1, p.65-79, Oct 11 1999.
- FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; MIRANDA, S. Á. F.; DA SILVA, M. D. S. R.; VITAL, A. R. T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra-firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazônica**, Manaus, v.36, n.1, p.59 - 68, 2006.
- FUJISAKA, S.; ESCOBAR, G.; VENEKLAAS, E. Plant community diversity relative to human land uses in an Amazon forest colony. **Biodiversity and Conservation**, Dordrecht, v.7, n.1, p.41-57, 1998.
- GALLOWAY, J. N. The global nitrogen cycle: changes and consequences. **Environmental Pollution**, Oxford, v.102, p.15-24, 1998.
- GARTEN, C. T.; VANMIEGROET, H. Relationships between soil nitrogen dynamics and natural ¹⁵N abundance in plant foliage from Great Smoky Mountains National-Park. **Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere**, Montreal, v.24, n.8, p.1636-1645, Aug 1994.
- GEHRING, C.; VLEK, P. L. G.; DE SOUZA, L. A. G.; DENICH, M. Biological nitrogen fixation in secondary regrowth and mature rainforest of central Amazonia. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.111, n.1/4, p.237-252, Dec 1 2005.
- GÓMEZ-POMPA, A. G.; VÁZQUEZ-YANES, C. N. Successional studies of a rain forest in Mexico. In: WEST, D. C.; SCHUGART, H. H.; BOTKIN, D. B. (Ed.). **Forest concepts and application**. New York: Springer-Verlag, 1981. v. 1. chap. 9. p.247-266.
- GOSS, M. J. Consequences of the activity of roots in soil. In: ATKINSON, D. (Ed.). **Plant root growth: An ecological perspective**. Edinburgh: Special publication number of the British Ecological Society, 1991. v. 1. chap. 9. p.171-186.
- GROSS, D. R.; GITEN, G.; FLOWERS, N. M.; LEOI, F. M.; RITTER, M. L.; WERNER, D. W. Ecology and acculturation among native peoples of central Brazil. **Science**, Washington, n.206, p.1043-1050, 1979.

- GUEHL, J. M.; DOMENACH, A. M.; BEREAU, M.; BARIGAH, T. S.; CASABIANCA, H.; FERHI, A.; GARBAYE, J. Functional diversity in an Amazonian rainforest of French Guyana: a dual isotope approach ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$). **Oecologia**, New York, v.116, n.3, p.316-330, Sep 1998.
- HANDLEY, L. L.; RAVEN, J. A. The use of natural abundance of nitrogen isotopes in plant physiology and ecology. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v.15, n.9, p.965-985, Dec 1992.
- HEDIN, L. O.; ARMESTO, J. J.; JOHNSON, A. H. Patterns of nutrient loss from unpolluted, old-growth temperate forests - Evaluation of biogeochemical theory. **Ecology**, Washington, v.76, n.2, p.493-509, Mar 1995.
- HOGBERG, P. Tansley review N^o 95. ^{15}N natural abundance in soil-plant systems. **New Phytologist**, New York, v.137, n.2, p.179-203, Oct 1997.
- HOLSCHER, D.; SA, T. D. A.; BASTOS, T. X.; DENICH, M. Evaporation from young secondary vegetation in eastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.193, n.1/4, p.293-305, Jun 1997.
- HOWARTH, R. W. Special issue - Nitrogen cycling in the North Atlantic Ocean and its watersheds report of the International SCOPE Nitrogen Project - Foreword. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.35, n.1, p.1-1, Oct 1996.
- HUGHES, R. F.; KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L. Dynamics of aboveground and soil carbon and nitrogen stocks and cycling of available nitrogen along a land-use gradient in Rondonia, Brazil. **Ecosystems**, New York, v.5, n.3, p.244-259, Apr 2002.
- HUNGATE, B. A.; NAIMAN, R. J.; APPS, M.; COLE, J. J.; MOLDAN, B.; SATAKE, K.; STEWART, J.; VICTORIA, R.; VITOUSEK, P. Disturbance and element interactions. In: MELILLO, J. M.; FIELD, C. B.; MOLDAN, B. (Ed.). **SCOPE, Interaction of the major biogeochemical cycles**. Washington, 2003. v. 1. chap. 2. p.47-89.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite - Projeto PRODES**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. Acesso em: 22 de nov. 2005.
- JOHNS, J. S.; BARRETO, P.; UHL, C. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.89, n.1/3, p.59-77, Dec 1996.
- KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E.; BABBITT, R. Fire in the Brazilian Amazon .1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. **Oecologia**, New York, v.104, n.4, p.397-408, Dec 1995.

LUGO, A. E.; BROWN, S. Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.54, n.1/4, p.239-255, Nov 1992.

MACEDO, D. S.; ANDERSON, A. B. Early ecological changes associated with logging in an Amazon floodplain. **Biotropica**, Lawrence, v.25, n.2, p.151-163, Jun 1993.

MARTINELLI, L. A.; ALMEIDA, S.; BROWN, I. F.; MOREIRA, M. Z.; VICTORIA, R. L.; FILOSO, S.; FERREIRA, C. A. C.; THOMAS, W. W. Variation in nutrient distribution and potential nutrient losses by selective logging in a humid tropical forest of Rondonia, Brazil. **Biotropica**, Lawrence, v.32, n.4, p.597-613, Dec 2000.

MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. C.; TOWNSEND, A. R.; VITOUSEK, P. M.; CUEVAS, E.; MCDOWELL, W.; ROBERTSON, G. P.; SANTOS, O. C.; TRESEDER, K. Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil: Tropical versus temperate forests. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.46, n.1/3, p.45-65, Jul 1999.

MCKEY, D. Legumes and nitrogen: the evolutionary ecology of a nitrogen-demanding lifestyle. In: SPRENT, J.; MCKEY, D. (Ed.). **Advances in legume systematics: Part 5- The nitrogen factor**. Kew: Royal Botanic Gardens, 1994. v. 1. chap. 5. p.211-228.

MESQUITA, R. D. G. Management of advanced regeneration in secondary forests of the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.130, n.1/3, p.131-140, May 1 2000.

METZGER, J. P. Landscape dynamics and equilibrium in areas of slash-and-burn agriculture with short and long fallow period (Bragantina region, NE Brazilian Amazon). **Landscape Ecology**, Dordrecht, v.17, n.5, p.419-431, Oct 2002.

METZGER, J. P. Effects of slash-and-burn fallow periods on landscape structure. **Environmental Conservation**, New York, v.30, n.4, p.325-333, Dec 2003.

MORAN, E. F. The adaptive system of the Amazonian caboclo. In: WAGLEY, C. (Ed.). **Man in the Amazon**. Gainesville: University Presses of Florida, 1974. v. 1. chap. 7. p.136-159.

MOREIRA, F. M. D.; DASILVA, M. F.; DEFARIA, S. M. Occurrence of nodulation in legume species in the Amazon region of Brazil. **New Phytologist**, New York, v.121, n.4, p.563-570, Aug 1992.

MOUTINHO, P. Impactos da formação de pastagens sobre a fauna de formigas: consequências para a recuperação florestal na Amazônia Oriental. In: MOUTINHO, P.; GASCON, C. (Ed.). **Floresta Amazônica: Dinâmica, regeneração e manejo**. Manaus: MCT/Inpa, 1998. v. 1. chap. 10. p.155-170.

MOUTINHO, P.; GASCON, C. **Floresta Amazônica: Dinâmica, regeneração e manejo**. Manaus: MCT/INPA, 1998. 373 p.

NARDOTO, G. B. **Abundância natural de ^{15}N na Amazônia e Cerrado – implicações para a ciclagem de nitrogênio**. 2005. 100p. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NEPSTAD, D.; MOUTINHO, P.; UHL, C. V.; DA SILVA, J. M. C. The ecological importance of forest remnants in a eastern amazonian frontier landscape. In: SCHELHAS, J.; GREENBERG, R. (Ed.). **Forest patches in tropical landscapes**. Washington D.C.: Island Press, 1996. v. 1. chap. 6. p.133-150.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J. P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA, U. L.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.154, n.3, p.395-407, Dec 2001.

NEPSTAD, D. C.; UHL, C.; SERRAO, E. A. S. Recuperation of a degraded amazonian landscape - Forest recovery and agricultural restoration. **Ambio**, Stockholm, v.20, n.6, p.248-255, Sep 1991.

NEPSTAD, D. C.; ALENCAR, A.; MOREIRA, A. **A floresta em chamas: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia**. Brasília: Quick Printer, 1999. v.1. 202 p.

NEPSTAD, D. C.; MOUTINHO, P.; MARKEWITZ, D. The recovery of biomass, nutrient stocks, and deep soil functions in secondary forests. In: MCCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. (Ed.). **The biogeochemistry of the Amazon basin**. New York: Oxford University Press, 2001. v. 1. chap. 9. p.139-155.

NEPSTAD, D. C.; VERISSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, London, v.398, n.6727, p.505-508, Apr 1999.

PEREIRA, J. R.; ZWEEDE, J.; ASNER, G. P.; KELLER, M. Forest canopy damage and recovery in reduced impact and conventional selective logging in eastern Para, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.168, n.1/3, p.77-89, Sep 2002.

PINARD, M. A.; PUTZ, F. E.; TAY, J.; SULLIVAN, T. E. Creating timber harvest guidelines for a reduced impact logging project in Malaysia. **Journal of Forestry**, Bethesda, v.93, n.10, p.41-45, Oct 1995.

RAISON, R.; KHANNA, P.; WOODS, P. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. **Canadian Journal of Forest Research**, Montreal, v.15, n.11, p.132-140, 1985.

REICH, P. B.; ELLSWORTH, D. S.; UHL, C. Leaf carbon and nutrient assimilation and conservation in species of differing successional status in an oligotrophic amazonian forest. **Functional Ecology**, Oxford, v.9, n.1, p.65-76, Feb 1995.

REICH, P. B.; GRIGAL, D. F.; ABER, J. D.; GOWER, S. T. Nitrogen mineralization and productivity in 50 hardwood and conifer stands on diverse soils. **Ecology**, Washington, v.78, n.2, p.335-347, Mar 1997.

ROBINSON, D. delta N-15 as an integrator of the nitrogen cycle. **Trends in Ecology & Evolution**, London, v.16, n.3, p.153-162, Mar 2001.

SALIMON, C. I.; BROWN, I. F. Secondary forests in western Amazonia: Significant sinks for carbon released from deforestation? **Interciencia**, Caracas, v.25, n.4, p.198-202, Jul 2000.

SAMPAIO, F. A. R.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M.; JUCKSCH, I. Nutrient and phytomass dynamics in a yellow argissol under amazonian tropical forest after burning and rice cultivation. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1161-1170, Nov-Dec 2003.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry**: An analysis of global change. London: Academic Press, 1997. v.1. 588 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelo de prognose com simulador de desbaste para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii***. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. v.1. 75 p.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. D. A.; ALMEIDA, B. F.; COSTA, D. H. M.; OLIVEIRA, L. C.; VANCLAY, J. K.; SKOVSGAARD, J. P. Growth and yield of a tropical rainforest in the Brazilian Amazon 13 years after logging. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.71, n.3, p.267-274, Feb 1995.

SPRENT, J. I.; GEOGHEGAN, I. E.; WHITTY, P. W.; JAMES, E. K. Natural abundance of ¹⁵N and ¹³C in nodulated legumes and other plants in the cerrado and neighbouring regions of Brazil. **Oecologia**, New York, v.105, n.4, p.440-446, Mar 1996.

SYLVESTER-BRADLEY, R.; OLIVEIRA, L. A.; PODESTA FILHO, J. A. Nodulation of legumes, nitrogenase activity of roots and occurrence of nitrogen-fixing *Azospirillum spp.* in representative soils of Central Amazonia. **Agroecosystems**, New York, v.6, p.249-266, 1980.

TUCKER, J. M.; BRONDIZIO, E. S.; MORAN, E. F. Rates of forest regrowth in eastern Amazonia: A comparison of Altamira and Bragantina regions, Para State, Brazil. **Interciencia**, Caracas, v.23, n.2, p.64-82, Apr 1998.

UHL, C. Factors controlling succession following slash-and-burn agriculture in Amazonia. **Journal of Ecology**, Oxford, v.75, n.2, p.377-407, Jun 1987.

UHL, C.; VIEIRA, I. C. G. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon - A case study from the Paragominas region of the State of Para. **Biotropica**, Lawrence, v.21, n.2, p.98-106, Jun 1989.

UNRUH, J. D. Ecological aspects of site recovery under Swidden-Fallow management in the Peruvian Amazon. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.7, n.2, p.161-184, 1988.

VIEIRA, I. C. G.; SALOMÃO, R. D. P.; ROSA, N.; NEPSTAD, D. C.; ROMA, J. Renascimento da floresta no rastro da agricultura. **Ciência Hoje**, São Paulo, v.20, p.38-45, 1996.

VIEIRA, I. C. G.; DE ALMEIDA, A. S.; DAVIDSON, E. A.; STONE, T. A.; DE CARVALHO, C. J. R.; GUERRERO, J. B. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.87, n.4, p.470-481, Nov 2003.

VILLELA, D. M.; NASCIMENTO, M. T.; DE ARAGAO, L.; DA GAMA, D. M. Effect of selective logging on forest structure and nutrient cycling in a seasonally dry Brazilian Atlantic forest. **Journal of Biogeography**, Oxford, v.33, n.3, p.506-516, Mar 2006.

VITOUSEK, P. M. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. **Ecology**, Washington, v.65, n.1, p.285-298, 1984.

VITOUSEK, P. M.; HOWARTH, R. W. Nitrogen limitation on land and in the sea - How can it occur. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.13, n.2, p.87-115, 1991.

VITOUSEK, P. M.; GOSZ, J. R.; GRIER, C. C.; MELILLO, J. M.; REINERS, W. A.; TODD, R. L. Nitrate losses from disturbed ecosystems. **Science**, Washington, v.204, n.4392, p.469-474, 1979.

VITOUSEK, P. M.; CASSMAN, K.; CLEVELAND, C.; CREWS, T.; FIELD, C. B.; GRIMM, N. B.; HOWARTH, R. W.; MARINO, R.; MARTINELLI, L.; RASTETTER, E. B.; SPRENT, J. I. Towards an ecological understanding of biological nitrogen fixation. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.57, n.1, p.1-45, Apr 2002.

YONEYAMA, T.; MURAOKA, T.; MURAKAMI, T.; BOONKERD, N. Natural abundance of ¹⁵N in tropical plants with emphasis on tree legumes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.153, n.2, p.295-304, Jun 1993.

2 ALTERAÇÕES NO CICLO DE NITROGÊNIO EM UMA CRONOSSEQUÊNCIA DE FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Resumo

Agricultura de corte e queima caracteriza-se como uma forma convencional de agricultura usada por populações tradicionais na Amazônia. Entretanto, após alguns anos muitas destas áreas são abandonadas, o que tem promovido um aumento nas áreas de florestas secundárias em diferentes estágios de desenvolvimento na região. A dinâmica do ciclo de nitrogênio foi investigada em uma floresta de terra-firme e ao longo de uma cronossequência de florestas secundárias (6, 20 e 40 anos), localizadas no município de São Francisco do Pará, Estado do Pará (01,10 S; 47,45 W). Com este objetivo, foram avaliados a abundância natural de ^{15}N ($\delta^{15}\text{N}$) e a concentração de C e N em solo, serapilheira e plantas pertencentes a estas áreas. De um modo geral, todas as áreas apresentaram um aumento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ e uma diminuição na concentração de N no solo de acordo com a profundidade. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar variaram entre -4,10 e 4,59‰ e foi observado um aumento significativo no $\delta^{15}\text{N}$ foliar, na concentração de N foliar e uma diminuição da razão C/N foliar ao longo da cronossequência. O $\delta^{15}\text{N}$ da serapilheira também foi mais elevado de acordo com a idade da vegetação. Os resultados encontrados indicam que as florestas secundárias tornam-se mais ricas em N à medida que o sistema recupera-se da perturbação, sugerindo uma mudança na ciclagem de N, de mais fechada devido a uma limitação de N nos primeiros estágios da sucessão secundária investigada, à mais aberta à medida que esta se aproxima da fisionomia original.

Palavras-chave: Amazônia, corte e queima, floresta secundária, isótopos estáveis, nitrogênio

Changes in the nitrogen cycle along a secondary forest chronosequence in eastern Amazon

Abstract

Shifting cultivation is a conventional form of agriculture used by traditional human populations in Amazon. However, after a few years, many of these areas are abandoned, increasing the number of secondary forests, in different stages of development. In order to understand the effects of land cover changes in the nitrogen cycle, we investigated the $\delta^{15}\text{N}$, C and N concentrations in soil, litter and vegetation in an old growth forest and along a chronosequence of secondary forests (6, 20 and 40 year-old) placed in the municipality of São Francisco do Pará, state of Pará (01.10 S; 47.45 W). Regardless the site, a increase in $\delta^{15}\text{N}$ and a decrease in N concentrations were observed in the first 50 cm deep of soil. The foliar $\delta^{15}\text{N}$ ranged from -4.10 to 4.59‰, and there were significant increases in $\delta^{15}\text{N}$ and N concentrations in the vegetation along the chronosequence and a decrease in C/N ratio. Foliar N contents were greater in legume than in non-legume species and C/N ratio was higher in the non-legumes in all areas. The litter $\delta^{15}\text{N}$ also increased with secondary forest age. These parameters have suggested an increasing N availability with stand age. The fact that the pattern of both soil and vegetation $\delta^{15}\text{N}$ is enriched in old forests compared to young forests indicates that annual losses of nitrogen relative to pools are greater in the older secondary forests. That is, nitrogen cycling is more closed due to N limitation during the first stages of secondary succession and becomes more open as the secondary forest ages and as rates of N cycling accelerate.

Key-words: Amazon, shifting cultivation, secondary forest, stable isotopes, nitrogen

2.1 Introdução

Na Amazônia brasileira, estudos têm estimado que de 30 a 50% das áreas desmatadas para agricultura ou pastagens apresentam-se em algum estágio de abandono (HOUGHTON et al., 2000). O abandono dessas áreas vem determinando um aumento nas áreas de florestas secundárias na região (VIEIRA et al., 1996). Nas últimas décadas, estas florestas vêm assumindo cada vez mais um papel de destaque na Amazônia e os indícios que elas possam funcionar diferentemente das florestas primárias levantam a necessidade de um melhor entendimento de seu funcionamento ecológico.

Em áreas de derrubada extensiva de florestas primárias, as florestas secundárias são um importante banco de diversidade genética de espécies nativas (VIEIRA et al., 1996), e reguladoras tanto de funções hidrológicas como biogeoquímicas do sistema (NEPSTAD; MOUTINHO; MARKEWITZ, 2001); e têm um papel importante como corredores ecológicos entre fragmentos remanescentes de floresta primária (SALIMON; BROWN, 2000).

Muitos estudos têm mostrado que a conversão de florestas em pastagens provoca uma diminuição dos estoques de nitrogênio na vegetação e uma desaceleração do ciclo de nitrogênio, com uma conseqüente diminuição na disponibilidade deste nutriente no sistema (PICCOLO; NEILL; CERRI, 1994; NEILL et al., 1995; NEILL et al., 1997; NEILL et al., 1999; VERCHOT et al., 1999; GARCIA-MONTIEL et al., 2001; MELILLO et al., 2001). O mesmo provavelmente ocorre em áreas utilizadas para agricultura, principalmente onde ocorreram ciclos de corte e queima da vegetação para o plantio. Raison et al. (1985) e Holscher (1997), por exemplo, relatam perdas de nutrientes (principalmente nitrogênio) por volatilização e lixiviação em áreas onde o fogo foi utilizado. Por outro lado, pouco se sabe sobre possíveis variações temporais na disponibilidade de tais nutrientes, especialmente o nitrogênio, ao longo do processo de estabelecimento da vegetação secundária. Neste contexto a avaliação do ciclo deste nutriente é fundamental, principalmente por este agir como limitante da produção primária nos sistemas em geral e particularmente em

florestas em regeneração, onde grande quantidade deste elemento foi perdida por anterior corte e queima da floresta original.

Alterações na dinâmica de nitrogênio diante de perturbações de origem antrópica (VERCHOT et al., 1999) ou natural (VITOUSEK; DENSLOW, 1986) em florestas tropicais vêm sendo reportadas em vários estudos. Como resultado, a disponibilidade de N no solo pode ser reduzida e sua ciclagem conseqüentemente comprometida nos primeiros estágios de regeneração da vegetação, o que promoveria um uso mais eficiente do nutriente pelo sistema, reduzindo-se as perdas de N em formas gasosas ou pela lixiviação e diversificando-se as buscas pelas mais variadas formas de N disponíveis. Este fato tornaria o ciclo de N mais conservativo, ou seja, mais fechado, pelo aumento na demanda requerida para o desenvolvimento da nova vegetação a se estabelecer, e conseqüente diminuição das perdas gasosas, além de outros fatores ainda não muito bem esclarecidos, como as formas disponíveis de N à vegetação em desenvolvimento em solos de áreas alteradas. Essas variações no ciclo de nitrogênio levam à uma distribuição diferenciada nos valores isotópicos de N ($\delta^{15}\text{N}$) na vegetação.

Apesar de estudos utilizando $\delta^{15}\text{N}$ em florestas secundárias serem escassos (AIDAR et al., 2003; GEHRING et al., 2005), verifica-se que, de um modo geral, sistemas limitados por nitrogênio tendem a apresentar valores menos enriquecidos em ^{15}N (SCHULZE; CHAPIN; GEBAUER, 1994; HOBBIE; MACKO; WILLIAMS, 2000; BUSTAMANTE et al., 2004) que os sistemas onde esta limitação não ocorre e, conseqüentemente, onde o ciclo de nitrogênio é mais aberto, com maiores perdas de N (HOGBERG, 1990; GARTEN, 1993; HOGBERG; JOHANNISSON, 1993; SCHULZE; CHAPIN; GEBAUER, 1994; NADELHOFFER et al., 1996; SPRENT et al., 1996; HOGBERG, 1997; AUSTIN; VITOUSEK, 1998; MARTINELLI et al., 1999; HOBBIE; MACKO; WILLIAMS, 2000; BUSTAMANTE et al., 2004). Esta diferença pode ser atribuída a fatores climáticos como diferenças no regime de precipitação e temperatura (HANDLEY; RAVEN, 1992; AMUNDSON et al., 2003), idade e fertilidade do solo (AUSTIN; VITOUSEK, 1998), e à própria dinâmica de N dentro do sistema (MARTINELLI et al., 1999).

A região Bragantina no Estado do Pará, destaca-se por apresentar uma característica histórica de substituição da floresta primária por áreas de cultivos agrícolas (mandioca, milho, feijão, pimenta do reino), que são posteriormente abandonadas, apresentando portanto, em uma mesma região com características edafo – climáticas semelhantes, fragmentos de floresta primária e florestas secundárias em diferentes estágios de regeneração, permitindo a coleta de dados num mesmo período de estudo e apresentando-se portanto, como uma oportunidade única para investigar padrões nutricionais ao longo do processo de restabelecimento da vegetação. Os padrões de mudanças do uso do solo e a distribuição de florestas secundárias nesta região, fornecem exemplos que podem antecipar situações a serem vivenciadas em outras áreas, com histórico recente de desmatamentos e colonização humana.

2.1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho foi investigar a dinâmica de nitrogênio ao longo de uma cronosequência constituída por florestas secundárias de diferentes idades e um remanescente de floresta primária de terra firme na região Bragantina na Amazônia Oriental.

As metas propostas para atingir o objetivo deste trabalho foram:

- Investigar a importância relativa das leguminosas como fornecedoras de N ao sistema através da fixação biológica ao longo da cronosequência;
- Determinar a razão isotópica do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) e as concentração de N, P e Ca nas plantas, serapilheira e solo como indicadores da disponibilidade destes nutrientes e do tipo de ciclagem de nitrogênio adotada pela comunidade vegetal ao longo da cronosequência

2.1.2 Hipóteses

- A menor disponibilidade de nitrogênio na fase de estabelecimento da floresta secundária determina uma menor perda desse elemento, ou seja, a ciclagem de nitrogênio seria mais fechada nessas florestas, o que determina um menor fracionamento isotópico do nitrogênio remanescente, conseqüentemente os valores de $\delta^{15}\text{N}$ seriam menores quando comparados aos da floresta de terra-firme sem histórico de perturbação;
- Nas florestas secundárias mais antigas o sistema tornar-se-á paulatinamente enriquecido em N. Conseqüentemente, as perdas de nitrogênio também serão maiores, devido a uma ciclagem mais aberta. Com o aumento das perdas, o N que permanece no sistema, tornar-se-á enriquecido em átomos de ^{15}N , aumentando, conseqüentemente, os valores de $\delta^{15}\text{N}$.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Área de estudo

A área de estudo situa-se no município de São Francisco do Pará, Estado do Pará (01°10'03" S e 47°45'08" W), distante aproximadamente 70 km da capital Belém (Figura 1). A área pertence à zona fisiográfica denominada Bragantina, abrangendo cerca de 476,99 km² de extensão e com uma população estimada em 14.160 habitantes (IBGE, 2005). Os solos são predominantemente do tipo Argissolos Amarelo Distrófico de textura arenosa/média, geralmente de baixa fertilidade natural (KATO et al., 1999). A topografia apresenta declividades suaves e altitude máxima de 33m. A precipitação média anual fica em torno de 2.500 a 3000mm, com duas estações: chuvosa, entre os meses de dezembro e maio, e a menos chuvosa, entre os meses de junho e novembro (IDESP, 1995). A temperatura do ar varia entre 21° C e 31° C, com umidade relativa do ar entre 78% e 93% (IDESP 1995).

A vegetação predominante nesta região é a floresta secundária que substituiu a antiga cobertura de floresta primária de terra-firme (Floresta Ombrófila Densa, segundo o IBGE), da qual restam poucos fragmentos preservados. Esta alteração na paisagem se deve ao intenso processo de mudança no uso do solo ocorrido com o plantio de culturas agrícolas de subsistência como o milho, arroz, feijão e mandioca. Nos fragmentos de floresta primária de terra firme, observam-se espécies arbóreas como a *Manilkara amazonica*, *Protium* sp., *Lecythis lurida*, dentre outras.

Estudos florísticos e estruturais de florestas secundárias e floresta primária de terra-firme desta região foram realizados por Almeida (2000), Almeida e Vieira (2001). O número de espécies e os índices de diversidade aumentaram ao longo da cronossequência de florestas secundárias (VIEIRA et al., 2003), bem como, os valores biomassa aérea abaixo e acima de 5cm de diâmetro que variaram de 53 Mg ha⁻¹ nos estágios iniciais (florestas secundárias de 6 anos) a cerca de 120 Mg ha⁻¹ nos estágios mais avançados (florestas secundárias de 40 anos). A floresta primária de terra-firme apresentou biomassa aérea total em torno de 210 Mg ha⁻¹ (ALMEIDA; VIEIRA, 2001; VIEIRA et al., 2003).

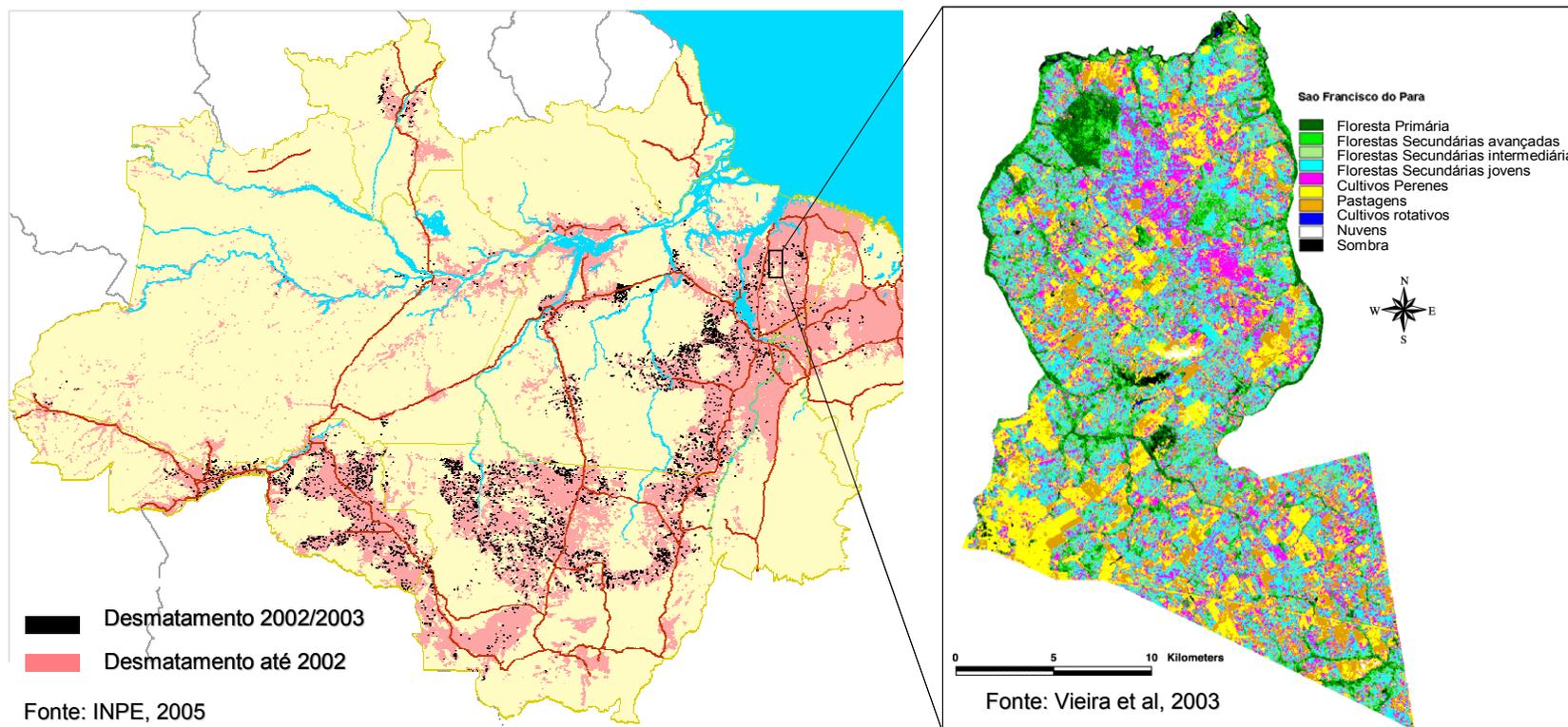


Figura 1 - Localização da área de estudo e mapa de uso do solo

2.2.2 Amostragem

De acordo com os padrões florísticos e estruturais avaliados por Almeida e Vieira (2001) na região e informações levantadas pela utilização de imagens de satélite e entrevistas com os proprietários das áreas (Ver Vieira et al 2003 para maiores detalhes) foram selecionados quatro sítios para as amostragens, referidos neste estudo como:

- florestas secundárias de 6, 20 e 40 anos: áreas de florestas secundária pertencentes a pequenos produtores rurais, que anteriormente foram usadas exclusivamente para agricultura de corte e queima, (normalmente sem a utilização de fertilizantes químicos e herbicidas) apresentando longos ou curtos períodos de cultivo (1 a 3 anos) com posterior abandono das áreas. A idade foi definida considerando-se o tempo de abandono das áreas após a utilização destas para agricultura. (VIEIRA et al., 2003). Nos gráficos e discussões estas áreas serão referidas como “6 anos”, “20 anos”, “40 anos”, de acordo com a idade
- floresta de terra-firme: área constituída por um fragmento de floresta primária preservada que não apresenta histórico de uso anterior.

A amostragem foi baseada em levantamentos fitossociológicos (inventários) previamente realizados nas áreas selecionadas (ALMEIDA, 2000; ALMEIDA; VIEIRA, 2001). A escolha das espécies arbóreas levou em conta o IVI (Índice de Valor de Importância), calculado para estas áreas por Almeida (2000) a partir da densidade, abundância e frequência relativa da família ou da espécie quando identificada (CURTIS; MCINTOSH, 1951), assim como a considerou-se a tentativa de se ter o maior número possível das mesmas espécies (ou gêneros) nas diferentes áreas de floresta.

As coletas foram realizadas em Agosto de 2003. Para cada idade de floresta secundária e para a floresta de terra-firme foram estabelecidas parcelas de 25m x 10m com quatro e duas replicações, respectivamente.

a) Coleta de folhas

A coleta de material foliar foi realizada, baseada na literatura, de acordo com a capacidade potencial das plantas em fixar N₂ atmosférico (indivíduos pertencentes às

famílias Caesalpinaceae, Fabaceae e Mimosaceae, referidas aqui como leguminosas) ou não (indivíduos pertencentes a outras famílias de plantas superiores, exceto as leguminosas, referidas aqui como não-leguminosas). (ALLEN; ALLEN, 1981; MOREIRA; DA SILVA; DE FARIA, 1992; DE FARIA; DE LIMA, 1998; GUEHL et al., 1998).

Foram coletadas folhas verdes maduras (totalmente expandidas) e sadias dos indivíduos de cada uma das espécies selecionadas (leguminosas e não-leguminosas) em cada uma das quatro áreas investigadas. Para as leguminosas, foram coletadas todas as espécies detectadas no inventário da área, totalizando-se entre espécies de leguminosas e não-leguminosas, cerca de 30 indivíduos por floresta (ver Apêndice A).

As coletas foram realizadas com a utilização de podão, em diferentes galhos da copa. Em alguns casos, foi necessária a escalada da árvore por um “mateiro” com a utilização de “peconha”¹ para a coleta na copa da árvore. Depois de coletadas, folhas verdes completamente expandidas foram selecionadas, formando uma amostra composta de cerca de 100 a 200g de folhas por indivíduo.

b) Coleta de serapilheira

Foram retiradas oito amostras de serapilheira (folhas, material reprodutivo e galhos < 1cm de diâmetro) de quadrados de 50 x 50cm lançados aleatoriamente sobre a superfície do solo em cada uma das áreas.

c) Solos

Em cada floresta foi feito um perfil de solo retirando-se amostras nos intervalos de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 30, 30 a 40 e 40 a 50cm de profundidade.

¹ Equipamento rústico, constituído de laço de corda ou plástico resistente, com a forma de um oito, que junto ao tronco auxilia na escalada da árvore.

2.2.3 Análises das amostras

a) *Preparo das amostras*

O material foliar e serapilheira foram secos em estufa a 65°C por 72h e depois moídos. As amostras de solo foram previamente secas ao ar e destorradas em peneira de 2 mm para remoção de pedras, raízes e resto da serapilheira. Sub-amostras de solo foram obtidas através do quarteador de Jones e depois trituradas.

b) *Determinação isotópica de N e C estáveis e determinação das concentrações de N e C total*

Para determinação isotópica de N e C e determinação de N e C total foram pesadas em cápsula de estanho sub-amostras contendo 1-2 mg do material foliar e serapilheira e 10-20mg de solo nas camadas superficiais (0-10cm) e 20-40mg nas camadas mais profundas (10-50cm). Estas foram introduzidas em um analisador elementar (Carlo Erba EA 1110 CHNS, CE Instruments), para determinação da concentração de N e C total através da combustão das amostras. O gás proveniente da combustão é carregado em um fluxo de hélio por uma coluna cromatográfica e introduzido diretamente em um espectrômetro de massas para razões isotópicas (Delta Plus, ThermoQuest-Finnigan). A abundância natural de ^{15}N é expressa como desvios por mil (‰) de um padrão primário através da equação:

$$\delta^{15}\text{N} = 1000 \left(\frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \right)$$

Onde:

R é a razão $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. O $\delta^{15}\text{N}$ é calculado em relação ao padrão, que é o ar atmosférico ($R_{\text{padrão}} = 0,0036765$). A atropina foi utilizada como material padrão de trabalho para o material foliar e o padrão nº 502-308 da LECO Corporation, foi usado para o solo. A margem de erro aceitável para C, N, ^{13}C e ^{15}N foi de 0,15%, 0,01% e 0,30‰ e 0,50‰, respectivamente.

c) *Fósforo total e cálcio*

Foram selecionadas amostras de material foliar de algumas espécies (aproximadamente 10 por área) para análise de P e Ca. A determinação de fósforo foi

realizada após uma digestão com ácido nítrico + ácido perclórico (proporção 5:1), utilizando 0,5 g da amostra e 6 mL da mistura dos ácidos. Após a digestão o material foi diluído em 50mL de água deionizada. A determinação da concentração de P foi realizada por espectrofotometria utilizando o reativo “metavanadato de amônio + molibdato de amônio”. A concentração de Ca foi determinada por espectrofotometria de absorção atômica (SectrAA-100, Varian Inc.), usando o mesmo extrato (da digestão) e adicionada uma solução 0,25% de óxido de lantânio para eliminar a interferência de P e Al, sendo utilizado 1mL do extrato e 9mL de solução de e óxido de lantânio (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Para o Ca, o erro analítico do equipamento ficou em cerca de 3% e para o P, esse erro foi menor que 1%.

d) *Análise físico-química de solo*

As análises das características físico-químicas das amostras de solo coletadas em floresta primária e florestas secundárias de São Francisco do Pará foram realizadas pelo Departamento de Solos e Nutrição de plantas da ESALQ/USP de acordo com os procedimentos usados pela EMBRAPA (1999).

2.2.4 Análises Estatísticas

Para testar a normalidade dos dados de concentrações de N, C, P e Ca, razão isotópica de N foliar foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnoff. Como os dados não seguiram uma distribuição normal, foram aplicados testes não-paramétricos, assim como correlações de Spearman entre os parâmetros analisados. Análises de comparação múltipla de médias (entre grupos) foram realizadas seguidas pelo procedimento ANOVA de Kruskal Wallis para verificar diferenças entre as áreas. As análises estatísticas foram feitas usando o pacote estatístico STATISTICA versão 6.1 para Windows (STATSOFT, Inc. 2004). Diferenças a 5% de probabilidade foram tidas como significantes e quando especificado considerou-se também diferenças a 10% de probabilidade.

2.3 Resultados

2.3.1 Caracterização do solo

As características físico-químicas dos solos superficiais (0-10 cm de profundidade) das áreas estudadas refletem a baixa fertilidade dos mesmos. Estes se caracterizam por apresentar textura muito arenosa (>70% de areia), pH ácido, baixa soma de bases trocáveis ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$) e baixas concentrações dos demais elementos como Ca, Mg, e P (Tabela 1). Observa-se também que a soma de bases na floresta de 6 anos é maior em relação às outras florestas, o que pode estar relacionado à queima anterior da área para o plantio de culturas, o que disponibilizaria Ca no solo.

Tabela 1 - Caracterização físico-química dos solos superficiais (0-10 cm de profundidade) das áreas estudadas

Área de estudo	Argila %	pH	C _{org} --- % ---	N _{total} --- % ---	C/N	P _{total} --- mg dm ⁻³ ---	Ca ²⁺ --- mmol dm ⁻³ ---	SB ¹ -- mmol dm ⁻³ --	T ²	V ³ %
6 anos	18	3,9	1,56	0,11	15,0	6	5	8,8	60,8	14
20 anos	18	3,5	1,26	0,09	14,2	5	3	6,7	53,7	12
40 anos	18	3,5	1,32	0,10	13,6	5	1	3,1	67,1	5
Floresta de terra-firme	20	3,5	1,65	0,12	14,4	7	2	4,9	84,9	6

¹ SB = soma de bases trocáveis ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$); ² T = SB + acidez potencial;

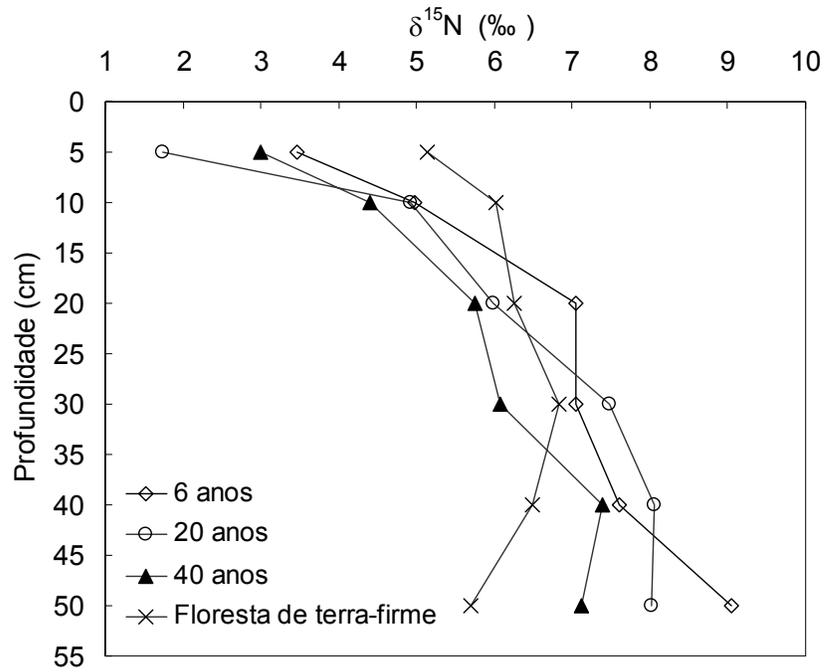
³ V = percentagem de saturação em bases no complexo sortivo

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ na primeira camada do solo (0-5 cm), variaram de 3,3‰ a 5,6‰ e apresentaram-se mais elevados na floresta de terra-firme (Figura 2A). Nos perfis de solo, um progressivo enriquecimento em ^{15}N com a profundidade foi observado em todas as áreas investigadas, entretanto, este foi mais pronunciado nas

florestas secundárias de 6 e 20 anos (aproximadamente 6‰) e na floresta secundária de 40 anos (aproximadamente 4‰), (Figura 2A).

A concentração de N total nos solos estudados (0-10cm), variou de 0,09 a 0,12%, sendo ligeiramente mais elevada na floresta de terra-firme (Tabela 1). Em profundidade ocorreu um decréscimo marcante na concentração de N em todas as áreas investigadas. Nas florestas secundárias de 6 20 e 40 anos, a 50cm de profundidade, por exemplo, o teor de nitrogênio encontrado no solo foi menor que 0,04% (Figura 2B), na floresta de terra-firme este teor foi ligeiramente mais elevado (0,06%). Os valores de razão C/N não diferiram entre as áreas.

(A)



(B)

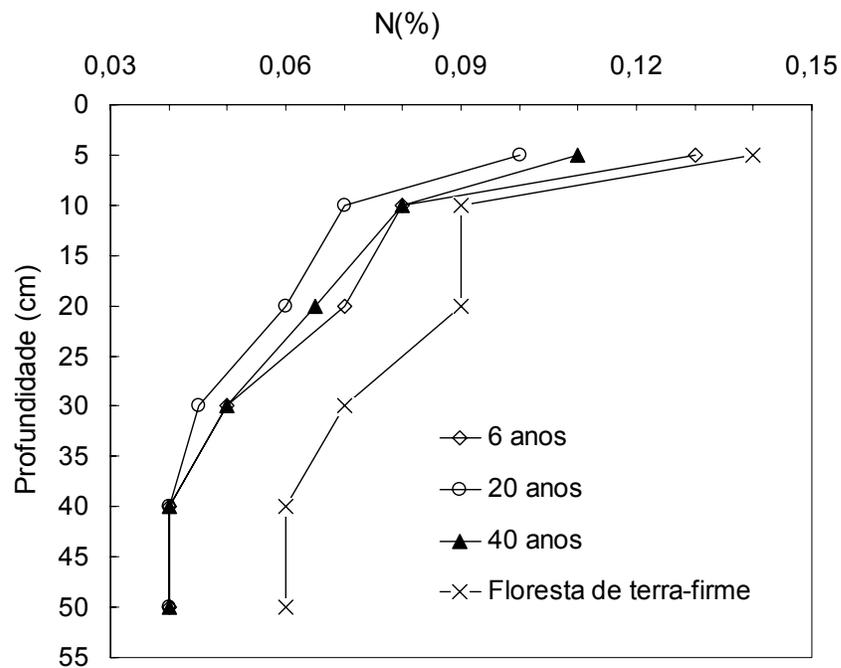


Figura 2 - Variações em $\delta^{15}\text{N}$ (A) e concentração total de N (B) em perfis de solo (0-50cm de profundidade) das áreas investigadas

2.3.2 Composição isotópica de plantas leguminosas e não-leguminosas

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar na cronossequência de florestas secundárias estudadas e floresta de terra-firme variaram entre -4,1 e 4,6‰. Analisando-se os resultados separando-se os grupos leguminosas e não-leguminosas, verificou-se que os valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ em folhas de leguminosas foram mais elevados que em folhas de não-leguminosas na floresta secundária de 6 anos e na floresta de terra-firme ($p < 0,05$). Na área de 20 anos o valor médio de $\delta^{15}\text{N}$ foi menor em espécies de leguminosas comparados as não-leguminosas ($p < 0,05$). A floresta secundária de 40 anos não apresentou diferença significativa entre estes dois grupos. (Figura 3).

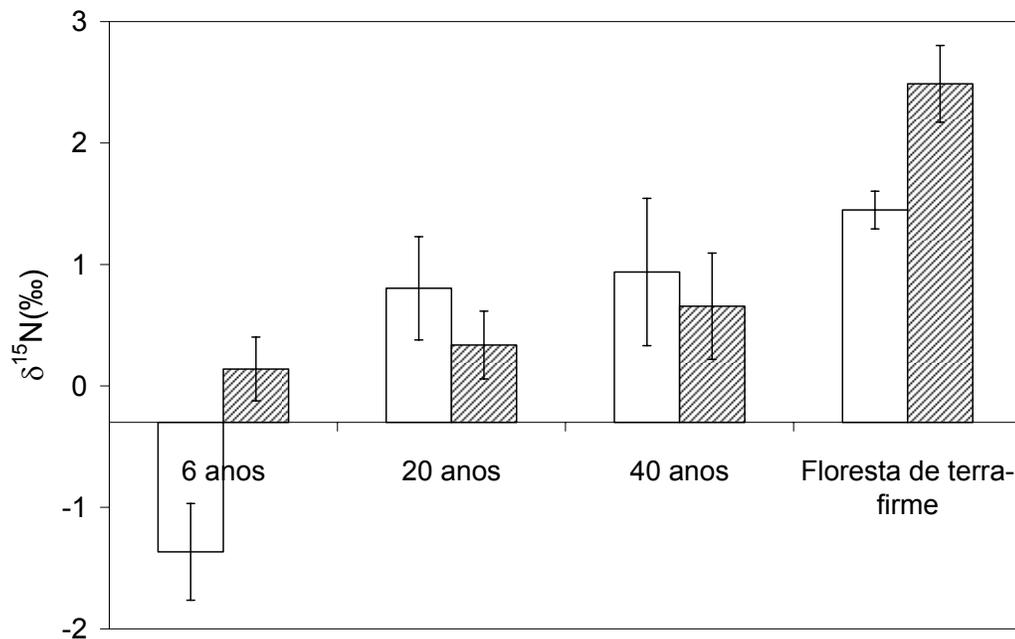


Figura 3 - Valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar (‰) (média \pm erro padrão) de plantas leguminosas (em rajado) e não-leguminosas (em branco) coletadas nas áreas investigadas

Foi observado um aumento nos valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ com a idade das florestas (Figura 4). Os valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ foliar na floresta de terra-firme foram significativamente maiores comparados às florestas secundárias de 6 e 20 anos ($p < 0,05$) e 40 anos ($p < 0,10$). As florestas secundárias de 20 e 40 anos não apresentaram

diferença significativa entre si, porém ambas tiveram valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ maiores que a floresta secundária de 6 anos ($p < 0,05$).

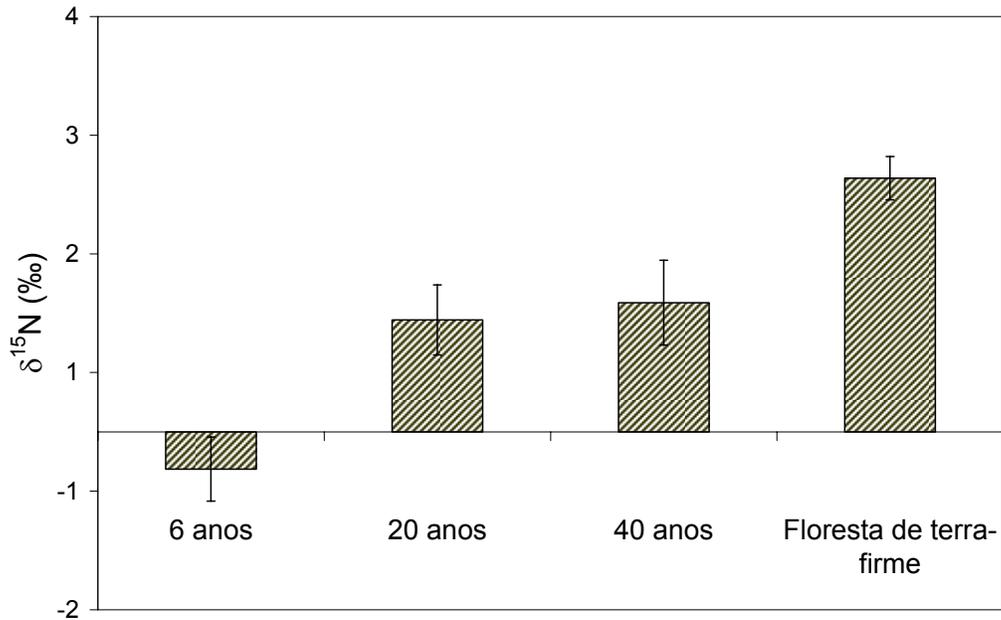


Figura 4 - Valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar (‰) (média \pm erro padrão) incluindo plantas leguminosas e não-leguminosas coletadas nas áreas investigadas

2.3.3 Composição nutricional de plantas leguminosas e não-leguminosas

A concentração de N foliar na cronossequência de florestas investigadas, variou de 1,1 a 4,2% . Em todas as áreas, as espécies de leguminosas apresentaram concentrações de N foliar significativamente maiores que as de não-leguminosas ($p < 0,05$) (Figura 5).

A concentração foliar de N na cronossequência de florestas secundárias e floresta de terra-firme apresentou também um aumento acompanhando a idade da vegetação. Incluindo leguminosas e não-leguminosas na análise, verificou-se que a concentração média de N foliar da floresta de terra-firme foi significativamente mais elevada que a das florestas secundárias de 6 e 20 anos ($p < 0,05$), porém não diferiu da floresta de 40 anos. (Figura 5).

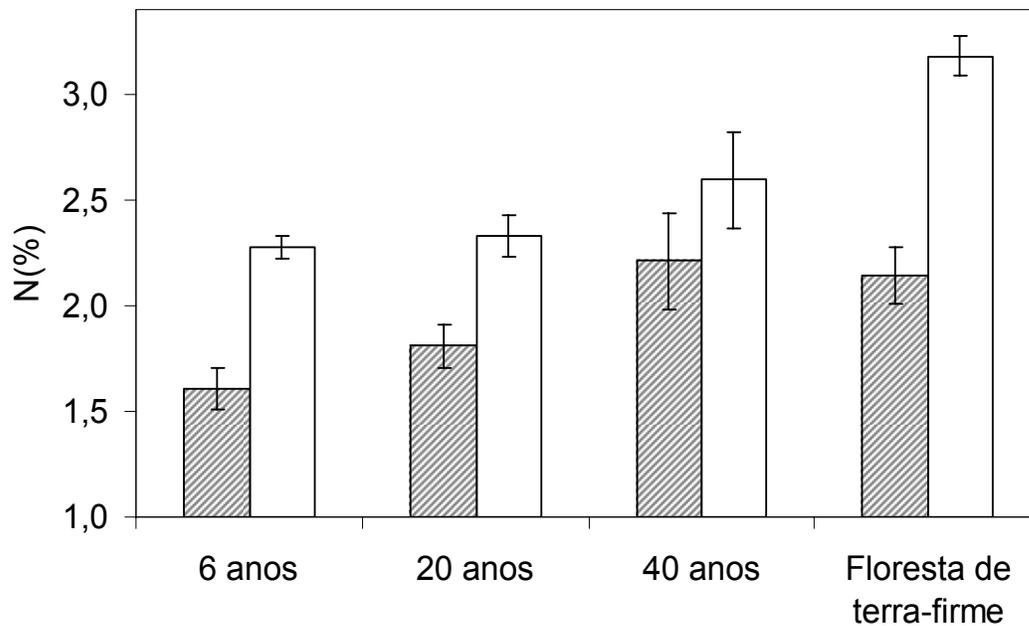


Figura 5 - Valores de concentração de N total (%) (média \pm erro padrão) de plantas leguminosas (em rajado) e não-leguminosas (em branco) das áreas investigadas

Um padrão inverso, ou seja, uma diminuição significativa ($p < 0,05$) acompanhando a idade da vegetação, foi encontrada para a razão C/N foliar. Os valores obtidos na floresta de terra-firme ficaram, em sua maioria, entre 14,4 e 22,5 e foram menores que nas florestas secundárias de 6 e 20 anos ($p < 0,05$) (Figura 6).

A razão C/N em espécies de leguminosas foi menor que em espécies não-leguminosas em todas as áreas ($p < 0,05$) (Figura 6).

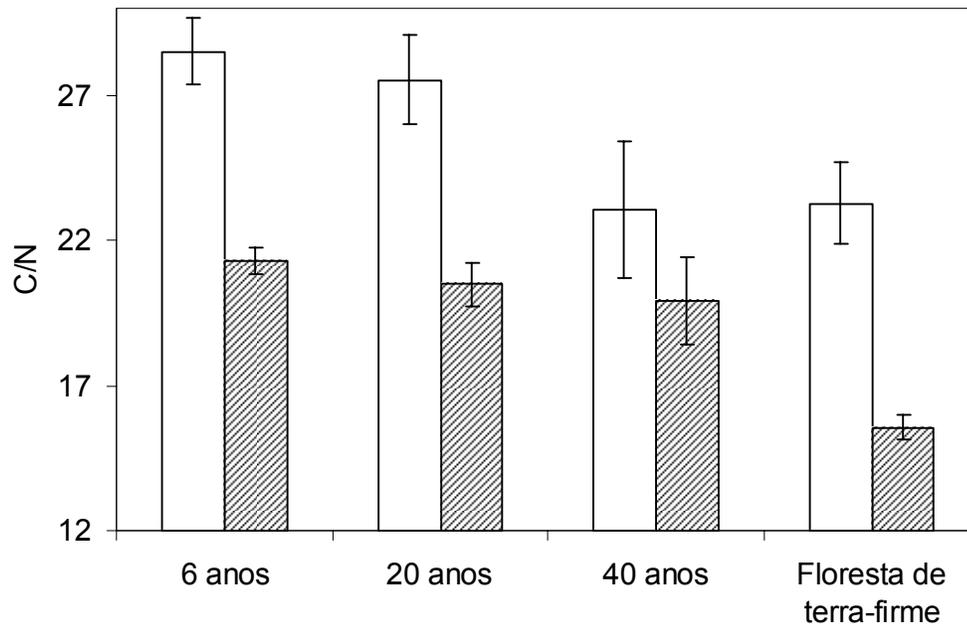


Figura 6 - Valores de razão C/N foliar (média \pm erro padrão) de plantas leguminosas (em rajado) e não-leguminosas (em branco) das áreas investigadas

As razões C/P e N/P foram similares entre as quatro áreas, bem como entre leguminosas e não leguminosas. Os conteúdos foliares de Ca e P também não apresentaram diferença significativa entre as idades de floresta. (Tabela 2).

Tabela 2 - Concentração foliar de P e Ca (média e erro padrão), razão N/P e C/P para leguminosas (L) e não-leguminosas (NL) nas áreas estudadas. Letras diferentes na mesma linha representam diferença significativa entre Leguminosas (L) e Não leguminosas (NL) ($p < 0,05$)

	6 Anos		20 Anos		40 Anos		Floresta de terra-firme	
	L	NL	L	NL	L	NL	L	NL
Ca (g kg^{-1})	10,5 ^a ($\pm 3,0$)	15,7 ^a ($\pm 10,7$)	9,4 ^a ($\pm 3,2$)	11,7 ^a ($\pm 6,7$)	7,0 ^a ($\pm 3,9$)	7,6 ^a ($\pm 6,4$)	7,0 ^a ($\pm 2,6$)	10,6 ^a ($\pm 5,4$)
P (g kg^{-1})	0,71 ^a ($\pm 0,1$)	0,60 ^a ($\pm 0,1$)	0,61 ^a ($\pm 0,1$)	0,77 ^a ($\pm 0,1$)	0,83 ^a ($\pm 0,1$)	0,64 ^a ($\pm 0,2$)	0,80 ^a ($\pm 0,1$)	0,79 ^a ($\pm 0,1$)
N/P	35,1 ^a	27,7 ^a	37,3 ^a	24,2 ^b	28,9 ^a	35,8 ^a	41,4 ^a	30,3 ^a
C/P	727 ^a	808 ^a	790 ^a	687 ^a	602 ^a	950 ^a	670 ^a	687 ^a

2.3.4 Composição isotópica e nutricional da serapilheira

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ da serapilheira da floresta de terra-firme foram mais elevados que o das florestas secundárias de 6 e 40 anos ($p < 0,05$), mas não diferiram dos da floresta de 20 anos (Tabela 3).

Não foram encontradas diferenças significativas na concentração de N e razão C/N da serapilheira entre as áreas (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores (média \pm EP) de $\delta^{15}\text{N}$, concentração de N e razão C/N para serapilheira coletada nas áreas de estudo

	6 Anos	20 Anos	40 Anos	Floresta de terra-firme
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	-1,6 ($\pm 0,3$)	-0,2 ($\pm 0,7$)	-0,3 ($\pm 0,2$)	1,7 ($\pm 0,2$)
N (%)	1,4 ($\pm 0,1$)	1,3 ($\pm 0,1$)	1,5 ($\pm 0,1$)	1,5 ($\pm 0,1$)
C/N	32,2 ($\pm 2,6$)	32,9 ($\pm 2,2$)	31,3 ($\pm 1,8$)	33,6 ($\pm 0,9$)

2.3.5 Relação do $\delta^{15}\text{N}$ foliar e concentrações foliares de N, P e razão C/N foliar

Incluindo tanto as leguminosas como as não-leguminosas na análise, foram encontradas correlações positivas significativas entre a concentração N foliar e o $\delta^{15}\text{N}$ foliar, entre a concentração de P foliar e o $\delta^{15}\text{N}$ foliar e entre as concentrações foliares de N e P (Figura 7A, 7B e 7C, respectivamente). Entre a razão C/N foliar e o $\delta^{15}\text{N}$ foi encontrada uma correlação negativa e significativa (Figura 7D).

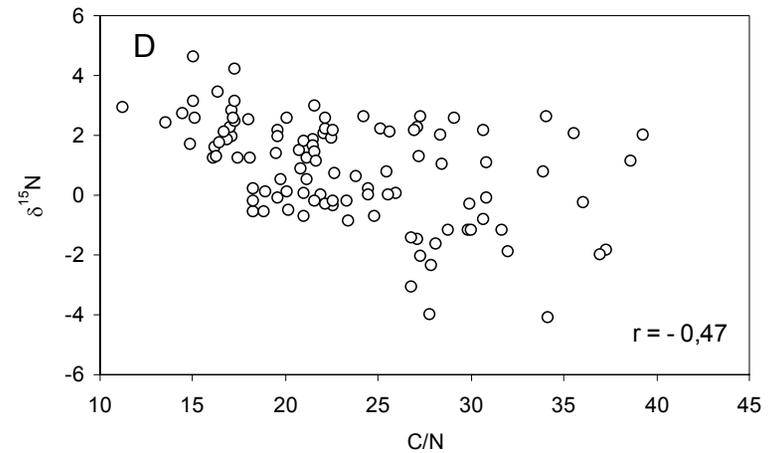
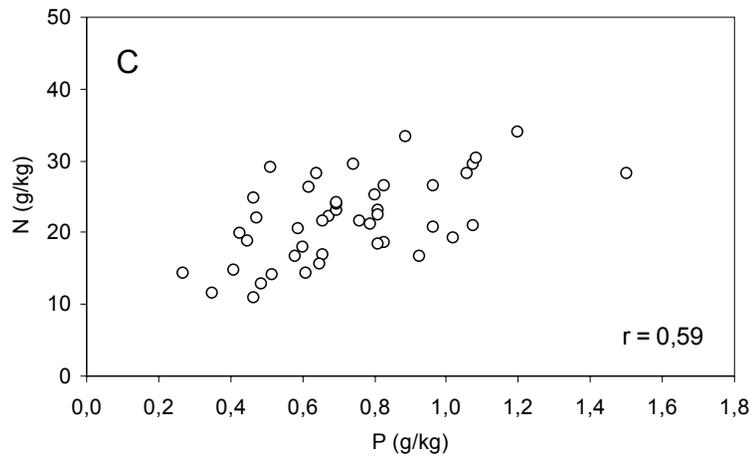
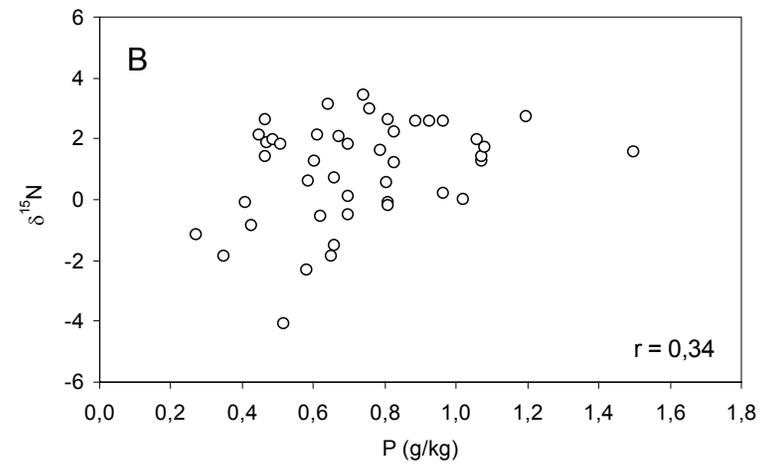
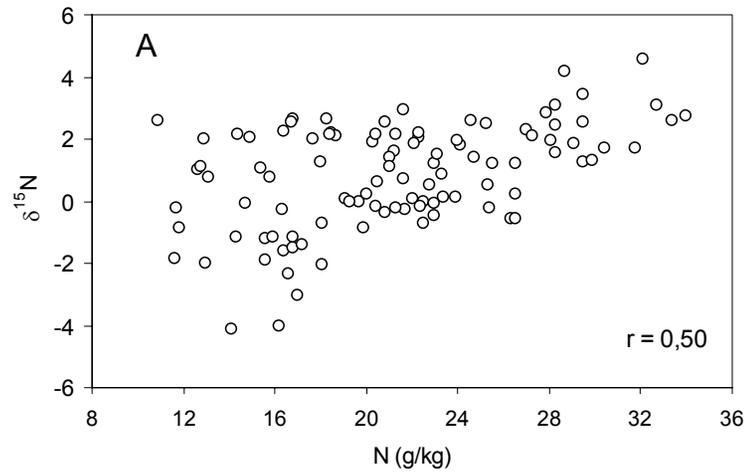


Figura 7 - Relação entre a concentração de N foliar e $\delta^{15}\text{N}$ foliar (A), concentração de P foliar e $\delta^{15}\text{N}$ foliar (B), concentrações de N e P foliares (C) e entre razão C/N foliar e $\delta^{15}\text{N}$ foliar (D)

2.4 Discussão

2.4.1 Ciclagem de N nos estágios iniciais da cronosequência de florestas secundárias

De um modo geral, as fontes mais comuns de N para as plantas são fornecidas pela mineralização da matéria orgânica, entrada no sistema via deposição seca e úmida e a fixação biológica de N (FBN). Na Amazônia, por exemplo, a deposição úmida de N varia entre 2 a 6 kgN.ha⁻¹.ano⁻¹, dependendo do local e da existência de extensivas queimadas na região (Luciene Lara, com. pessoal). Por outro lado, a FBN em florestas tropicais pode ser da ordem de 20 a 30 kgN.ha⁻¹.ano⁻¹ (CLEVELAND et al., 1999).

Em florestas primárias da Amazônia, no entanto, a fixação simbiótica de nitrogênio somente parece ter importância em condições restritas e com alguma limitação como por exemplo em florestas assentadas sobre solos muito pobres e arenosos, como os espodossolos (ROGGY et al., 1999; NARDOTO, 2005) e em área de floresta de terra-firme em baixios que estão constantemente sujeitos à inundações periódicas (NARDOTO, 2005).

No presente estudo, foi observado que os valores de $\delta^{15}\text{N}$ das leguminosas ao longo da cronosequência investigada, foram menores e próximos de 0‰ nas florestas secundárias mais jovens (6 anos), sugerindo uma possível ocorrência de fixação biológica nestas florestas. As diferenças significativas encontradas entre o $\delta^{15}\text{N}$ de espécies leguminosas e não-leguminosas (não-fixadoras de N) nos primeiros estágios da cronosequência investigada (floresta secundária de 6 anos), sugerem a fixação biológica de nitrogênio por algumas espécies de leguminosas como uma via alternativa de aquisição de nitrogênio diante da limitação de N no sistema (BUSTAMANTE et al., 2004). Apesar de não haver estimativas sobre fixação biológica de nitrogênio para florestas secundárias na Amazônia, Gehring et al. (2005) mostraram através de valores de $\delta^{15}\text{N}$, que leguminosas estabelecidas em florestas secundárias na Amazônia Central, em áreas com uso antecedente por agricultura de corte e queima, estavam ativamente fixando N₂ atmosférico.

A restrição na ciclagem de N nos primeiros estágios da cronossequência é indicada pelas menores concentrações de N foliar, maiores razões C/N e os baixos valores de $\delta^{15}\text{N}$ na vegetação e serapilheira encontrados neste estudo, e isto é corroborado pelas menores emissões de gases nitrogenados nas florestas jovens (3 a 10 anos) verificadas em estudos realizados na mesma área (Tabela 4). A ocorrência de uma ciclagem mais fechada de N nestes estágios pode estar ocorrendo pelo consumo mais rápido de N pela vegetação em desenvolvimento e a pela tentativa de evitar as perdas gasosas, ou seja, pode estar ocorrendo uma restrição da nitrificação e um consumo de todo o N disponível na área pela vegetação, proporcionando menores processos de fracionamento isotópico o que resultaria nos baixos valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar (HOGBERG, 1997).

Outros estudos têm demonstrado um aumento na taxa de crescimento de árvores em florestas secundárias jovens do leste da Amazônia após adição de nitrogênio (GEHRING et al., 1999; DAVIDSON et al., 2004), o que também confirma o fato de as florestas secundárias jovens terem uma considerável limitação por nitrogênio.

Tabela 4 - Processos e fluxos de nitrogênio para florestas secundárias e floresta de terra-firme na região Bragantina estado do Pará¹

Área de estudo	Mineralização líquida	Nitrificação	N-NH ₄	N-NO ₃	NO _x	N ₂ O
	μg g ⁻¹ d ⁻¹		μg g ⁻¹		ng n cm ⁻² h ⁻¹	
Jovem*	0,39 ^a	0,27 ^a	8,93 ^a	3,22 ^a	0,371 ^a	0,098 ^a
	0,61 ^b	0,85 ^b	8,87 ^b	5,81 ^b	0,298 ^b	0,159 ^b
Intermediária*	1,71 ^a	1,38 ^a	9,99 ^a	6,47 ^a	0,448 ^a	0,238 ^a
	0,40 ^b	0,55 ^b	12,85 ^b	6,94 ^b	0,141 ^b	0,544 ^b
Avançada*	1,47 ^a	1,42 ^a	7,71 ^a	4,61 ^a	0,473 ^a	0,357 ^a
	0,67 ^b	0,84 ^b	8,71 ^b	12,24 ^b	0,614 ^b	0,558 ^b
Floresta de terra-firme	1,37 ^a	1,07 ^a	10,22 ^a	10,49 ^a	0,652 ^a	0,427 ^a
	1,04 ^b	1,62 ^b	5,17 ^b	17,88 ^b	0,821 ^b	1,492 ^b

* Florestas secundárias de diferentes idades agrupadas por categorias. Jovem: florestas secundárias de 3, 6 e 10 anos; Intermediária: 20 anos; Avançada: 40 e 70 anos

^a estação seca – Novembro de 2002

^b estação chuvosa – Maio de 2003

¹ Fonte: Eric A. Davidson (comunicação pessoal, Projeto Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA) Número ND-02 (EUA/BR))

Nos primeiros estágios da sucessão investigada (6 anos), espécies de leguminosas com capacidade de nodulação comprovada, como *Abarema jupumba* e *Inga thibaudiana* apresentaram valores de $\delta^{15}\text{N}$ próximos de 0 (Apêndice A), indicando que estas, diante da limitação de N no sistema, poderiam estar fixando nitrogênio da atmosfera, porém dado ao número reduzido de amostras de outros indivíduos destas espécies, é possível sugerir, mas não afirmar, se a fixação biológica de N de fato acontece, baseado somente nestes dados.

Não é possível prever portanto quando a fixação simbiótica de nitrogênio deixa de ser dominante ao longo de uma cronossequência, ou mesmo se seria quantitativamente importante em qualquer estágio da sucessão, mas acredita-se que isto provavelmente acontece quando o sistema acumula nitrogênio suficiente para deixar de ser significativamente limitado por este nutriente (VITOUSEK, 2004).

Outro aspecto interessante a ser considerado em florestas secundárias jovens deste estudo (6 anos), são os valores negativos de $\delta^{15}\text{N}$ foliar observados nas espécies de não-leguminosas. Estes valores negativos geralmente são típicos de sistemas limitados por N (MICHELSEN et al., 1996; NADELHOFFER et al., 1996). Em ambientes tropicais, valores negativos também foram verificados em espécies não-leguminosas crescendo em ambientes limitados em N como o cerrado (BUSTAMANTE et al., 2004; NARDOTO, 2005) e nas florestas de terra-firme no baixio, onde o solo é periodicamente inundado, assim como em área de campinarana (NARDOTO, 2005). Outras possíveis explicações para os baixos valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar encontrados nas espécies vegetais nos estágios iniciais, incluem uma possível associação com fungos micorrízicos, que geralmente acontecem em áreas sob forte limitação de N. Nepstad et al. (2001) por exemplo, ao escavar o solo até 8m de profundidade, encontraram raízes infectadas com fungos micorrízicos tanto em pastagens, florestas secundárias assim como em florestas nativas na Amazônia Oriental, sendo que as maiores taxas de infecção foram observadas nas florestas secundárias. Estas associações simbióticas entre plantas e fungos micorrízicos, podem ser importantes fonte de N, uma vez que são responsáveis por uma grande discriminação isotópica favorecendo a assimilação pelas plantas do isótopo de N mais leve (^{14}N) em detrimento ao mais pesado (^{15}N) (HOBBIE; MACKO; WILLIAMS, 2000).

2.4.2 Alterações na ciclagem de nitrogênio no decorrer da sucessão secundária

Vários indicadores da disponibilidade de nitrogênio num sistema, avaliados neste estudo, como concentração de N foliar e razões C/N foliar, tiveram um aumento significativo ao longo das diferentes fases sucessionais, indicando maiores restrições na ciclagem do N ocorrendo nos primeiros estágios da sucessão secundária, conforme discutido acima. Essa mesma tendência de restrição nos primeiros estágios e aparente aumento na disponibilidade de N no decorrer do desenvolvimento da vegetação também foi observada em estudos realizados na mesma área envolvendo outros parâmetros, onde verificou-se perdas reduzidas por emissões gasosas (N_2O e NO) nas florestas mais jovens (3 a 6 anos) e um aumento paulatino destas emissões, bem como nos processos de mineralização e nitrificação nas áreas ao longo da cronosequência (Tabela 4).

As mudanças significativas na ciclagem de nitrogênio, indicando uma progressiva abertura do ciclo ao longo da sucessão secundária investigada neste estudo, podem estar relacionadas a muitos processos ocorrendo simultaneamente nessas áreas. Primeiramente, como é esperado em um grupo de florestas em estágio crescente de regeneração, é verificado um gradual aumento na biomassa dessas florestas, variando de 52,8 Mg há⁻¹ nos estágios iniciais (6 anos) a 119,2 Mg há⁻¹ nos estágios mais avançados (40 anos) (ALMEIDA; VIEIRA, 2001; VIEIRA et al., 2003), este fato conseqüentemente promove um aumento na produção de serapilheira, bem como um aumento no estoque de nitrogênio da vegetação. Do mesmo modo, as folhas das florestas secundárias ao longo do tempo tornaram-se progressivamente enriquecidas em nitrogênio, sendo essa mudança acompanhada por um decréscimo na relação C/N das folhas, o que conseqüentemente promove ao longo do tempo uma produção de material vegetal de alta qualidade a ser transferido para a serapilheira e posteriormente reincorporado ao sistema.

Os resultados de $\delta^{15}N$ foliar, por sua vez, mostraram que este parâmetro foi integrador dos processos de ciclagem de N ocorrendo nas diferentes áreas.

Os baixos valores de $\delta^{15}\text{N}$ encontrados nos primeiros estágios e o aumento destes no decorrer da sucessão secundária, acompanhado do aumento dos fluxos de gases e taxas líquidas de mineralização e nitrificação (Tabela 4), sugere uma mudança de um sistema pobre em nitrogênio quando do estabelecimento da vegetação para um sistema mais enriquecido neste nutriente ao longo do tempo. Dessa forma, o que se observou ao longo da cronosequência investigada é que houve uma tendência de restabelecimento do ciclo de nitrogênio existente antes da perturbação.

O progressivo aumento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ das folhas observado neste estudo, tanto em árvores pertencentes à família das leguminosas como das não-leguminosas, ao longo da cronosequência (Figura 4), indica que, com o “amadurecimento” das florestas as perdas de nitrogênio aumentaram, provavelmente porque o suprimento desse nutriente passou a ser maior que a necessidade das plantas e da micro fauna do solo. Havendo mais nitrogênio disponível para ser nitrificado, as perdas gasosas aumentaram, deixando o substrato enriquecido em ^{15}N ao longo do tempo. O principal embasamento das relações entre disponibilidade de nitrogênio e sua composição isotópica advém do fato que perdas de nitrogênio por vários caminhos, preferencialmente, removem o isótopo mais leve ^{14}N , deixando o substrato enriquecido em átomos de ^{15}N (HOGBERG, 1997).

No entanto, apesar do aumento no $\delta^{15}\text{N}$ com a idade da floresta, estes ainda são valores baixos de $\delta^{15}\text{N}$, mesmo na área de floresta primária, quando comparado com outros estudos em florestas de terra-firme amazônica (NARDOTO, 2005; OMETTO et al., 2006). Estes baixos valores de $\delta^{15}\text{N}$ encontrados na floresta primária podem estar associados também a textura arenosa dos solos encontradas nesta região (Tabela 2). Os solos arenosos também exibem por sua vez uma ciclagem de N mais fechada (com menos perdas), são menos férteis e mais drenados, o que resultaria em uma menor denitrificação devido ao solo não estar tão úmido por períodos de tempo acentuados. Conforme os dados obtidos em investigações nesta área (Tabela 4), as emissões de N_2O na floresta primária são mais baixas que as encontradas em outras florestas da Amazônia (KELLER et al., 2005) e talvez prováveis perdas por lixiviação (já que a precipitação é alta na região, favorecendo esse processo), também sejam mais baixas, o que promoveria nesse caso uma menor perda em ^{14}N e conseqüentemente menor

enriquecimento em ^{15}N , justificando os menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ tanto nas folhas e serapilheira como nas camadas superficiais do solo quando comparados à florestas em solos com textura predominantemente argilosa (NARDOTO, 2005; OMETTO et al., 2006). A média dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ para as espécies não-leguminosas de floresta primária encontrada neste estudo ($1,8 \pm 0,6 \text{ ‰}$) é similar a encontrada por Roggy et al. (1999) na Guiana Francesa em solos arenosos.

Em termos de ciclagem de N em uma abordagem geral, a partir do momento em que o sistema deixa de ser limitado há também uma provável transição de uma ciclagem fechada, onde os aportes de N são maiores que as perdas e o sistema tenta ativamente evitar perdas de N, para uma ciclagem aberta de nitrogênio, onde há N suficiente para atingir as demandas das plantas, promovendo maiores perdas pois não há uma grande necessidade de retenção deste nutriente no sistema.

Assim, o que se observou ao longo da cronossequência investigada é que houve uma tendência de restabelecimento do ciclo de nitrogênio existente antes da perturbação. Este restabelecimento incluiria um enriquecimento progressivo do conteúdo de N no sistema, seguido de um aumento na transferência entre planta e solo e nas perdas por emissões de gases, também verificadas nos estudos complementares na área (Tabela 4).

2.5 Conclusões

De um modo geral, os resultados observados indicam que as florestas secundárias tornam-se mais ricas em nitrogênio à medida que o sistema recupera-se da perturbação a que foi submetido, sugerindo uma mudança na ciclagem de N, de mais fechada nos primeiros estágios da sucessão, a mais aberta à medida que esta se aproxima da fisionomia original.

Com base nestes resultados pode-se afirmar que, apesar da expressiva perturbação no sistema florestal, aqui representada pelo fogo e pelo uso intensivo do solo pela agricultura, o sistema tende a retornar ao estado original. Entretanto, é necessário ressaltar que isto foi verificado somente em relação à ciclagem do nitrogênio, que em termos de sucessão florestal é deveras importante, mas é apenas um dos fatores. As perdas de biodiversidade, por sua vez, são imensuráveis e provavelmente irrecuperáveis a curto e médio prazo (Vieira et al. 2006).

Outro aspecto relevante a se considerar a partir deste estudo é que, mesmo em termos de ciclo de nitrogênio, o processo de recuperação é um processo lento e que ocorre em longo prazo. Nas florestas mais antigas investigadas, por exemplo, apesar do evidente enriquecimento em nitrogênio em relação às florestas mais jovens, as quantidades de nitrogênio observadas em circulação no sistema chegam apenas à cerca de metade das encontradas na floresta primária.

Ao analisar-se esta capacidade de recuperação em longo prazo e relacioná-la à velocidade atual de ocupação da Amazônia, chega-se a um quadro preocupante, onde a busca intensificada por áreas produtivas gera um descompasso entre o uso e a reabilitação dos sistemas, o que leva a acreditar que caminha-se cada vez mais em direção a um estágio de desequilíbrio irreversível.

Referências

AIDAR, M. P. M.; SCHMIDT, S.; MOSS, G.; STEWART, G. R.; JOLY, C. A. Nitrogen use strategies of neotropical rainforest trees in threatened Atlantic Forest. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v.26, n.3, p.389-399, Mar 2003.

ALLEN, O. N.; ALLEN, E. K. **The leguminosae: A source book of characteristics, uses, and nodulation**. Madison: The University of Wisconsin, 1981. v.1. 811 p.

ALMEIDA, A. S. **Dinâmica da paisagem e ecologia de florestas primárias remanescentes e sucessionais do município de São Francisco do Pará**. 2000. 67p. Tese (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 2000.

ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Padrões florísticos e estruturais de uma cronossequência de florestas no município de São Francisco do Pará, região Bragantina, Pará. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, Botânica**, Belém, v.17, p.209-240, 2001.

AMUNDSON, R.; AUSTIN, A. T.; SCHUUR, E. A. G.; YOO, K.; MATZEK, V.; KENDALL, C.; UEBERSAX, A.; BRENNER, D.; BAISDEN, W. T. Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.17, n.1, p.1031-1042, Mar 2003.

AUSTIN, A. T.; VITOUSEK, P. M. Nutrient dynamics on a precipitation gradient in Hawai'i. **Oecologia**, New York, v.113, n.4, p.519-529, Feb 1998.

BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P. B.; KLINK, C. A.; DOMINGUES, T. F.; SANTOS, R. V. ¹⁵N natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian savannas (cerrado). **Ecological Applications**, Washington, v.14, n.4, p.S200-S213, Aug 2004.

CURTIS, J. T.; MCINTOSH, R. P. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. **Ecology**, Washington, v.32, n.3, p.476-496, 1951.

DAVIDSON, E. A.; DE CARVALHO, C. J. R.; VIEIRA, I. C. G.; FIGUEIREDO, R. D.; MOUTINHO, P.; ISHIDA, F. Y.; DOS SANTOS, M. T. P.; GUERRERO, J. B.; KALIF, K.; SABA, R. T. Nitrogen and phosphorus limitation of biomass growth in a tropical secondary forest. **Ecological Applications**, Washington, v.14, n.4, p.S150-S163, Aug 2004.

DE FARIA, S. M.; DE LIMA, H. C. Additional studies of the nodulation status of legume species in Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.200, n.2, p.185-192, Mar 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA. 1999. 370 p.

GARCIA-MONTIEL, D. C.; STEUDLER, P. A.; PICCOLO, M. C.; MELILLO, J. M.; NEILL, C.; CERRI, C. C. Controls on soil nitrogen oxide emissions from forest and pastures in the Brazilian Amazon. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.15, n.4, p.1021-1030, Dec 2001.

GARTEN, C. T. Variation in foliar ^{15}N abundance and the availability of soil nitrogen on Walker Branch Watershed. **Ecology**, Washington, v.74, n.7, p.2098-2113, Oct 1993.

GEHRING, C.; DENICH, M.; KANASHIRO, M.; VLEK, P. L. G. Response of secondary vegetation in Eastern Amazonia to relaxed nutrient availability constraints. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.45, n.3, p.223-241, Jun 1999.

GEHRING, C.; VLEK, P. L. G.; DE SOUZA, L. A. G.; DENICH, M. Biological nitrogen fixation in secondary regrowth and mature rainforest of central Amazonia. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.111, n.1/4, p.237-252, Dec 1 2005.

GUEHL, J. M.; DOMENACH, A. M.; BEREAU, M.; BARIGAH, T. S.; CASABIANCA, H.; FERHI, A.; GARBAYE, J. Functional diversity in an Amazonian rainforest of French Guyana: a dual isotope approach ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$). **Oecologia**, New York, v.116, n.3, p.316-330, Sep 1998.

HANDLEY, L. L.; RAVEN, J. A. The use of natural abundance of nitrogen isotopes in plant physiology and ecology. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v.15, n.9, p.965-985, Dec 1992.

HOBBIE, E. A.; MACKO, S. A.; WILLIAMS, M. Correlations between foliar $\delta^{15}\text{N}$ and nitrogen concentrations may indicate plant-mycorrhizal interactions. **Oecologia**, New York, v.122, n.2, p.273-283, Feb 2000.

HOGBERG, P. Forests losing large quantities of nitrogen have elevated $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios. **Oecologia**, New York, v.84, n.2, p.229-231, 1990.

HOGBERG, P. Tansley review N^o 95. ^{15}N natural abundance in soil-plant systems. **New Phytologist**, New York, v.137, n.2, p.179-203, Oct 1997.

HOGBERG, P.; JOHANNISSON, C. ^{15}N abundance of forests is correlated with losses of nitrogen. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.157, n.1, p.147-150, Nov 1993.

HOLSCHER, D.; SA, T. D. A.; BASTOS, T. X.; DENICH, M. Evaporation from young secondary vegetation in eastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.193, n.1/4, p.293-305, Jun 1997.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; NOBRE, C. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T.; CHOMENTOWSKI, W. H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, London, v.403, n.6767, p.301-304, Jan 20 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2000** - Resultados do universo. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/tabelagrandes_regioes211.shtm>. Acesso em: 23 de maio 2005

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO-SOCIAL DO PARÁ. **Síntese dos Municípios**: Setor de coleta e tratamento de dados (Município de São Francisco do Pará). Belém: IDESP. 1995. 52 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **PRODES Digital - 2004**. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/mostratema.php?&temas=pdigital2004>>. Acesso em: 22 de maio 2005

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 Crops Research**, v.62, n.2/3, p.225-237, Jun 25 1999.

KELLER, M.; VARNER, R.; DIAS, J.; SILVA, H. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, methane, and carbon dioxide in logged and undisturbed forest in the Tapajós National Forest, Brazil. **Earth Interactions**, Wisconsin, v.9, n.23, p.1-28, 2005.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional da plantas**: Princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. v.1. 319 p.

MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. C.; TOWNSEND, A. R.; VITOUSEK, P. M.; CUEVAS, E.; MCDOWELL, W.; ROBERTSON, G. P.; SANTOS, O. C.; TRESEDER, K. Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil: Tropical versus temperate forests. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.46, n.1/3, p.45-65, Jul 1999.

MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; FEIGL, B. J.; NEILL, C.; GARCIA, D.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C.; TIAN, H. Nitrous oxide emissions from forests and pastures of various ages in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, Washington, v.106, n.D24, p.34179-34188, Dec 27 2001.

MICHELSSEN, A.; SCHMIDT, I. K.; JONASSON, S.; QUARMBY, C.; SLEEP, D. Leaf ¹⁵N abundance of subarctic plants provides field evidence that ericoid, ectomycorrhizal and non-arbuscular mycorrhizal species access different sources of soil nitrogen. **Oecologia**, New York, v.105, n.1, p.53-63, Jan 1996.

MOREIRA, F. M. D.; DA SILVA, M. F.; DE FARIA, S. M. Occurrence of nodulation in legume species in the Amazon region of Brazil. **New Phytologist**, v.121, n.4, p.563-570, Aug 1992.

NADELHOFFER, K.; SHAVER, G.; FRY, B.; GIBLIN, A.; JOHNSON, L.; MCKANE, R. ¹⁵N natural abundances and N use by tundra plants. **Oecologia**, New York, v.107, n.3, p.386-394, Aug 1996.

NARDOTO, G. B. **Abundância natural de ^{15}N na Amazônia e Cerrado – implicações para a ciclagem de nitrogênio**. 2005. 100p. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NEILL, C.; PICCOLO, M. C.; MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C. Nitrogen dynamics in Amazon forest and pasture soils measured by ^{15}N pool dilution. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.31, n.4, p.567-572, Apr 1999.

NEILL, C.; PICCOLO, M. C.; STEUDLER, P. A.; MELILLO, J. M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Nitrogen dynamics in soils of forests and active pastures in the western Brazilian Amazon Basin. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.27, n.9, p.1167-1175, Sep 1995.

NEILL, C.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C.; STEUDLER, P. A.; MELILLO, J. M.; BRITO, M. Net nitrogen mineralization and net nitrification rates in soils following deforestation for pasture across the southwestern Brazilian Amazon Basin landscape. **Oecologia**, New York, v.110, n.2, p.243-252, Apr 1997.

NEPSTAD, D. C.; MOUTINHO, P.; MARKEWITZ, D. The recovery of biomass, nutrient stocks, and deep soil functions in secondary forests. In: MCCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. (Ed.). **The biogeochemistry of the Amazon basin**. New York: Oxford University Press, 2001. v. 1. chap. 9. p.139-155.

OMETTO, J. P. H. B.; EHLERINGER, J. R.; DOMINGUES, T. F.; BERRY, J. A.; ISHIDA, F. Y.; MAZZI, E.; HIGUCHI, N.; FLANAGAN, L. B.; NARDOTO, G. B.; MARTINELLI, L. A. The stable carbon and nitrogen isotopic composition of vegetation in tropical forests of the Amazon Basin, Brazil. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.79, n.1/2, p.251 - 274, Apr 2006.

PICCOLO, M. C.; NEILL, C.; CERRI, C. C. Net nitrogen mineralization and net nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.162, n.1, p.61-70, May 1994.

RAISON, R.; KHANNA, P.; WOODS, P. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. **Canadian Journal of Forest Research**, Montreal, v.15, n.11, p.132-140, 1985.

ROGGY, J. C.; PREVOST, M. F.; GARBAYE, J.; DOMENACH, A. M. Nitrogen cycling in the tropical rain forest of French Guiana: Comparison of two sites with contrasting soil types using $\delta^{15}\text{N}$. **Journal of Tropical Ecology**, New York, v.15, p.1-22, Jan 1999.

SALIMON, C. I.; BROWN, I. F. Secondary forests in western Amazonia: Significant sinks for carbon released from deforestation? **Interciencia**, Caracas, v.25, n.4, p.198-202, Jul 2000.

SCHULZE, E. D.; CHAPIN, F. S.; GEBAUER, G. Nitrogen nutrition and isotope differences among life forms at the northern Treeline of Alaska. **Oecologia**, New York, v.100, n.4, p.406-412, Dec 1994.

SPRENT, J. I.; GEOGHEGAN, I. E.; WHITTY, P. W.; JAMES, E. K. Natural abundance of ^{15}N and ^{13}C in nodulated legumes and other plants in the cerrado and neighbouring regions of Brazil. **Oecologia**, New York, v.105, n.4, p.440-446, Mar 1996.

VERCHOT, L. V.; DAVIDSON, E. A.; CATTANIO, J. H.; ACKERMAN, I. L.; ERICKSON, H. E.; KELLER, M. Land use change and biogeochemical controls of nitrogen oxide emissions from soils in eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.13, n.1, p.31-46, Mar 1999.

VIEIRA, I. C. G.; SALOMÃO, R. D. P.; ROSA, N.; NEPSTAD, D. C.; ROMA, J. Renascimento da floresta no rastro da agricultura. **Ciência Hoje**, São Paulo, v.20, p.38-45, 1996.

VIEIRA, I. C. G.; DE ALMEIDA, A. S.; DAVIDSON, E. A.; STONE, T. A.; DE CARVALHO, C. J. R.; GUERRERO, J. B. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.87, n.4, p.470-481, Nov 2003.

VITOUSEK, P. M. Patterns and processes in long-term ecosystem development. In: (Ed.). **Nutrient cycling and limitation: Hawai' i as model system**. Princeton: Princeton University Press, 2004. v. 1. chap. 4. p.42-69.

VITOUSEK, P. M.; DENSLOW, J. S. Nitrogen and phosphorus availability in treefall gaps of a lowland tropical rainforest. **Journal of Ecology**, Oxford, v.74, n.4, p.1167-1178, Dec 1986.

3 ALTERAÇÕES NO CICLO DE NITROGÊNIO EM CLAREIRAS DE DIFERENTES IDADES FORMADAS PELA EXPLORAÇÃO SELETIVA DE MADEIRA NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS, PARÁ, BRASIL

Resumo

A abertura de clareiras é um dos efeitos mais relevantes da exploração seletiva de madeira, pois em termos de área, é considerada uma das maiores perturbações resultantes deste método ao ecossistema florestal. A ciclagem de nutrientes em ambientes alterados, em especial a ciclagem de nitrogênio, pode influenciar os processos sucessionais, o que conseqüentemente pode comprometer a sustentabilidade do sistema florestal a médio e longo prazo. A dinâmica de nitrogênio foi investigada em uma floresta de terra-firme não perturbada e em clareiras, em diferentes estágios de regeneração (1, 3 e 5 anos de formação), provenientes da exploração seletiva de madeira na Floresta Nacional do Tapajós, Estado do Pará. Foram avaliados as taxas de mineralização e nitrificação líquida de N, a abundância natural de ^{15}N e concentração de N em solo, serapilheira e plantas encontradas nestas áreas. Todas as áreas apresentaram um aumento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ do solo em profundidade. As taxas de mineralização e nitrificação variaram entre 1,7 e 3,4 $\mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ e entre 1,7 e 3,8 $\mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$, respectivamente, sendo menores nas clareiras de 1 ano, porém não diferindo dentre as demais clareiras e entre estas e a floresta de terra-firme. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar variaram entre 3 e 10‰, e não foram encontradas diferenças significativas entre as áreas, bem como entre leguminosas e não leguminosas dentro de uma mesma área. As concentrações de N foliar foram maiores em espécies de leguminosas e a razão C/N foi mais elevada em espécies de não leguminosas em todas as áreas amostradas, porém estes parâmetros não diferiram entre as áreas. Os resultados obtidos indicam a ocorrência de uma ciclagem aberta de N nesta região, sugerindo assim que impactos como a abertura de clareiras em florestas originalmente ricas em N, não seriam de intensidade suficiente para alterar significativamente a ciclagem de N nestas áreas.

Palavras-chave: Amazônia; exploração seletiva de madeira; clareira; isótopos estáveis; nitrogênio

Changes in the nitrogen cycle in forest gaps created by selective logging in Tapajos National Forest, State of Para, Brazil

Abstract

Canopy openness is one of the most important effects of selective logging, as well as one of the greatest disturbances to the forest ecosystem in terms of area. The nutrient cycling in disturbed ecosystems, especially the nitrogen cycling, may affect the successional processes, which in turn, affect forest sustainability in the medium to long term. In order to understand the effects of forest canopy openness in the nitrogen cycle, we measured the $\delta^{15}\text{N}$, C and N contents in soil, litter, and vegetation and net N mineralization and nitrification rates in an undisturbed forest and along gaps in different stages of development (1, 3, and 5 year-old), located in the Tapajos National Forest, within the state of Para. All sites showed an increase in $\delta^{15}\text{N}$ values of soil, correlating with depth, in the first 50 cm. Mineralization and nitrification rates ranged from 1.7 to 3.4 $\mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ and from 1.7 to 3.8 $\mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$, respectively. The one-years gaps were the only age group significantly different, having lower rates than both the other age groups and the undisturbed forest. The foliar $\delta^{15}\text{N}$ values varied from 3 to 10‰; we did not find significantly differences among the sites, neither between legume and non-legume groups that belong to a common area. Foliar N contents were greater in legume than in non-legume species and C/N ratio was higher in the non-legumes in all areas, nevertheless, these parameters did not differ among the areas. These results indicate an open nitrogen cycle occurring in these areas, suggesting that disturbances, such as gap formation, in forests originally enriched in nitrogen are not strong enough to alter significantly the nitrogen cycling in these areas.

Key-words: Amazon; selective logging; forest gaps; stable isotopes; nitrogen

3.1 Introdução

A intensificação da busca por métodos alternativos de exploração madeireira que amenizem os danos causados à floresta vêm conferindo a “exploração seletiva de madeira” um papel de destaque na Amazônia nas últimas décadas (PINARD et al., 1995).

Apesar de não serem ainda profundamente conhecidos, os efeitos da exploração seletiva de madeira sobre a floresta podem ser considerados principalmente sob três aspectos: a abertura de clareiras; os danos causados às árvores remanescentes e plântulas do sub-bosque; e a exportação de biomassa e nutrientes.

Visto que poucas árvores são retiradas por hectare, as alterações na estrutura física da floresta, o aumento de luminosidade e a perda de nutrientes são variáveis cujos efeitos são difíceis de mensurar no ecossistema alterado. Entretanto, é conhecido que as clareiras formadas pela derrubada de uma árvore durante a exploração seletiva de madeira, assim como as clareiras naturais, desempenham um papel importante na manutenção da diversidade das espécies em florestas tropicais, incluindo as florestas de terra-firme Amazônicas (UHL et al., 1988; DENSLOW; ELLISON; SANFORD, 1998). Assim como podem alterar significativamente os ciclos locais de carbono (FELDPAUSCH et al., 2005) e outros nutrientes (FERREIRA et al., 2006), fato que em última instância, poderia alterar o funcionamento do ecossistema.

A abertura de clareiras juntamente com as trilhas de arraste de madeira, são consideradas em termos de área, as maiores perturbações da exploração seletiva. As clareiras, particularmente, apresentam-se como as maiores fontes de geração de material lenhoso favorável a decomposição (1,9 a 4,4 Mg por hectare explorado) (FELDPAUSCH et al., 2005). Este fato, aliado a outros fatores como abertura do dossel, o aumento na temperatura e a diminuição da umidade do material lenhoso, aumenta substancialmente o risco de propagação de fogo na floresta, podendo transformar um ecossistema normalmente resistente, em um ecossistema suscetível ao fogo (KAUFFMAN; UHL; CUMMINGS, 1988; UHL; KAUFFMAN, 1990).

Apesar disto, tem-se observado ao longo do tempo que as pesquisas deram ênfase principalmente aos aspectos silviculturais, como as mudanças na composição

de espécies e pouco se tem investigado as mudanças nos ciclos biogeoquímicos e os efeitos destas na produtividade das florestas (DUPUY; CHAZDON, 1998; WEBB, 1998; DEKKER; DE GRAAF, 2003; HALL et al., 2003). O entendimento de processos de ciclagem de nutrientes é fundamental para o manejo da vegetação natural ou perturbada que crescem em solos tropicais de baixa fertilidade. A ciclagem de nutrientes e os padrões de distribuição dos mesmos podem influenciar os processos sucessionais (EWEL, 1976).

A floresta em regeneração na área onde foi formada a clareira terá, em curto prazo, menor biomassa e maior produtividade comparada à floresta primária (SANFORD, 1990). Estas modificações podem afetar o ciclo de N, pois a grande entrada de material depositado pela queda das árvores e a disponibilidade de água e luz, promoveriam um aumento imediato nos processos de mineralização e nitrificação (VITOUSEK; DENSLOW, 1986). Porém ao mesmo tempo, com a retirada dos troncos e a danificação dos indivíduos remanescentes, não haveria vegetação suficiente para o consumo de todo o N disponível. Este fato promoveria, portanto, perdas maiores, seja por emissões gasosas, por lixiviação ou mesmo pela imobilização de N por microorganismos.

As florestas tropicais são reconhecidas como sistemas que geralmente possuem um ciclo aberto de N, onde as perdas de nitrogênio pelo sistema são significativamente maiores em relação às entradas (MARTINELLI et al., 1999). Esta ciclagem aberta é refletida no sinal isotópico do solo e da vegetação ($\delta^{15}\text{N}$), que apresenta-se elevado em função das altas perdas por emissões de gases nitrogenados ou por lixiviação do NO_3^- , que são maiores quanto maior a disponibilidade de N no sistema (NARDOTO, 2005; OMETTO et al., 2006). Estas perdas promovem um enriquecimento do nitrogênio remanescente em ^{15}N , elevando os valores de $\delta^{15}\text{N}$ das plantas (HOGBERG, 1997). Dessa forma, pretende-se utilizar a composição isotópica de nitrogênio como uma ferramenta na investigação de mudanças no ciclo de nitrogênio provocadas por alterações no sistema, como as que possivelmente ocorrem, por exemplo, na abertura de clareiras pela exploração seletiva de madeira nas florestas da Amazônia.

Dessa forma, o mosaico de clareiras e áreas não perturbadas encontrado na Floresta Nacional do Tapajós, representa uma oportunidade de investigação da

dinâmica de recuperação, em termos de ciclo de nitrogênio, da floresta perturbada, fornecendo informações que podem ser extrapoladas para outras áreas da Amazônia submetidas ao mesmo processo de alteração da paisagem.

3.1.1 Objetivo

O objetivo do presente trabalho foi investigar a dinâmica de nitrogênio em floresta primária de terra-firme e clareiras em diferentes estágios de regeneração provenientes de áreas submetidas à exploração seletiva de madeira na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra, Estado do Pará.

As metas propostas para atingir o objetivo deste trabalho foram:

- Investigar a importância relativa das leguminosas como fornecedoras de N ao sistema através da fixação biológica;
- Determinação da razão isotópica do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) e concentração de N nas plantas, serapilheira e solo;
- Determinação da taxa de mineralização líquida de N e nitrificação no solo.

3.1.2 Hipóteses

- O $\delta^{15}\text{N}$ das leguminosas fixadoras de N será menor que o das plantas não-leguminosas em áreas que sofreram perturbação, neste caso as clareiras abertas pela exploração seletiva, indicando um aumento na fixação biológica de nitrogênio (FBN). Quanto mais antiga for a clareira, maior será a disponibilidade de N, portanto menor a FBN por leguminosas fixadoras e portanto mais enriquecidos serão os valores de $\delta^{15}\text{N}$ na vegetação.
- Com o aumento da idade da clareira, as taxas de processos como mineralização líquida e nitrificação se aproximarão das taxas encontradas na floresta de terra-firme.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se na Floresta Nacional do Tapajós (FNT), a 83 km da cidade de Santarém, PA, ao longo da rodovia Santarém-Cuiabá (3.04° S, 54.95° W). A temperatura média anual do ar é de 25° C e a precipitação anual é de aproximadamente 2000 mm com estação seca (precipitação < 100 mm mensal) geralmente de agosto a novembro.

A Floresta Nacional do Tapajós situa-se num grande platô com lençol freático muito profundo (chegando a 100m de profundidade), onde o tipo de solo predominante é o Latossolo Amarelo argiloso (ASNER et al., 2004; ASNER; KELLER; SILVA, 2004), com alto teor de argila (aproximadamente 70%) (SILVER et al., 2000), baixo pH (aproximadamente 3,6), concentração de fósforo em torno de 6,9 $\mu\text{g g}^{-1}$ e de cálcio (Ca^{2+}) em torno de 41,7 $\mu\text{g g}^{-1}$ (OLANDER, 2005).

A área investigada é caracterizada como floresta de terra-firme, não sujeita à inundações periódicas pelos rios e é classificada como floresta ombrófila densa. A altura média da copa é de aproximadamente $23,4 \pm 10,4$ metros, com altura máxima de 55 metros (Michael Keller, comunicação pessoal). A biomassa viva acima do solo foi estimada em cerca de 282 Mg ha^{-1} (KELLER; PALACE; HURTT, 2001).

Desde 1999, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) administra nesta área um projeto demonstrativo de exploração seletiva de madeira, isto é, a retirada e/ou exploração de determinadas espécies de árvores de valor comercial, e que é executado por uma empresa madeireira (Figura 8). Entre as espécies comumente retiradas neste tipo de exploração nesta área destacam-se: *Manilkara huberi*, *Carapa guianensis*, *Couratari guianensis* e *Licaria Brasiliensis*.



Figura 8 - Esquema de funcionamento da exploração seletiva de madeira na área de estudo

3.2.2 Amostragem

Para este estudo, foram selecionadas áreas onde foram formadas clareiras nos anos de 1999, 2001 e 2003 devido à exploração seletiva das espécies madeireiras. As coletas foram realizadas em novembro (final da estação seca) de 2004, portanto, foi possível estabelecer a idade das clareiras estudadas tomando como base o ano da exploração. Assim sendo, foram selecionadas clareiras formadas há 1, 3 e 5 anos, sendo que para cada uma das idades, a coleta foi realizada em três clareiras diferentes e os dados foram agrupados. A amostragem levou em conta os segmentos assim descritos:

- Clareira: área correspondente à região de queda da copa da espécie madeireira explorada e demais espécies danificadas pela queda. No decorrer deste trabalho

estas áreas serão denominadas de acordo com a idade das mesmas, assim sendo: clareira 1 ano, clareira 3 anos, clareira 5 anos.

- Floresta de terra-firme: áreas de floresta não-perturbada dentro do bloco delimitado para exploração que não foram atingidas pela exploração seletiva. Estas áreas estavam localizadas de 50 a 100 metros das clareiras abertas pela derrubada de árvores durante a exploração seletiva (Figura 8).

As clareiras de 1 ano, devido a perturbação ser mais recente, caracterizavam-se por uma maior abertura de dossel e vegetação mais danificada, porém já observava-se a presença de muitas plântulas em desenvolvimento e rebrotas (Figura 9). As clareiras de 3 anos apresentavam características estruturais próximas da clareira de 1 ano e as clareiras mais velhas (5 anos) apresentavam-se menos diferenciadas da floresta de terra-firme não-perturbada, pois a abertura de dossel era menos evidente e a vegetação já se apresentava mais fechada.



Figura 9 - Clareira com um ano de formação, aberta pela derrubada de árvores durante a exploração seletiva de madeira na Floresta Nacional do Tapajós, Pará

Nas clareiras e floresta de terra-firme, a seleção dos indivíduos para coleta de material foliar foi realizada no campo, levando-se em conta a presença dos indivíduos nas áreas descritas acima. Além disso, para a amostragem foi considerada a tentativa de se ter o maior número possível dos mesmos gêneros ou famílias nas diferentes áreas de floresta de terra-firme e clareira. Foram amostradas árvores com DAP a partir de 5cm e todas as espécies de leguminosas encontradas na área. As árvores foram identificadas no campo em nível de família e gênero (Apêndice B).

Os indivíduos amostrados foram então separados em duas categorias, de acordo com a habilidade potencial das espécies em fixar N_2 atmosférico (indivíduos pertencentes às famílias Caesalpinaceae, Fabaceae e Mimosaceae, referidas aqui como leguminosas) ou não (indivíduos pertencentes a outras famílias de plantas superiores, exceto as leguminosas, referidas aqui como não-leguminosas), baseado na literatura (ALLEN; ALLEN, 1981; MOREIRA; DA SILVA; DE FARIA, 1992; DE FARIA; DE LIMA, 1998; GUEHL ET AL., 1998).

Incluindo-se as três idades de clareiras e as áreas de floresta de terra-firme selecionadas, foram identificados e amostrados aproximadamente 140 indivíduos. Na clareira de 1 ano foram amostrados 17 leguminosas e 15 não-leguminosas; 8 leguminosas e 18 não-leguminosas na clareira de 3 anos e 6 não-leguminosas e 10 leguminosas na clareira de 5 anos. Na área de floresta de terra-firme (floresta primária não-perturbada), amostrou-se um total de 25 leguminosas e 41 não-leguminosas.

a) *Coleta de folhas*

Foram coletadas folhas verdes maduras e sadias dos indivíduos de cada uma das espécies selecionadas (leguminosas e não-leguminosas) em cada uma das 4 áreas investigadas. Quando necessário, as folhas foram coletadas com a utilização de podão, em diferentes galhos da copa de cada indivíduo. Em alguns casos, foi necessária a escalada da árvore por um “mateiro” com a utilização de escada ou “peconha”² para a coleta na copa da árvore. Depois de coletadas, folhas verdes completamente

² Equipamento rústico, constituído de laço de corda, cipó ou plástico resistente, com a forma de um oito, que junto ao tronco auxilia na escalada da árvore.

expandidas foram selecionadas, formando uma amostra composta de cerca de 100 a 200g de folhas por indivíduo.

b) Coleta de solos

Para a coleta de solo, foi selecionada uma clareira de cada idade e três áreas de floresta de terra-firme, onde foi feito um perfil de solo retirando-se amostras nos intervalos de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50cm de profundidade para determinação da razão isotópica do N e C estáveis e determinação das concentrações de N e C. Para as medidas de mineralização líquida de N e nitrificação líquida foram coletadas cinco amostras de solo (0-5cm de profundidade) nas mesmas clareiras onde foram feitos os perfis de solo e três amostras na floresta de terra-firme. Para os experimentos de mineralização especificamente, as coletas foram feitas em julho de 2005 (final da estação chuvosa).

c) Coleta de Serapilheira

Foram retiradas amostras de serapilheira (folhas, material reprodutivo e galhos < 1cm de diâmetro) de quadrados de 50 x 50cm lançados aleatoriamente sobre a superfície do solo, sendo três amostras em cada uma das clareiras selecionadas para a coleta de material foliar, perfazendo um total de nove amostras de serapilheira por idade de clareira (n=27) e nove amostras na floresta de terra-firme.

3.2.3 Análises das amostras

a) Preparo das amostras

O material foliar e serapilheira foram secos em estufa a 65°C por 72h e depois moídos e as amostras de solo foram previamente secas ao ar, destorradas em peneira de 2 mm para remoção de pedras, raízes e resto da serapilheira. Sub-amostras de solo foram obtidas através do quarteador de Jones e depois trituradas.

b) *Determinação da razão isotópica do N e C estáveis e determinação das concentrações de N e C em amostras de folhas, serapilheira e solos*

Para determinação do $\delta^{15}\text{N}$ e determinação de N e C total foram pesadas em cápsula de estanho sub-amostras contendo 1-2 mg do material foliar e serapilheira, 10-20mg de solo nas camadas superficiais (0-10cm) e 20-40mg nas camadas mais profundas (10-50cm). Estas foram introduzidas em um analisador elementar (Carlo Erba EA 1110 CHNS, CE Instruments), para determinação da concentração de N e C total através da combustão das amostras. O gás proveniente da combustão é carregado em um fluxo de hélio por uma coluna cromatográfica e introduzido diretamente em um espectrômetro de massas para razões isotópicas (Delta Plus, ThermoQuest-Finnigan). A abundância natural de ^{15}N é expressa como desvios por mil (‰) de um padrão primário através da equação:

$$\delta^{15}\text{N} = 1000 ((R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}) / R_{\text{padrão}})$$

Onde:

R é a razão $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. O $\delta^{15}\text{N}$ é calculado em relação ao padrão, que é o ar atmosférico ($R_{\text{padrão}} = 0,0036765$). A atropina foi utilizada como material padrão de trabalho para o material foliar e o padrão nº 502-308 da LECO Corporation, foi usado para o solo. A margem de erro aceitável para C, N, ^{13}C ^{15}N foi de 0,15%, 0,01%, 0,30‰ e 0,50‰, respectivamente.

c) *Taxas de Mineralização e Nitrificação*

As medidas de mineralização líquida de N e nitrificação líquida foram realizadas utilizando as amostras de solo superficial (0-5cm de profundidade) coletadas em cada área de estudo. A metodologia empregada foi baseada em Piccolo et al. (1994). As amostras de solo ainda úmido, foram destorroadas em peneiras com malha de 2 mm para a retirada de restos de folhas, raízes e pedras. Uma sub-amostra de 20 g de solo úmido foi extraída em 100 mL de KCl 2M para determinar a concentração de N inorgânico. Após 24 horas, estes extratos foram filtrados e preservados com fenil acetato de mercúrio a uma concentração final de 0,5 mg L⁻¹. Uma segunda sub-amostra de aproximadamente 10 g foi seca a 105°C para a determinação do teor de umidade do solo pelo método gravimétrico. O restante da amostra foi incubada no escuro a

temperatura ambiente (entre 25 e 28°C) por 7 dias para determinar a taxa de mineralização líquida de N e nitrificação. Após 7 dias, uma sub-amostra de 20 g foi então extraída com KCl 2M por 24 horas, filtrada e preservada. As concentrações de N-NH₄⁺ no extrato foram analisadas em condutivímetro acoplado ao sistema FIA (fluxo de injeção contínua e as concentrações de N-NO₃⁻ foram analisadas em espectrofotômetro acoplado ao FIA (comprimento de onda 534 nm).

Todos os resultados foram expressos baseados no peso de solo seco (PS) a 105 °C. A quantidade de N disponível entre 0-5cm de profundidade correspondeu à concentração de N inorgânico nas amostras nos tempos iniciais de incubação (tempo zero). As taxas de nitrificação líquida foram calculadas como a concentração final de N-NO₃⁻ menos a concentração inicial de N-NO₃⁻, dentro de cada período de incubação e as taxas de mineralização líquida de N, foram calculadas como a concentração final de N-NO₃⁻ + N-NH₄⁺ menos a concentração inicial de N-NO₃⁻ + N-NH₄⁺, dentro de cada período de incubação.

3.2.4 Análises Estatísticas

Para testar a normalidade dos dados de concentrações de N, C e $\delta^{15}\text{N}$ foliar foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnoff. Como os dados não seguiram uma distribuição normal, foram aplicados testes não-paramétricos assim como correlações de Spearman entre os parâmetros. Análises de comparação múltipla de médias (entre grupos) foram realizadas seguidas pelo procedimento ANOVA de Kruskal Wallis para verificar diferenças entre as áreas. O mesmo procedimento foi utilizado para os dados de serapilheira e as taxas de mineralização e nitrificação. As análises estatísticas foram feitas usando o pacote estatístico STATISTICA versão 6.1 para Windows. Diferenças a 5% de probabilidade foram tidas como significantes.

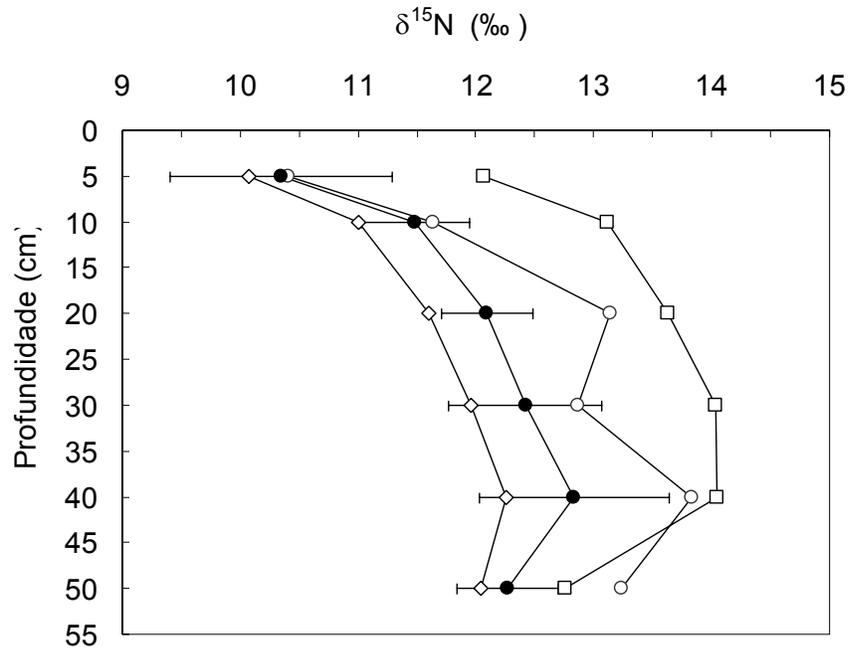
3.3 Resultados

3.3.1 Composição isotópica ($\delta^{15}\text{N}$), concentração de N e razão C/N do solo em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ nas camadas superficiais do solo (0 - 5cm) variaram de 10 a 12‰ e foram mais elevados na clareira 1 ano. Em todas as áreas, foi observado um enriquecimento em ^{15}N com a profundidade (Figura 10A).

A média da concentração de nitrogênio total no solo (0 – 5cm) nas clareiras de 3 e 5 anos e na floresta de terra-firme ficou em torno de 0,28% e na clareira de 1 ano a concentração de N total (0,19%) foi menor que nas demais áreas. Em profundidade, uma diminuição da concentração de N foi observada em todas as áreas, chegando a aproximadamente 0,05% de N a 50cm de profundidade (Figura 10B). Nas camadas superficiais (0 – 5cm), os menores valores de razão C/N (11,8) também foram obtidos na clareira 1 ano e os maiores (14,5) foram observados na clareira de 5 anos.

(A)



(B)

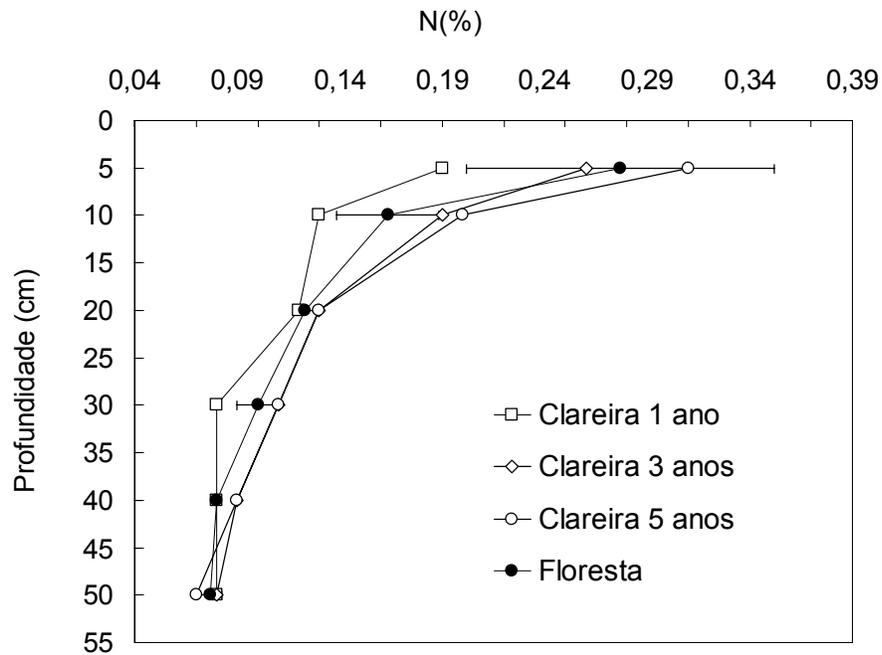


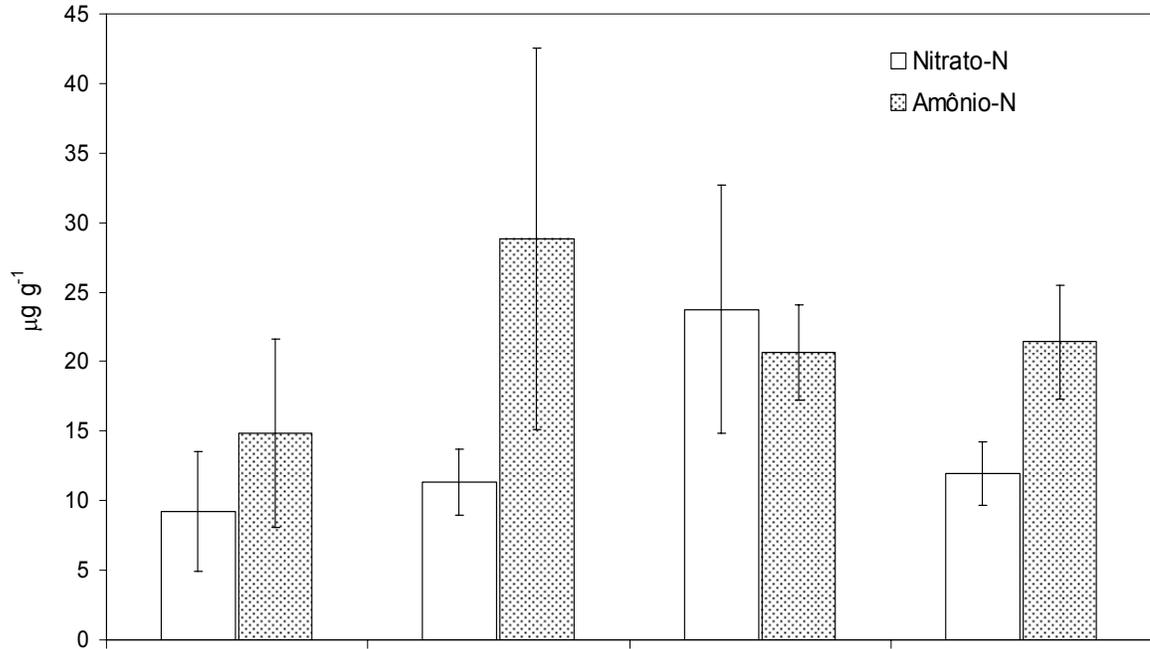
Figura 10 - Variações em $\delta^{15}\text{N}$ (A) e concentração total de N (B) em perfis de solo (0-50cm de profundidade) das áreas estudadas, sendo o n=1 perfil nas clareiras de 1, 3 e 5 anos e n = 3 perfis na floresta de terra-firme, onde as barras correspondem ao desvio padrão

3.3.2 Mineralização e nitrificação líquida

A concentração de N inorgânico total (amônio+nitrato) foi crescente de acordo com a idade das clareiras e floresta de terra-firme, sendo 24,1; 40,2; 44,4 e 48,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ nas clareiras de 1, 3 e 5 anos e floresta de terra-firme, respectivamente, tendo a clareira de 1 ano as menores concentrações de N inorgânico total ($p < 0,05$) (Figura 11A).

As taxas de mineralização variaram de 1,7 a 3,4 $\mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ e foram menores nas clareiras de 1 ano ($p < 0,05$). As taxas observadas na floresta de terra-firme e nas clareiras de 3 e 5 anos não diferiram entre si (Figura 11B). As taxas de nitrificação variaram de 1,7 a 3,8 $\mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ e também foram menores na clareira de 1 ano ($p < 0,05$) (Figura 11B).

(A)



(B)

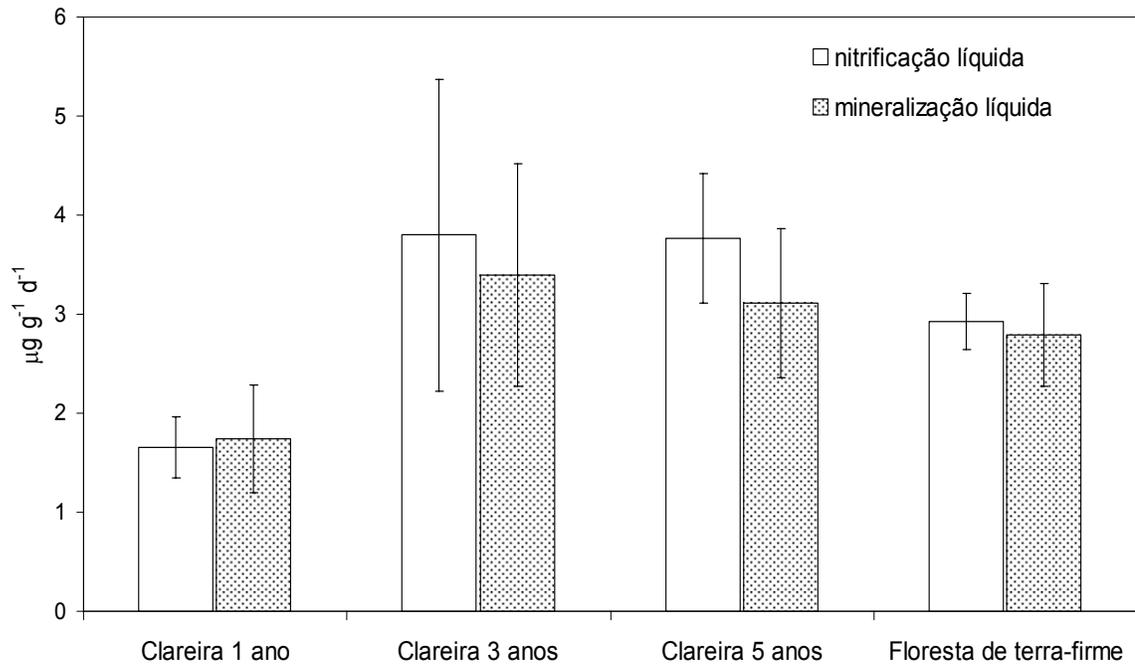


Figura 11 - Concentrações de amônio (N-NH_4^+) e nitrato (N-NO_3^-) (A) e taxas de mineralização e nitrificação líquida (B) em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades na Floresta Nacional do Tapajós (média \pm desvio padrão)

3.3.3 Composição isotópica ($\delta^{15}\text{N}$) de plantas leguminosas e não-leguminosas em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar nas áreas de floresta de terra-firme e clareiras estudadas variaram entre 3,0 e 10,4‰. Analisando-se os resultados separando os grupos de leguminosas e não-leguminosas, não foram encontradas diferenças significativas entre os dois grupos dentro de uma mesma área, exceto na clareira de 1 ano onde as leguminosas tiveram um valor médio de $\delta^{15}\text{N}$ foliar maior que as não-leguminosas (Figura 12).

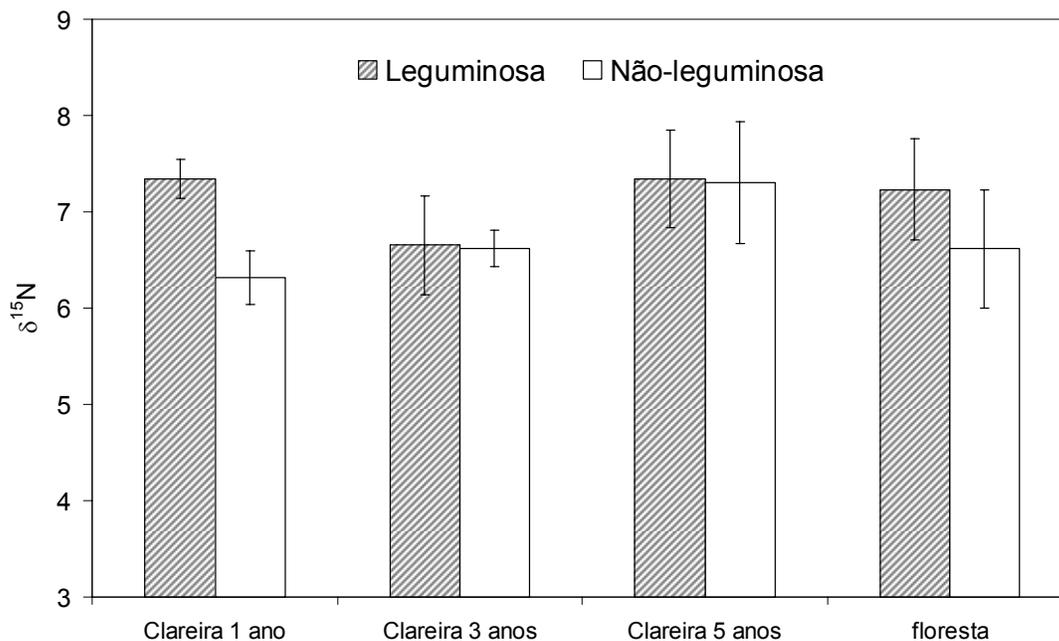


Figura 12 - Valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar (média \pm erro padrão) das espécies leguminosas (em rajado) e não-leguminosas (em branco) coletadas em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades na Floresta Nacional do Tapajós

O $\delta^{15}\text{N}$ foliar das leguminosas presentes nas clareiras de diferentes idades não diferiu estatisticamente do $\delta^{15}\text{N}$ das leguminosas presentes na floresta de terra-firme (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ foliar, concentração foliar de N (média \pm erro padrão) e razão C/N para espécies de leguminosas (L) e de não-leguminosas (NL) nas áreas estudadas. Letras diferentes na mesma linha representam diferença significativa entre Leguminosas (L) e Não-leguminosas (NL) ($p < 0,05$)

	Clareira 1 ano		Clareira 3 anos		Clareira 5 anos		Floresta de terra-firme	
	L	NL	L	NL	L	NL	L	NL
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	7,3 ^a ($\pm 0,2$)	6,3 ^b ($\pm 0,3$)	6,7 ^a ($\pm 0,5$)	6,6 ^a ($\pm 0,2$)	7,3 ^a ($\pm 0,5$)	7,3 ^a ($\pm 0,6$)	7,2 ^a ($\pm 0,5$)	6,6 ^a ($\pm 0,6$)
N (%)	3,1 ^a ($\pm 0,1$)	2,4 ^b ($\pm 0,1$)	3,3 ^a ($\pm 0,2$)	2,3 ^b ($\pm 0,1$)	3,2 ^a ($\pm 0,2$)	2,3 ^b ($\pm 0,2$)	3,2 ^a ($\pm 0,1$)	2,3 ^b ($\pm 0,2$)
C/N	16,0 ^a ($\pm 0,8$)	19,9 ^b ($\pm 1,1$)	15,5 ^a ($\pm 0,9$)	22,1 ^b ($\pm 1,5$)	16,5 ^a ($\pm 0,8$)	22,8 ^b ($\pm 2,2$)	15,0 ^a ($\pm 0,3$)	23,0 ^b ($\pm 2,0$)

Apesar de as leguminosas diferirem das não-leguminosas na clareira de 1 ano, os dados foram analisados de forma agrupada para cada área. As clareiras de diferentes idades e a floresta de terra-firme quando comparadas entre si, incluindo leguminosas e não-leguminosas na análise, não apresentaram diferenças significativas em termos de $\delta^{15}\text{N}$ foliar (Figura 12).

3.3.4 Concentração de N e razão C/N foliar de plantas leguminosas e não-leguminosas em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades

Os valores de concentração de N foliar nas clareiras e floresta de terra-firme investigadas variaram entre 1 e 4,6%. As concentrações médias de N foliar foram significativamente mais elevadas (aproximadamente 1%) em espécies de leguminosas quando comparadas às de não-leguminosas em todas as áreas amostradas (Figura 13). Incluindo leguminosas e não-leguminosas na análise, não foram encontradas diferenças significativas na concentração de N foliar entre as áreas investigadas (Figura 13).

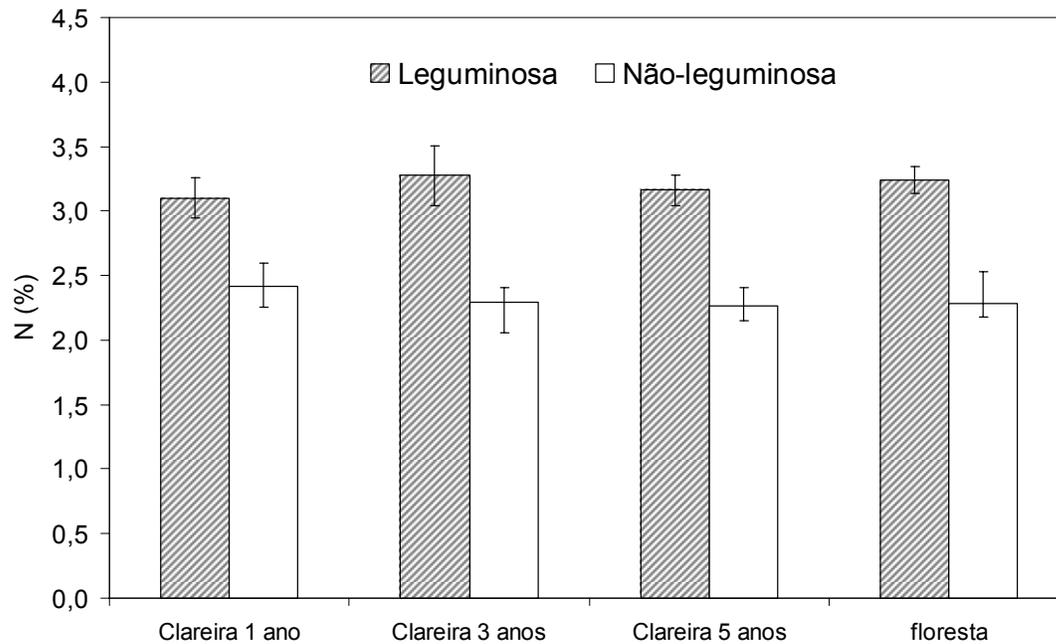


Figura 13 - Valores de concentração de N foliar (média \pm erro padrão) das espécies leguminosas (em rajado) e não-leguminosas (em branco) coletadas em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades na Floresta Nacional do Tapajós

A razão C/N foliar na floresta de terra-firme e clareiras investigadas variou de 10,7 a 50,5 e foi significativamente mais elevada em espécies não-leguminosas quando comparadas às leguminosas em todas as áreas amostradas (Figura 14).

Assim como para a concentração de N foliar, a razão C/N não apresentou diferenças significativas entre as clareiras de diferentes idades, e entre estas e a floresta de terra-firme (Figura 14).

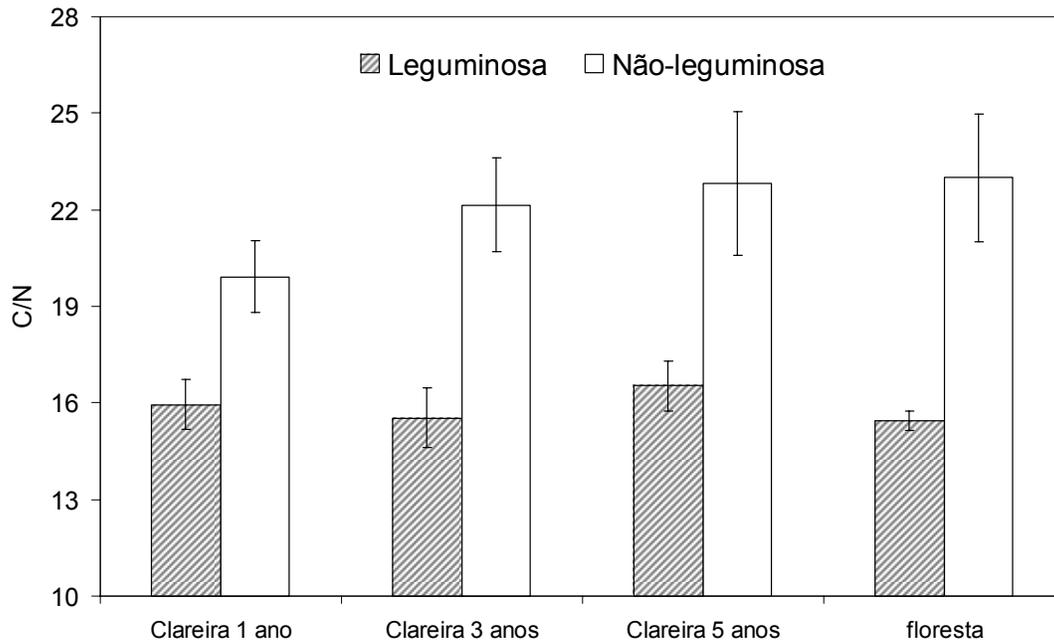


Figura 14 - Valores médios (\pm erro padrão) de razão C/N foliar das espécies leguminosas (em rajado) e não-leguminosas (em branco) coletadas em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades na Floresta Nacional do Tapajós

3.3.5 Relações entre o $\delta^{15}\text{N}$ e demais parâmetros estudados

Incluindo tanto as leguminosas como as não-leguminosas na análise, foram encontradas correlações positivas e significativas entre a concentração foliar de N e o $\delta^{15}\text{N}$ foliar ($p < 0,05$) (Figura 15). Não foram encontradas correlações significativas entre a razão C/N foliar e o $\delta^{15}\text{N}$ foliar.

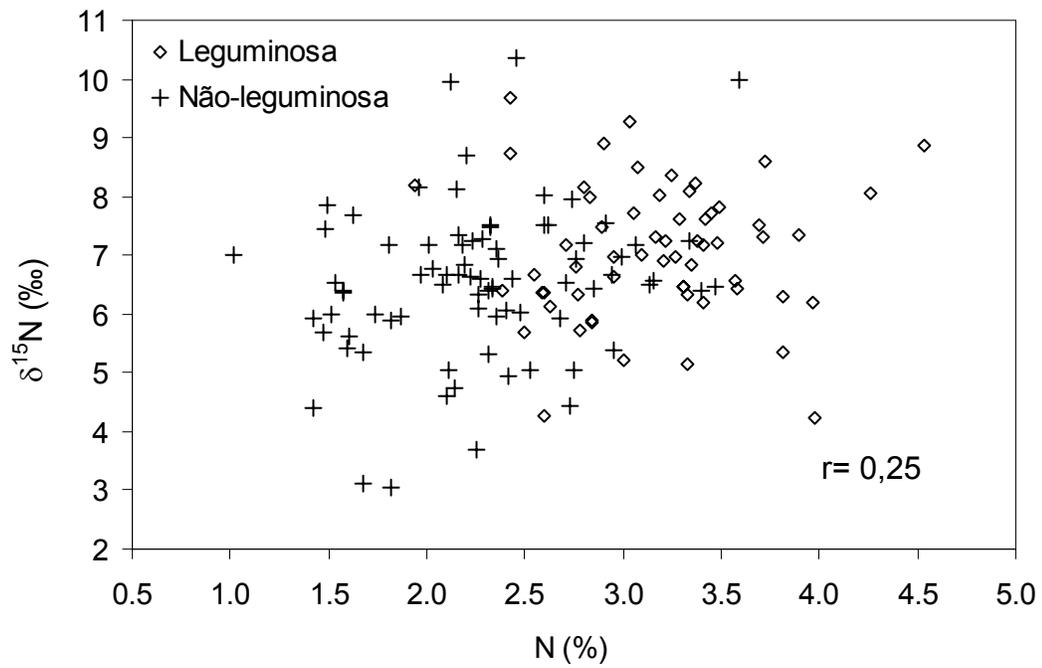


Figura 15 - Relação entre a concentração de N foliar e o $\delta^{15}\text{N}$ foliar de espécies de leguminosas e não-leguminosas coletadas nas áreas

3.3.6 Composição isotópica ($\delta^{15}\text{N}$), concentração de N e razão C/N da serapilheira em floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ da serapilheira variaram de 4,8 a 8,2 ‰ (Tabela 6). Ao comparar-se as áreas de clareira de diferentes idades entre si, e estas com a floresta de terra-firme, não foram observadas diferenças na composição isotópica de nitrogênio da serapilheira, para nenhuma das áreas.

Tabela 6 - Valores (média \pm EP) de ^{15}N , concentração de N e razão C/N para serapilheira coletada nas áreas de estudo

	Clareira 1 ano	Clareira 3 anos	Clareira 5 anos	Floresta de terra-firme
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	7,5 ($\pm 0,2$)	6,4 ($\pm 0,3$)	7,3 ($\pm 0,1$)	7,0 ($\pm 0,4$)
N (%)	1,9 ($\pm 0,06$)	1,6 ($\pm 0,05$)	2,0 ($\pm 0,03$)	1,9 ($\pm 0,05$)
C/N	24,0 ($\pm 0,8$)	27,7 ($\pm 0,8$)	22,3 ($\pm 0,6$)	23,2 ($\pm 0,7$)

Não foram encontradas diferenças significativas na concentração de N da serapilheira entre as áreas de floresta de terra-firme e clareiras de diferentes idades, exceto para a clareira de 3 anos que teve uma concentração de N menor que todas as outras áreas ($p < 0,05$). A razão C/N na clareira de 3 anos foi mais elevada que as outras clareiras ($p < 0,05$) e não foram observadas diferenças significativas entre as clareiras de 1 ano e 5 anos, nem entre estas e a floresta de terra-firme (Tabela 6).

3.4 Discussão

A maioria dos parâmetros investigados neste estudo não apresentou diferenças significativas entre as idades de clareira estudadas bem como entre estas e a floresta de terra-firme, entretanto algumas inferências podem ser feitas baseadas nestes resultados.

Apesar de não terem sido encontradas diferenças no $\delta^{15}\text{N}$ foliar entre as áreas de floresta de terra-firme e clareira, bem como entre leguminosas e não-leguminosas, a concentração de N foliar foi maior nas espécies de leguminosas do que em espécies de não-leguminosas em todas as áreas amostradas. Este mesmo padrão foi encontrado previamente por outros estudos também na floresta Nacional do Tapajós em áreas de floresta de terra-firme não perturbadas distante aproximadamente 10 km da área do presente estudo (NARDOTO, 2005; OMETTO et al., 2006). Outros estudos em florestas tropicais e cerrados também confirmam esta tendência, que pode estar refletindo uma capacidade mais eficiente de assimilação de N pelas espécies de leguminosas (ROGGY et al., 1999; VITOUSEK et al., 2002; BUSTAMANTE et al., 2004). Outra explicação destas concentrações maiores de N seria o fato de leguminosas assimilarem parte deste N pela fixação biológica, porém, pelos altos valores de $\delta^{15}\text{N}$ encontrados nas leguminosas tanto em floresta de terra-firme como em clareiras, não é possível explicar esta diferença pela fixação biológica de N.

Um aspecto peculiar observado nesta região da Floresta Nacional do Tapajós é a elevada circulação de N neste sistema. Este fato foi também observado neste estudo pelas altas taxas de mineralização e nitrificação, bem como nas concentrações de amônio e nitrato no solo. Estes valores se aproximam dos encontrados por Silver et al (2000) em solos argilosos também na Floresta Nacional do Tapajós. Entretanto, a diminuição observada nas clareiras mais jovens (1 ano) nas taxas de mineralização e nitrificação e na concentração de N inorgânico total estariam indicando uma restrição nos processos de ciclagem de N nas áreas abertas mais recentemente. Esta possível restrição também é verificada pelos menores valores de concentração de N encontrados no solo destas áreas. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ nas camadas superficiais do solo (0 a 5 cm) nas clareiras de 1 ano, no entanto, não refletem esta restrição, pelo contrário,

são ligeiramente mais elevados (aproximadamente 2‰) que os encontrados nas demais áreas, e são similares aos encontrados por Olander et al (2005) em clareiras com 6 meses de formação.

De um modo geral, o $\delta^{15}\text{N}$ do solo pode fornecer informações complementares sobre a ciclagem de N nestes sistemas intactos e alterados. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ encontrados nas camadas superficiais do solo sob floresta também são similares aos encontrados por Olander et al (2005) na mesma região deste estudo, porém são ligeiramente mais enriquecidos (de 1 a 2 ‰) que os encontrados por Silver et al (2000) também na mesma região e por Nardoto (2005) a aproximadamente 10km da área investigada. Porém um enriquecimento em ^{15}N em profundidade, observado nos perfis de solo do presente estudo, tanto nas clareiras como na floresta de terra-firme, foi similar ao observado em solos tropicais. O enriquecimento em ^{15}N em profundidade está associado ao fato que durante a decomposição, a matéria orgânica do solo tende a ficar mais enriquecida em ^{15}N em relação às plantas e a serapilheira devido ao fracionamento ocorrido durante a mineralização e nitrificação e durante as perdas gasosas e lixiviação (NADELHOFFER et al., 1996).

Apesar de as clareiras de um ano apresentarem taxas mais baixas de mineralização e nitrificação, bem como menores concentrações de N inorgânico total, fato que teoricamente promoveria um menor fracionamento e, portanto, menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ no solo. Este fato, no entanto, não afetou a composição isotópica do solo, provavelmente devido à elevada ciclagem de N na região, onde uma ligeira diminuição nestes processos não teria sido suficiente para modificar os valores de $\delta^{15}\text{N}$ do solo. Apesar disto, conforme esperado, a disponibilidade de N aumentou com a idade das clareiras, como sugerido pelas maiores taxas de mineralização e nitrificação e nas concentrações de amônio e nitrato nas clareiras de 3 e 5 anos, que foram similares às encontradas na floresta de terra-firme não perturbada.

Esta área é reconhecida por estudos anteriores como a mais enriquecida em N dentre muitas florestas investigadas na região Amazônica. É onde se encontram (apesar da grande variabilidade) altas emissões de gases nitrogenados (KELLER et al., 2005), altas taxas de mineralização e nitrificação (SILVER et al., 2000) (Tabela 7), bem como os maiores valores isotópicos foliares (média em torno de 6-8‰) (NARDOTO,

2005; OMETTO et al., 2006) (Tabela 7). Estes fatores sugerem a ocorrência de uma ciclagem aberta de N nestas áreas, onde as altas taxas de mineralização e nitrificação, seguidas das altas emissões gasosas, deixariam o substrato enriquecido em ^{15}N , refletindo nos altos valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar, da serapilheira e do solo. Dessa forma, é possível inferir que alterações na estrutura de florestas tão ricas em nitrogênio, como uma abertura de uma clareira, talvez não sejam de intensidade suficiente para causar uma alteração significativa na ciclagem do N nestas áreas. Por outro lado, como observado por Olander et al (2005), impactos mais extremos provocados pela exploração seletiva, como a abertura de uma estrada ou de um pátio de armazenamento de madeira, onde além da compactação do solo, ocorre também uma remoção das camadas superficiais, poderiam estar afetando a ciclagem de N nestas áreas.

Tabela 7 - Processos e fluxos de nitrogênio na área de estudo

Área	Serapilheira produzida	Mineralização líquida	Nitrificação	N-NH ₄	N-NO ₃	NO _x	N ₂ O	NO _x	N ₂ O
	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	μg g ⁻¹ d ⁻¹		μg g ⁻¹		Estação seca ng N cm ⁻² h ⁻¹		Estação chuvosa ng N cm ⁻² h ⁻¹	
Floresta	10,5 ^a	1 – 2 ^c	1,9 - 2,3 ^c	3 – 8 ^c	7 – 14 ^c	2,3 (1,1) - 12,5 (3,1) ^b	1,3 (0,1) – 2,7 (1,0) ^b	7,7 (3,4) ^b	10,7 (1,8) - 13,7 (3,1) ^b
Clareira¹						8,0 (0,1) ^b	3,3 (1,7) ^b	-	12,6 (1,7) - 21,5 (5,7) ^b

^a Scott Miller, comunicação pessoal

^b Keller et al. (2005) (0-10cm de profundidade)

^c Silver et al. (2000)

¹ Medidas realizadas em 2000 em clareira aberta pela exploração seletiva em 1999 (1 ano após exploração)

3.5 Conclusões

Os resultados observados neste estudo, sugerem que perturbações como a abertura de uma clareira em uma floresta primária, talvez não sejam de intensidade suficiente para causar uma restrição ou um comprometimento na ciclagem de N no sistema, a ponto de induzir por exemplo, um gasto energético pelas leguminosas para realizar a fixação biológica de N, o que refuta a primeira hipótese deste trabalho.

Por outro lado, conforme esperado, as menores taxas de mineralização e nitrificação encontradas nas clareiras abertas mais recentemente, sugerem uma possível alteração na ciclagem de N no sistema perturbado.

Apesar de a exploração seletiva de madeira ser considerada uma perturbação de impacto reduzido ao sistema florestal, assim como uma alternativa de exploração sustentável dos recursos florestais, os impactos causados por outras ações deste método podem ser relevantes. Embora não tenham sido encontradas alterações expressivas na ciclagem de N nas clareiras abertas pela exploração, investigações na ciclagem de N enfocando áreas com impactos mais expressivos são indicadas, como por exemplo, em pátios de armazenamento de madeira no interior da floresta, onde o tempo mais longo de recuperação e a maior intensidade da perturbação poderiam afetar a ciclagem de N no sistema.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na região Amazônica, nas últimas décadas as mudanças no uso e cobertura do solo têm se intensificado a cada ano obedecendo principalmente aos interesses econômicos e não levando em consideração os interesses sociais ou ambientais.

Neste estudo foram enfocadas duas correntes de uso do solo na Amazônia, que em termos de intensidade de impacto no sistema, apresentam diferenças marcantes: a agricultura de corte e queima (geralmente de subsistência), que baseia-se na utilização do fogo para limpeza da área e o plantio intensivo de culturas e a exploração seletiva de madeira, onde poucas árvores são retiradas por hectare de floresta.

O estudo em questão, considerando a ciclagem de nitrogênio, confirma mais uma vez a agricultura de corte e queima como uma perturbação mais expressiva ao sistema, quando comparada à exploração seletiva de madeira. Primeiramente claro, porque os efeitos desta perturbação são potencializados, visto que, neste caso o sistema florestal é dizimado, acarretando perdas das interações solo-planta-atmosfera responsáveis pela ciclagem de nutrientes que ali existiam. Por outro lado, na exploração seletiva de madeira, além da destruição parcial da floresta, o planejamento prévio da exploração pode estar contribuindo para a amenização dos efeitos ao sistema.

Vale ressaltar ainda que, apesar da importância reservada ao ciclo de nitrogênio para o ecossistema florestal, mudanças neste ciclo, diante dos muitos efeitos do uso do solo na Amazônia, é apenas mais um agravante.

É válido ainda ressaltar que as atribuições econômica e ambiental que a Amazônia pode desempenhar não são excludentes. Pelo contrário, o uso e a exploração dos recursos naturais desta região, quando realizados com planejamento prévio e levando em conta a sustentabilidade dos ecossistemas, podem acontecer sem grandes prejuízos ao meio ambiente. Diante deste desafio, estudos enfocando os ciclos biogeoquímicos, como o em questão, surgem como fonte de subsídios para a criação de alternativas de uso sustentável dos recursos florestais nativos e a recuperação daqueles que já se encontram degradados.

Referências

- ALLEN, O. N.; ALLEN, E. K. **The Leguminosae** - a source book of characteristics, uses, and nodulation. Madison: The University of Wisconsin press, 1981. 811 p.
- ASNER, G. P.; KELLER, M.; SILVA, J. N. M. Spatial and temporal dynamics of forest canopy gaps following selective logging in the eastern Amazon. **Global Change Biology**, Oxford, v.10, n.5, p.765-783, May 2004.
- ASNER, G. P.; KELLER, M.; PEREIRA, R.; ZWEEDE, J. C.; SILVA, J. N. M. Canopy damage and recovery after selective logging in Amazonia: Field and satellite studies. **Ecological Applications**, Washington, v.14, n.4, p.S280-S298, Aug 2004.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P. B.; KLINK, C. A.; DOMINGUES, T. F.; SANTOS, R. V. ^{15}N natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian savannas (cerrado). **Ecological Applications**, Washington, v.14, n.4, p.S200-S213, Aug 2004.
- DE FARIA, S. M.; DE LIMA, H. C. Additional studies of the nodulation status of legume species in Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.200, n.2, p.185-192, Mar 1998.
- DEKKER, M.; DE GRAAF, N. R. Pioneer and climax tree regeneration following selective logging with silviculture in Suriname. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.172, n.2/3, p.183-190, Jan 2003.
- DENSLOW, J. S.; ELLISON, A. M.; SANFORD, R. E. Treefall gap size effects on above- and below-ground processes in a tropical wet forest. **Journal of Ecology**, Oxford, v.86, n.4, p.597-609, Aug 1998.
- DUPUY, J. M.; CHAZDON, R. L. Long-term effects of forest regrowth and selective logging on the seed bank of tropical forests in NE Costa Rica. **Biotropica**, Lawrence, v.30, n.2, p.223-237, Jun 1998.
- EWEL, J. J. Litterfall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. **Journal of Ecology**, Oxford, v.64, n.1, p.293-308, 1976.
- FELDPAUSCH, T. R.; JIRKA, S.; PASSOS, C. A. M.; JASPER, F.; RIHA, S. J. When big trees fall: Damage and carbon export by reduced impact logging in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.219, n.2/3, p.199-215, Nov 25 2005.
- FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; MIRANDA, S. Á. F.; DA SILVA, M. D. S. R.; VITAL, A. R. T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra-firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazônica**, Manaus, v.36, n.1, p.59 - 68, 2006.

- GUEHL, J. M.; DOMENACH, A. M.; BEREAU, M.; BARIGAH, T. S.; CASABIANCA, H.; FERHI, A.; GARBAYE, J. Functional diversity in an Amazonian rainforest of French Guyana: a dual isotope approach ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$). **Oecologia**, New York, v.116, n.3, p.316-330, Sep 1998.
- HALL, J. S.; HARRIS, D. J.; MEDJIBE, V.; ASHTON, P. M. S. The effects of selective logging on forest structure and tree species composition in a Central African forest: implications for management of conservation areas. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.183, n.1-3, p.249-264, Sept 2003.
- HOGBERG, P. Tansley review N° 95. ^{15}N natural abundance in soil-plant systems. **New Phytologist**, New York, v.137, n.2, p.179-203, Oct 1997.
- KAUFFMAN, J. B.; UHL, C.; CUMMINGS, D. L. Fire in the Venezuelan Amazon .1. Fuel biomass and fire chemistry in the evergreen rainforest of Venezuela. **Oikos**, Copenhagen, v.53, n.2, p.167-175, Sep 1988.
- KELLER, M.; PALACE, M.; HURTT, G. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil - Examination of sampling and allometric uncertainties. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.154, n.3, p.371-382, Dec 2001.
- KELLER, M.; VARNER, R.; DIAS, J.; SILVA, H. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, methane, and carbon dioxide in logged and undisturbed forest in the Tapajós National Forest, Brazil. **Earth Interactions**, Wisconsin, v.9, n.23, p.1-28, 2005.
- MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. C.; TOWNSEND, A. R.; VITOUSEK, P. M.; CUEVAS, E.; MCDOWELL, W.; ROBERTSON, G. P.; SANTOS, O. C.; TRESEDER, K. Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil: Tropical versus temperate forests. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.46, n.1/3, p.45-65, Jul 1999.
- MOREIRA, F. M. D.; DASILVA, M. F.; DEFARIA, S. M. Occurrence of nodulation in legume species in the Amazon region of Brazil. **New Phytologist**, New York, v.121, n.4, p.563-570, Aug 1992.
- NADELHOFFER, K.; SHAVER, G.; FRY, B.; GIBLIN, A.; JOHNSON, L.; MCKANE, R. ^{15}N natural abundances and N use by tundra plants. **Oecologia**, New York, v.107, n.3, p.386-394, Aug 1996.
- NARDOTO, G. B. **Abundância natural de ^{15}N na Amazônia e Cerrado – implicações para a ciclagem de nitrogênio**. 2005. 100p. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- OLANDER, L. P. Surface soil changes following selective logging in an eastern Amazon forest. **Earth Interactions**, Wisconsin, v.9, n.1, 2005.

OMETTO, J. P. H. B.; EHLERINGER, J. R.; DOMINGUES, T. F.; BERRY, J. A.; ISHIDA, F. Y.; MAZZI, E.; HIGUCHI, N.; FLANAGAN, L. B.; NARDOTO, G. B.; MARTINELLI, L. A. The stable carbon and nitrogen isotopic composition of vegetation in tropical forests of the Amazon Basin, Brazil. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.79, n.1/2, p.251 - 274, Apr 2006.

PICCOLO, M. C.; NEILL, C.; CERRI, C. C. Net nitrogen mineralization and net nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.162, n.1, p.61-70, May 1994.

PINARD, M. A.; PUTZ, F. E.; TAY, J.; SULLIVAN, T. E. Creating timber harvest guidelines for a reduced impact logging project in Malaysia. **Journal of Forestry**, Bethesda, v.93, n.10, p.41-45, Oct 1995.

ROGGY, J. C.; PREVOST, M. F.; GARBAYE, J.; DOMENACH, A. M. Nitrogen cycling in the tropical rain forest of French Guiana: Comparison of two sites with contrasting soil types using $\delta^{15}\text{N}$. **Journal of Tropical Ecology**, New York, v.15, p.1-22, Jan 1999.

SANFORD, R. L. Fine root biomass under light gap openings in an Amazon rainforest. **Oecologia**, New York, v.83, n.4, p.541-545, 1990.

SILVER, W. L.; NEFF, J.; MCGRODDY, M.; VELDKAMP, E.; KELLER, M.; COSME, R. Effects of soil texture on belowground carbon and nutrient storage in a lowland Amazonian forest ecosystem. **Ecosystems**, v.3, n.2, p.193-209, Mar-Apr 2000.

UHL, C.; KAUFFMAN, J. B. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. **Ecology**, Washington, v.71, n.2, p.437-449, Apr 1990.

UHL, C.; CLARK, K.; DEZZEO, N.; MAQUIRINO, P. Vegetation dynamics in amazonian treefall gaps. **Ecology**, Washington, v.69, n.3, p.751-763, Jun 1988.

VITOUSEK, P. M.; DENSLOW, J. S. Nitrogen and phosphorus availability in treefall gaps of a lowland tropical rainforest. **Journal of Ecology**, Oxford, v.74, n.4, p.1167-1178, Dec 1986.

VITOUSEK, P. M.; CASSMAN, K.; CLEVELAND, C.; CREWS, T.; FIELD, C. B.; GRIMM, N. B.; HOWARTH, R. W.; MARINO, R.; MARTINELLI, L.; RASTETTER, E. B.; SPRENT, J. I. Towards an ecological understanding of biological nitrogen fixation. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.57, n.1, p.1-45, Apr 2002.

WEBB, E. L. Gap-phase regeneration in selectively logged lowland swamp forest, northeastern Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, New York, v.14, p.247-260, Mar 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Lista de espécies coletadas em florestas secundárias de diferentes idades e floresta de terra-firme em São Francisco do Pará

(continua)

Nome científico	Família	Grupo	Idade	Ca (g/kg)	P (g/kg)	C/P	N/P	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	%C	%N	C/N
<i>Sclerolobium paraense</i>	Caesalpinaceae	Leguminosa	6	6,26	1,06	453,34	26,54	1,96	-31,41	48	2,81	17,11
<i>Dipteryx odorata</i>	Fabaceae	Leguminosa	6	6,84	0,67	732,32	33,17	2,07	-29,87	49,24	2,23	22,05
<i>Dipteryx odorata</i>	Fabaceae	Leguminosa	6					0	-28,93	49,34	2,25	21,89
<i>Dipteryx odorata</i>	Fabaceae	Leguminosa	6					0,88	-28,29	48,73	2,33	20,88
<i>Dipteryx odorata</i>	Fabaceae	Leguminosa	6					2,58	-28,08	49,55	2,46	20,12
<i>Inga thibaudiana</i>	Mimosaceae	Leguminosa	6					-0,36	-31,11	46,89	2,08	22,58
<i>Inga thibaudiana</i>	Mimosaceae	Leguminosa	6	21,74	0,43	1095,1	46,82	-0,88	-30,39	46,55	1,99	23,39
<i>Inga thibaudiana</i>	Mimosaceae	Leguminosa	6					1,21	-30,26	48,61	2,30	21,13
<i>Inga thibaudiana</i>	Mimosaceae	Leguminosa	6					0,51	-30,87	48,23	2,28	21,13
<i>Inga flageliformis</i>	Mimosaceae	Leguminosa	6					0,21	-29,53	48,82	2,00	24,45
<i>Inga flageliformis</i>	Mimosaceae	Leguminosa	6	8,92	0,62	779,57	42,54	-0,57	-29,88	48,2	2,63	18,31
<i>Inga flageliformis</i>	Mimosaceae	Leguminosa	6					-0,29	-28,88	48,17	2,17	22,15
<i>Inga flageliformis</i>	Mimosaceae	Leguminosa	6					-0,7	-29,71	47,24	2,25	20,99
<i>Abarema jupunba</i> var. <i>jupunba</i>	Mimosaceae	Leguminosa	6	7,63	0,66	746,50	32,88	0,7	-28,09	49,04	2,16	22,69
<i>Abarema jupunba</i> var. <i>jupunba</i>	Mimosaceae	Leguminosa	6					-0,21	-31,47	47,99	2,13	22,56
<i>Inga rubiginosa</i>	Mimosaceae	Leguminosa	6	11,58	0,81	556,87	28,34	-0,08	-29,32	45,19	2,30	19,63
<i>Rollinia exsucca</i>	Annonaceae	Não- leguminosa	6	20,38	0,58	800,67	28,64	-2,34	-30,61	46,41	1,66	27,90
<i>Rollinia exsucca</i>	Annonaceae	Não- leguminosa	6					-4,02	-29,38	45,06	1,62	27,82
<i>Guatteria poeppigiana</i>	Annonaceae	Não- leguminosa	6					-1,62	-33,63	45,97	1,64	28,09
<i>Rollinia exsucca</i>	Annonaceae	Não- leguminosa	6					-3,06	-30,51	45,64	1,70	26,81
<i>Guatteria poeppigiana</i>	Annonaceae	Não- leguminosa	6					-1,19	-30,98	46,48	1,56	29,84
<i>Guatteria poeppigiana</i>	Annonaceae	Não- leguminosa	6	8,92	0,66	695,66	25,57	-1,49	-32,50	45,7	1,68	27,12
<i>Tapura amazonica</i>	Dichapetalaceae	Não- leguminosa	6					1,01	-32,68	35,82	1,26	28,49

APÊNDICE A – Lista de espécies coletadas em florestas secundárias de diferentes idades e floresta de terra-firme em São Francisco do Pará

(continuação)

Nome científico	Família	Grupo	Idade	Ca (g/kg)	P (g/kg)	C/P	N/P	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	%C	%N	C/N
<i>Tapura amazonica</i>	Dichapetalaceae	Não-leguminosa	6	35,53	0,46	802,86	23,51	2,61	-30,77	37,23	1,09	34,09
<i>Tapura amazonica</i>	Dichapetalaceae	Não-leguminosa	6					-0,84	-31,93	36,1	1,18	30,66
<i>Croton matourensis</i>	Euphorbiaceae	Não-leguminosa	6					0	-29,08	48,28	1,97	24,50
<i>Croton matourensis</i>	Euphorbiaceae	Não-leguminosa	6	5,77	0,97	501,93	27,43	0,2	-28,34	48,49	2,65	18,30
<i>Mabea speciosa</i>	Euphorbiaceae	Não-leguminosa	6					-0,73	-32,48	44,81	1,81	24,83
<i>Mabea speciosa</i>	Euphorbiaceae	Não-leguminosa	6					-1,42	-33,00	46,1	1,72	26,84
<i>Vismia guianensis</i>	Guttiferae	Não-leguminosa	6					-2,07	-31,85	49,53	1,81	27,33
<i>Myrcia cuprea</i>	Myrtaceae	Não-leguminosa	6					-0,24	-33,66	42,33	1,17	36,04
<i>Myrcia cuprea</i>	Myrtaceae	Não-leguminosa	6	7,99	0,35	1238,69	33,35	-1,87	-33,20	43,08	1,16	37,28
<i>Inga thibaudiana</i>	Mimosaceae	Leguminosa	20					-0,23	-31,92	46,49	2,54	18,28
<i>Inga thibaudiana</i>	Mimosaceae	Leguminosa	20					0,12	-31,03	46,84	2,34	20,06
<i>Inga thibaudiana</i>	Mimosaceae	Leguminosa	20	10,27	0,70	668,37	33,07	-0,49	-32,08	46,49	2,30	20,17
<i>Inga flageliformis</i>	Mimosaceae	Leguminosa	20	11,34	0,70	650,26	34,36	0,1	-30,16	45,23	2,39	18,93
<i>Inga flageliformis</i>	Mimosaceae	Leguminosa	20					0,07	-30,21	46,245	2,20	20,99
<i>Inga flageliformis</i>	Mimosaceae	Leguminosa	20					-0,18	-30,39	47,71	2,04	23,34
<i>Inga stipularis</i>	Mimosaceae	Leguminosa	20	5,07	0,59	830,65	34,90	0,63	-32,47	48,79	2,05	23,80
<i>Inga thibaudiana</i>	Mimosaceae	Leguminosa	20					1,7	-33,19	47,35	3,18	14,91
<i>Pogonophora sp</i>		Não-leguminosa	20					1,49	-33,05	47,9	2,31	20,73
<i>Pogonophora sp</i>		Não-leguminosa	20	10,9	0,47	1009,2	46,88	1,87	-33,14	47,58	2,21	21,53
<i>Pogonophora sp.</i>		Não-leguminosa	20					1,91	-33,22	45,68	2,03	22,52
<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	Não-leguminosa	20					2,62	-32,10	45,82	1,68	27,29

APÊNDICE A – Lista de espécies coletadas em florestas secundárias de diferentes idades e floresta de terra-firme em São Francisco do Pará

(continuação)

Nome científico	Família	Grupo	Idade	Ca (g/kg)	P (g/kg)	C/P	N/P	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	%C	%N	C/N
<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	Não-leguminosa	20	19,34	0,83	562,42	22,37	2,22	-32,19	46,51	1,85	25,13
<i>Guatteria poeppigiana</i>	Annonaceae	Não-leguminosa	20					-1,18	-31,49	47,63	1,59	30,02
<i>Guatteria poeppigiana</i>	Annonaceae	Não-leguminosa	20					2,25	-33,39	44,33	1,64	27,11
<i>Guatteria poeppigiana</i>	Annonaceae	Não-leguminosa	20	7,71	0,81	546,03	22,55	2,64	-33,18	44,31	1,83	24,23
<i>Connarus perrottetii</i> var. <i>angustifolius</i> 1	Connaraceae	Não-leguminosa	20					2,05	-31,76	52,87	1,49	35,54
<i>Connarus perrottetii</i> var. <i>angustifolius</i>	Connaraceae	Não-leguminosa	20	10,78	0,49	1045,4	26,49	1,99	-32,04	50,9	1,29	39,33
<i>Connarus perrottetii</i> var. <i>angustifolius</i>	Connaraceae	Não-leguminosa	20					1,12	-30,58	49,35	1,28	38,64
<i>Croton matourensis</i>	Euphorbiaceae	Não-leguminosa	20					2,28	-29,30	46,02	2,70	17,04
<i>Croton matourensis</i>	Euphorbiaceae	Não-leguminosa	20	15,32	1,50	305,67	18,87	1,57	-28,70	45,83	2,83	16,22
<i>Croton matourensis</i>	Euphorbiaceae	Não-leguminosa	20					2,51	-30,70	45,585	2,53	18,05
<i>Vismia guianensis</i>	Guttiferae	Não-leguminosa	20					-1,16	-30,71	48,52	1,68	28,81
<i>Vismia guianensis</i>	Guttiferae	Não-leguminosa	20	6,42	0,65	768,95	24,03	-1,88	-30,90	49,92	1,56	32,03
<i>Vismia guianensis</i>	Guttiferae	Não-leguminosa	20					0,77	-32,19	40,19	1,58	25,44
<i>Ocotea guianensis</i>	Lauraceae	Não-leguminosa	20					-1,98	-29,73	48,28	1,30	37,00
<i>Ocotea guianensis</i>	Lauraceae	Não-leguminosa	20	3,26	0,52	926,97	27,23	-4,1	-30,29	48	1,41	34,14
<i>Ocotea guianensis</i>	Lauraceae	Não-leguminosa	20					2	-30,44	50,03	1,77	28,34
<i>Lecythis lurida</i>	Lecythidaceae	Não-leguminosa	20					2,21	-29,90	49,39	2,23	22,17

APÊNDICE A – Lista de espécies coletadas em florestas secundárias de diferentes idades e floresta de terra-firme em São Francisco do Pará

(continuação)

Nome científico	Família	Grupo	Idade	Ca (g/kg)	P (g/kg)	C/P	N/P	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	%C	%N	C/N
<i>Lecythis lurida</i>	Lecythidaceae	Não-leguminosa	20	14,47	0,76	616,85	28,52	2,95	-31,09	46,72	2,16	21,59
<i>Maquira guianensis</i>	Moraceae	Não-leguminosa	20					2,16	-32,19	41,77	2,13	19,61
<i>Myrcia cuprea</i>	Myrtaceae	Não-leguminosa	20	16,42	0,61	723,93	23,59	2,13	-33,33	44,2	1,44	30,72
<i>Hymenaea parvifolia</i>	Caesalpiniaceae	Leguminosa	40					0,06	-30,44	49,51	1,91	25,94
<i>Hymenaea parvifolia</i>	Caesalpiniaceae	Leguminosa	40	3,27	1,02	483,94	18,92	-0,02	-31,05	49,37	1,93	25,56
<i>Chamaecrista bahiae</i>	Caesalpiniaceae	Leguminosa	40	6,7	0,70	727,46	34,65	1,8	-31,14	50,6	2,41	20,99
<i>Chamaecrista bahiae</i>	Caesalpiniaceae	Leguminosa	40					-0,56	-31,07	50,04	2,65	18,85
<i>Chamaecrista bahiae</i>	Caesalpiniaceae	Leguminosa	40	6,25	0,80	621,32	31,48	0,53	-31,10	49,94	2,53	19,77
<i>Chamaecrista bahiae</i>	Caesalpiniaceae	Leguminosa	40	10,26	0,81	595,99	27,60	-0,185	-30,66	48,365	2,24	21,61
<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i>	Mimosaceae	Leguminosa	40					2,94	-27,73	47,36	4,23	11,20
<i>Inga rubiginosa</i>	Mimosaceae	Leguminosa	40	8,6	0,83	580,20	32,05	1,21	-30,14	47,98	2,65	18,10
<i>Inga rubiginosa</i>	Mimosaceae	Leguminosa	40					2,83	-30,28	47,62	2,79	17,08
<i>Guatteria schomburgkiana</i>	Annonaceae	Não-leguminosa	40	7,73	0,79	578,20	26,89	1,62	-32,48	45,58	2,12	21,46
<i>Croton matourensis</i>	Euphorbiaceae	Não-leguminosa	40	9,84	1,07	443,84	27,46	1,25	-29,79	47,68	2,95	16,16
<i>Lacistema pubescens</i>	Lacistemaceae	Não-leguminosa	40					1,94	-32,61	47,11	2,40	19,61
<i>Ocotea guianensis</i>	Lauraceae	Não-leguminosa	40					-0,285	-29,34	48,84	1,63	29,97
<i>Lecythis lurida</i>	Lecythidaceae	Não-leguminosa	40					2,45	-30,56	48,99	2,83	17,32
<i>Lecythis lurida</i>	Lecythidaceae	Não-leguminosa	40					4,18	-31,35	49,72	2,87	17,32
<i>Myrcia fallax</i>	Myrtaceae	Não-leguminosa	40	6,91	0,41	1102,3	35,89	-0,09	-33,73	45,15	1,47	30,82
<i>Myrcia fallax</i>	Myrtaceae	Não-leguminosa	40	5,95	0,27	1676,9	52,87	-1,16	-33,57	45,36	1,43	31,66
<i>Swartzia arborescens</i>	Fabaceae	Leguminosa	40					1,57	-30,92	47,85	3,21	14,91

APÊNDICE A – Lista de espécies coletadas em florestas secundárias de diferentes idades e floresta de terra-firme em São Francisco do Pará

(continuação)

Nome científico	Família	Grupo	Idade	Ca (g/kg)	P (g/kg)	C/P	N/P	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	%C	%N	C/N
<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i>	Mimosaceae	Leguminosa	40					1,94	-32,05	49,13	2,37	20,71
<i>Inga stipularis</i>	Mimosaceae	Leguminosa	40					1,9	-33,31	47,02	2,06	22,74
<i>Inga auristellae</i>	Mimosaceae	Leguminosa	40	4,34	0,61	771,75	41,60	1,76	-32,87	47,12	2,54	18,54
<i>Inga gracilifolia</i>	Mimosaceae	Leguminosa	40	4,86	0,87	541,71	35,81	1,17	-30,20	46,89	3,10	15,12
<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i>	Mimosaceae	Leguminosa	40					2,44	-30,35	50,12	3,50	14,31
<i>Inga auristellae</i>	Mimosaceae	Leguminosa	40	3,66	0,60	776,17	42,13	2,32	-31,98	46,79	2,54	18,41
<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	Não-leguminosa	40	20,44	0,65	719,19	25,26	-1,38	-32,04	46,69	1,64	28,44
<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	Não-leguminosa	40					-1,22	-32,56	45,11	2,14	21,07
<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	Não-leguminosa	40	10,68	0,90	517,45	15,84	-2,59	-30,16	46,39	1,42	32,74
<i>Guatteria schomburgkiana</i>	Annonaceae	Não-leguminosa	40					-0,65	-31,37	47,06	2,14	21,96
<i>Ambelania acida</i>	Apocynaceae	Não-leguminosa	40	5,69	0,38	1382,6	30,90	1,73	-32,14	52,36	1,17	44,85
<i>Ambelania acida</i>	Apocynaceae	Não-leguminosa	40					2,05	-32,39	51,44	1,05	48,89
<i>Ambelania acida</i>	Apocynaceae	Não-leguminosa	40					-0,13	-32,07	51,54	1,19	43,15
<i>Protium pilosum</i>	Burseraceae	Não-leguminosa	40					-1,34	-33,25	46,37	1,45	32,06
<i>Protium subserratum</i>	Burseraceae	Não-leguminosa	40	5,48	0,75	624,14	22,01	0,28	-33,94	46,79	1,65	28,30
<i>Caryocar villosum</i>	Caryocaraceae	Não-leguminosa	40					-1,55	-30,34	44,9	1,92	23,36
<i>Cecropia sciadophylla</i>	Cecropiaceae	Não-leguminosa	40					-0,26	-28,78	47,1	2,00	23,51
<i>Croton matourensis</i>	Euphorbiaceae	Não-leguminosa	40					0,89	-27,06	49,28	3,01	16,36
<i>Lacistema pubescens</i>	Lacistemaceae	Não-leguminosa	40	6	0,56	885,96	38,10	0,96	-31,96	49,3	2,12	23,20

APÊNDICE A – Lista de espécies coletadas em florestas secundárias de diferentes idades e floresta de terra-firme em São Francisco do Pará

(continuação)

Nome científico	Família	Grupo	Idade	Ca (g/kg)	P (g/kg)	C/P	N/P	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	C (%)	N (%)	C/N
<i>Ocotea guianensis</i> -	Lauraceae	Não-leguminosa	40					-0,35	-33,62	47,93	1,61	29,74
<i>Ocotea guianensis</i>	Lauraceae	Não-leguminosa	40					-0,87	-31,39	48,43	1,56	30,98
<i>Inga alba</i>	Mimosaceae	Leguminosa	FP					2,43	-32,16	50,55	3,73	13,54
<i>Inga alba</i>	Mimosaceae	Leguminosa	FP	5,45	0,89	567,68	37,52	2,575	-32,18	50,455	3,34	15,17
<i>Inga alba</i>	Mimosaceae	Leguminosa	FP					4,59	-34,70	48,43	3,21	15,08
<i>Abarema jupunba</i> var. <i>jupunba</i>	Mimosaceae	Leguminosa	FP	7,76	0,51	959,05	57,05	1,83	-33,92	48,92	2,91	16,83
<i>Abarema jupunba</i> var. <i>jupunba</i>	Mimosaceae	Leguminosa	FP					1,3	-32,64	48,74	2,99	16,29
<i>Inga thibaudiana</i>	Mimosaceae	Leguminosa	FP					3,11	-33,81	49,11	3,27	15,02
<i>Inga thibaudiana</i> 2	Mimosaceae	Leguminosa	FP	9,08	0,74	652,88	39,76	3,42	-32,17	48,44	2,95	16,39
<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i>	Mimosaceae	Leguminosa	FP	3,77	1,20	409,54	28,38	2,72	-30,57	49,06	3,40	14,43
<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i>		Leguminosa	FP	8,89	0,64	761,53	44,12	3,11	-32,40	48,85	2,83	17,27
<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	Não-leguminosa	FP	16,42	1,07	422,43	19,55	1,43	-29,07	45,38	2,10	21,62
<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	Não-leguminosa	FP					1,135	-29,57	45,65	2,11	21,68
<i>Gutteria poeppigiana</i>	Annonaceae	Não-leguminosa	FP	9,18	0,45	1068,3	41,72	2,11	-31,04	47,89	1,87	25,66
<i>Lacmellia aculeata</i>	Apocynaceae	Não-leguminosa	FP					1,08	-33,56	47,68	1,54	30,87
<i>Jacaranda copaia</i>	Bignoniaceae	Não-leguminosa	FP	6,86	0,46	1039,0	53,27	1,41	-31,94	48,18	2,47	19,54
<i>Protium pallidum</i>	Burseraceae	Não-leguminosa	FP					0,76	-29,16	44,51	1,31	33,92
<i>Protium tenulfolium</i>	Buseraceae	Não-leguminosa	FP	3,61	0,60	814,16	29,86	1,27	-31,63	49,08	1,80	27,21
<i>Pourouma velutina</i>	Cecropiaceae	Não-leguminosa	FP					2,1	-30,93	45,56	2,73	16,71
<i>Laetia procera</i>	Flacourtiaceae	Não-leguminosa	FP	5,77	1,08	463,40	28,10	1,72	-28,29	50,14	3,04	16,48

APÊNDICE A – Lista de espécies coletadas em florestas secundárias de diferentes idades e floresta de terra-firme em São Francisco do Pará

(conclusão)

Nome científico	Família	Grupo	Idade	Ca (g/kg)	P (g/kg)	C/P	N/P	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	C (%)	N (%)	C/N
<i>Laetia procera</i>	Flacourtiaceae	Não-leguminosa	FP					2,55	-28,86	50,77	2,95	17,21
<i>Vismia guianensis</i>	Guttiferae	Não-leguminosa	FP	8,56	0,93	522,74	18,01	2,56	-32,59	48,48	1,67	29,08
<i>Apeiba burchellii</i> 1	Tiliaceae	Não-leguminosa	FP					2,15	-29,91	45,98	2,04	22,54
<i>Apeiba burchellii</i>	Tiliaceae	Não-leguminosa	FP					1,22	-33,15	44,35	2,55	17,41
<i>Apeiba burchellii</i>	Tiliaceae	Não-leguminosa	FP	23,44	0,97	476,36	21,53	2,56	-29,36	46,02	2,08	22,16
<i>Pouteria oblanceolata</i>		Não-leguminosa	FP					2,17	-29,10	49,63	1,84	26,97

APÊNDICE B – Lista de espécies coletadas em clareiras e floresta de terra-firme na Floresta Nacional do Tapajós
(continua)

Nome Comum	Gênero	Família	Grupo	Idade	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	C (%)	N (%)	C/N
Muirapiranga	<i>Stryphnodendron</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	8,89	-31,2	49,34	2,90	17,03
Fava	<i>Stryphnodendron</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	6,99	-34,31	48,27	3,27	14,75
Cocão	não-identificado		Leguminosa	1 ano	6,48	-30,58	46,74	3,31	14,12
Fava	<i>Parkia</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	6,58	-34,87	48,21	3,57	13,50
Plântula	não-identificado	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	8,73	-34,73	49,14	2,43	20,22
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	7,72	-34,24	47,70	3,05	15,66
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	8,24	-23,69	47,41	3,37	14,07
Ingarana	<i>Zygia</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	6,18	-32,04	49,24	3,97	12,41
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	6,66	-34,81	47,48	2,55	18,59
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	7,26	-33,66	46,35	3,22	14,39
Ingá	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	7,81	-32,47	47,29	3,49	13,54
Ingarana	<i>Zygia</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	6,47	-30,48	49,09	3,31	14,85
Fava Barbatimão	<i>Stryphnodendron</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	6,36	-32,41	48,06	2,60	18,47
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	7,17	-34,96	46,99	3,41	13,78
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	7,62	-30,88	48,46	3,42	14,17
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	7,48	-33,38	47,96	2,89	16,60
Fava Timborana	<i>Pseudopeptadenia</i>	Mimosaceae	Leguminosa	1 ano	8,19	-34,37	48,70	1,94	25,08
Embauba	<i>Cecropia</i>	Cecropiaceae	Não- leguminosa	1 ano	6,99	-32,38	44,73	2,99	14,98
Embauba	<i>Cecropia</i>	Cecropiaceae	Não- leguminosa	1 ano	6,40	-31,91	46,22	3,4	13,59
Matamatá	<i>Eschweilera</i>	Lecythidaceae	Não- leguminosa	1 ano	6,64	-31,73	47,46	2,22	21,42
Matamatá	<i>Eschweilera</i>	Lecythidaceae	Não- leguminosa	1 ano	5,91	-32,08	49,68	2,68	18,54
Tauari	<i>Couratari</i>	Lecythidaceae	Não- leguminosa	1 ano	5,06	-30,39	46,08	2,75	16,76
<i>Brosimum</i>	<i>Brosimum</i>	Moraceae	Não- leguminosa	1 ano	5,9	-31,02	43,87	1,82	24,05
Muiratinga	<i>Maquira</i>	Moraceae	Não- leguminosa	1 ano	6,6	-30,38	44,52	2,44	18,24
Goiabinha	<i>Myrsea</i>	Myrtaceae	Não- leguminosa	1 ano	5,69	-34,21	46,25	1,48	31,36
Muirapininga	<i>Talysia</i>	Sapindaceae	Não- leguminosa	1 ano	7,23	-29,57	49,47	3,34	14,83

APÊNDICE B – Lista de espécies coletadas em clareiras e floresta de terra-firme na Floresta Nacional do Tapajós

(continuação)

Nome Comum	Gênero	Família	Grupo	Idade	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	C (%)	N (%)	C/N
Talysia	<i>Talysia</i>	Sapindaceae	Não-leguminosa	1 ano	6,09	-30,02	46,86	2,27	20,69
Marupá	<i>Simarouba</i>	Simaroubaceae	Não-leguminosa	1 ano	7,34	-31,01	47,37	2,16	21,91
Acariquarana	<i>Rinorea</i>	Violaceae	Não-leguminosa	1 ano	4,61	-32,15	44,72	21,05	21,21
Acariquarana	<i>Rinorea</i>	Violaceae	Não-leguminosa	1 ano	4,73	-31,9	42,17	2,14	19,73
Canela De Jacamim	<i>Rinorea</i>	Violaceae	Não-leguminosa	1 ano	8,7	-30,38	45,13	2,21	20,50
Acariquarana	<i>Rinorea</i>	Violaceae	Não-leguminosa	1 ano	6,83	-30,91	45,81	2,19	20,92
Castanhola	<i>Swartzia</i>	Fabaceae	Leguminosa	3 anos	5,71	-27,88	47,56	2,78	17,09
Fava Amargora	<i>Vataireopsis</i>	Fabaceae	Leguminosa	3 anos	7,34	-31,21	49,91	3,90	12,8
Tachi Preto	<i>Tachigalia</i>	Caesalpiniaceae	Leguminosa	3 anos	8,02	-30,00	51,24	3,19	16,06
Fava Amargosa	<i>Vataireopsis</i>	Fabaceae	Leguminosa	3 anos	5,85	-31,79	48,43	2,84	17,05
Ingá	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	3 anos	6,21	-33,91	51,52	3,41	15,11
Fava Parica	<i>Balisia</i>	Mimosaceae	Leguminosa	3 anos	8,87	-25,10	48,40	4,53	10,69
Ingá	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	3 anos	6,98	-33,21	49,33	2,95	16,71
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	3 anos	4,27	-31,44	48,79	2,6	18,77
Envira Preta	<i>Unonopsis</i>	Annonaceae	Não-leguminosa	3 anos	7,23	-33,29	51,5	2,23	23,14
Envira Branca	<i>Guatteria</i>	Annonaceae	Não-leguminosa	3 anos	6,49	-31,54	47,92	3,14	15,26
Breu	<i>Protium</i>	Burseraceae	Não-leguminosa	3 anos	8,03	-30,67	46,56	2,60	18,13
Canela De Velho	<i>Casearia</i>	Flacourteaceae	Não-leguminosa	3 anos	5,62	-34,01	51,42	1,60	32,16
Tauari	<i>Couratari</i>	Lecythidaceae	Não-leguminosa	3 anos	7,54	-31,09	47,43	2,91	16,3
Matamatá	<i>Eschweilera</i>	Lecythidaceae	Não-leguminosa	3 anos	6,95	-31,1	49,30	2,36	20,85
Muiraubá	<i>Mouriri</i>	Melastomataceae	Não-leguminosa	3 anos	5,31	-31,04	51,80	2,31	22,43
Goiabinha	não-identificado	Myrtaceae	Não-leguminosa	3 anos	6,43	-31,07	41,20	2,33	17,68

APÊNDICE B – Lista de espécies coletadas em clareiras e floresta de terra-firme na Floresta Nacional do Tapajós
(continuação)

Nome Comum	Gênero	Família	Grupo	Idade	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	C (%)	N (%)	C/N
Urucurana	<i>Sloanea</i>	Elaeocarpaceae	Não-leguminosa	3 anos	6,94	-30,65	44,05	2,76	15,96
Urucurana	<i>Sloanea</i>	Elaeocarpaceae	Não-leguminosa	3 anos	6,66	-29,79	43,78	2,94	14,89
Abiurana	<i>Pouteria</i>	Sapotaceae	Não-leguminosa	3 anos	7,19	-32,13	50,99	1,81	28,14
Maparajuba	<i>Manilkara</i>	Sapotaceae	Não-leguminosa	3 anos	6,53	-29,3	54,64	1,53	35,78
Abiurana	<i>Pouteria</i>	Sapotaceae	Não-leguminosa	3 anos	6,04	-31,85	49,23	2,41	20,47
Canela de Jacamim	<i>Rinorea</i>	Violaceae	Não-leguminosa	3 anos	7,17	-31,80	46,02	2,01	22,94
Acariquarana	<i>Rinorea</i>	Violaceae	Não-leguminosa	3 anos	6,4	-31,42	48,73	1,57	30,96
Canela de Jacamim	<i>Rinorea</i>	Violaceae	Não-leguminosa	3 anos	7,52	-32,14	46,58	2,32	20,1
Cariperana	<i>Licaria</i>	Lauraceae	Não-leguminosa	3 anos	5,96	-31,6	47,53	1,87	25,35
Arataciurana	<i>Pausandra</i>	Euphorbiaceae	Não-leguminosa	3 anos	5,05	-32,78	46,2	2,53	18,26
Swartzia	<i>Swartzia</i>	Fabaceae	Leguminosa	5 anos	5,7	-31,66	50,37	2,5	20,12
Ingá	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	5 anos	8,16	-33,53	50,47	2,8	18,02
Ingá	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	5 anos	9,29	-31,78	49,73	3,03	16,42
Ingá	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	5 anos	9,69	-31,46	49,00	2,43	20,17
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	5 anos	6,91	-32,94	51,49	3,21	16,02
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	5 anos	7,32	-34,19	55,16	3,17	17,45
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	5 anos	7,31	-32,32	52,54	3,71	14,16
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	5 anos	7,6	-29,91	50,84	3,29	15,43
Ingá	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	5 anos	7,2	-32,19	52,16	3,48	14,98
Fava		Mimosaceae	Leguminosa	5 anos	4,22	-33,43	49,68	3,98	12,47
Embaúba	<i>Cecropia</i>	Cecropiaceae	Não-leguminosa	5 anos	6,78	-30,13	47,72	2,03	23,53
Embaúba	<i>Cecropia</i>	Cecropiaceae	Não-leguminosa	5 anos	7,21	-29,4	50,40	2,80	18,01
Lacre	<i>Vismia</i>	Clusiaceae	Não-leguminosa	5 anos	5,43	-33,92	52,52	1,59	33,06

APÊNDICE B – Lista de espécies coletadas em clareiras e floresta de terra-firme na Floresta Nacional do Tapajós
(continuação)

Nome Comum	Gênero	Família	Grupo	Idade	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	C (%)	N (%)	C/N
Pau Jacaré	<i>Laetia</i>	Flacourteaceae	Não-leguminosa	5 anos	6,48	-32,7	50,67	2,33	21,76
Muiratinga Folha Graúda	<i>Maquira</i>	Moraceae	Não-leguminosa	5 anos	9,96	-29,59	46,92	2,12	22,12
Tabocão	<i>Cocoloba</i>	Poligonaceae	Não-leguminosa	5 anos	7,97	-31,37	50,32	2,74	18,41
Tachi	<i>Tachigalia</i>	Caesalpiniaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	7,98	-33,03	48,63	2,83	17,22
Tachi	<i>Tachigalia</i>	Caesalpiniaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	7,19	-30,84	50,46	2,71	18,59
Melancieira	<i>Alexa</i>	Fabaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	6,81	-27,15	49,08	2,76	17,8
Fava Barbatimão	<i>Stryphnodendron</i>	Fabaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	8,06	-30,58	47,56	4,26	11,16
Angelim Rajado	<i>Zygia</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	8,09	-33,32	47,92	3,34	14,33
Angelim Rajado	<i>Zygia</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	8,61	-32,89	48,17	3,72	12,95
Bauinia	<i>Abarema</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	6,31	-28,04	46,7	3,81	12,25
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	6,37	-34,02	45,82	2,59	17,67
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	6,64	-29,88	48,84	2,95	16,58
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	6,85	-31,25	46,97	3,35	14,02
Angelim Rajado	<i>Zygia</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	8,51	-33,04	48,48	3,07	15,77
Breu	<i>Protium</i>	Burseraceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	7,29	-31,87	46,14	2,28	20,25
<i>Pausandra</i>	<i>Pausandra</i>	Euphorbiaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	7,5	-32,58	45,43	2,62	17,33
Louro	<i>Ocotea</i>	Lauraceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	6,57	-33,74	52,69	3,16	16,67

APÊNDICE B – Lista de espécies coletadas em clareiras e floresta de terra-firme na Floresta Nacional do Tapajós
(continuação)

Nome Comum	Gênero	Família	Grupo	Idade	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	C (%)	N (%)	C/N
Matamatá	<i>Eschweilera</i>	Lecythidaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	6,04	-32,65	48,43	2,48	19,54
Matamatá	<i>Eschweilera</i>	Lecythidaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	5,4	-31,35	48,29	2,95	16,37
Muiratinga	<i>Maquira</i>	Moraceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	7,1	-32,02	43,38	2,35	18,46
Abiurana Vermelha	<i>Pouteria</i>	Sapotaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	7,17	-31,9	50,21	2,18	23,04
Acariquarana	<i>Rinorea</i>	Violaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	6,32	-31,90	47,44	2,27	20,94
Tachi Vermelho	<i>Tachigalia</i>	Caesalpiniaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	6,41	-30,49	51,48	2,39	21,57
Tachi Preto	<i>Tachigalia</i>	Caesalpiniaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	6,34	-31,04	51,72	3,33	13,51
Tachi Preto	<i>Tachigalia</i>	Caesalpiniaceae -	Leguminosa	Floresta de terra-firme	5,16	-31,74	49,06	3,33	14,74
Mututi	<i>Pterocarpus</i>	Fabaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	6,14	-28,04	49,99	2,63	19,15
Ingá	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	7,24	-30,41	47,78	3,38	14,16
Ingá	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	6,43	-31,7	51,55	3,58	14,4
Fava Tucupi	<i>Parkia</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	5,88	-29,16	52,12	2,84	18,35
Ingá	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	7,00	-30,8	50,12	3,09	16,21
Ingá	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	7,51	-32,56	50,11	3,69	13,57
Angelim Rajado	<i>Zygia</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	5,34	-31,02	49,42	3,81	12,98
Fava	<i>Abarema</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	6,32	-30,22	50,33	2,77	18,28
Ingá	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	5,2	-34,8	46,00	3,00	15,35
Breu	<i>Protium</i>	Burseraceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	6,6	-32,4	45,13	2,27	19,9

APÊNDICE B – Lista de espécies coletadas em clareiras e floresta de terra-firme na Floresta Nacional do Tapajós
(continuação)

Nome Comum	Gênero	Família	Grupo	Idade	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	C (%)	N (%)	C/N
Breu	<i>Protium</i>	Burseraceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	3,1	-34,09	43,33	1,68	25,73
Itauba Abacate	<i>Mezilaurus</i>	Lauraceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	6,68	-30,85	51,6	2,1	24,58
Louro	<i>Sextonia</i>	Lauraceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	3,04	-30,91	51,36	1,82	28,16
Matamatá	<i>Eschweilera</i>	Lecythidaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	5,05	-30,71	49,45	2,11	23,42
Muruci da Mata	<i>Byrsonima</i>	Malpighiaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	6,4	-31,64	51,35	2,31	22,23
Papa Terra	<i>Miconia</i>	Melastomataceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	6,44	-31,03	44,71	2,85	15,69
Andiroba	<i>Carapa</i>	Meliaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	5,99	-30,5	48,39	1,74	27,82
Jatauba	<i>Guarea</i>	Meliaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	6,67	-32,49	46,47	2,17	21,46
Ucuubarana	<i>Iryanthera</i>	Miristicaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	6,5	-31,92	53,65	2,08	25,85
Janitá	<i>Clarisia</i>	Moraceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	4,43	-32,94	40,71	2,73	14,91
Mururé	<i>Brosimum</i>	Moraceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	3,68	-33,34	44,3	2,25	19,72
Guariuba	<i>Clarisia racemosa</i>	Moraceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	4,95	-32,11	45,38	2,42	18,72
Acariquara	<i>Minquartia</i>	Olacaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	5,37	-29,45	45,95	1,68	27,44
Urucurana	<i>Sloanea</i>	Elaeocarpaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	5,95	-32,06	42,94	2,35	18,27
Maçaranduba	<i>Manilkara</i>	Sapotaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	5,92	-31,79	52,44	1,42	37,02
Abiurana	<i>Pouteria</i>	Sapotaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	7,69	-29,89	51,65	1,63	31,73
Abiurana Vermelha	<i>Pouteria</i>	Sapotaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	4,4	-31,53	47,02	1,42	33,15
Acariquarana	<i>Rinorea</i>	Violaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	5,99	-31,21	44,7	1,51	29,58

APÊNDICE B – Lista de espécies coletadas em clareiras e floresta de terra-firme na Floresta Nacional do Tapajós
(conclusão)

Nome Comum	Gênero	Família	Grupo	Idade	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	C (%)	N (%)	C/N
Cocão	não-identificado		Leguminosa	Floresta de terra-firme	8,36	-29,79	49,6	3,25	15,24
Inga	<i>Inga</i>	Mimosaceae	Leguminosa	Floresta de terra-firme	7,72	-29,87	51,12	3,45	14,83
Envira Preta	<i>Unonopsis</i>	Annonaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	7,51	-28,1	51,97	2,6	20,02
Envira Surucucu	<i>Duguetia</i>	Annonaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	6,47	-32,25	50,41	3,47	14,51
Molongó	<i>Lacmellea</i>	Apocinaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	7,00	-32,18	51,63	1,02	50,52
Quinarana	<i>Geissospermum</i>	Apocinaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	9,99	-31,07	53,87	3,59	15,02
Urucu Da Mata	<i>Bixa</i>	Bixaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	7,49	-28,24	53,92	2,32	23,25
Louro	<i>Ocotea</i>	Lauraceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	6,55	-32,26	53,62	2,71	19,8
Jarana	<i>Lecythis</i>	Lecythidaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	10,35	-31,1	51,55	2,46	21,00
Puruí	<i>Duroia</i>	Rubiaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	6,66	-30,55	50,61	1,97	25,70
Abiu Jará	<i>Pouteria</i>	Sapotaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	6,35	-30,22	50,98	1,57	32,5
Abiurana Vermelha	<i>Pouteria</i>	Sapotaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	8,11	-33,89	53,58	2,15	24,92
Maçaranduba	<i>Manilkara</i>	Sapotaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	7,44	-28,54	53,77	1,48	36,36
Acariquarana	<i>Rinorea</i>	Violaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	8,17	-31,26	47,64	1,96	24,32
Acariquarana	<i>Rinorea</i>	Violaceae	Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	7,85	-29,16	49,55	1,49	33,36
Amarelinho	não-identificado		Não-leguminosa	Floresta de terra-firme	7,18	-32,42	44,36	3,06	14,5

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)