

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE UNB PLANALTINA

RAY PINHEIRO ALVES

DINÂMICA DE NITROGÊNIO EM SISTEMA AGROFLORESTAL NA
REGIÃO DE CERRADO (BRASIL CENTRAL)

PLANALTINA - DF

2012

RAY PINHEIRO ALVES

**DINÂMICA DE NITROGÊNIO EM SISTEMA AGROFLORESTAL NA
REGIÃO DE CERRADO (BRASIL CENTRAL)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso
de Gestão Ambiental, como requisito parcial à obtenção
do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Gabriela Bielefeld Nardoto

PLANALTINA - DF

2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Alves, Ray Pinheiro

Dinâmica de nitrogênio em sistema agroflorestal na região de Cerrado (Brasil Central)/ Ray Pinheiro Alves. Planaltina - DF, 2012. 66 f.

Monografia - Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental.

Orientadora: Gabriela Bielefeld Nardoto

1. Dinâmica de Nitrogênio. 2. Sistemas Agroflorestais. 3. Cerrado . I. Alves, Ray. II. Título.

RAY PINHEIRO ALVES

**DINÂMICA DE NITROGÊNIO EM SISTEMA AGROFLORESTAL NA
REGIÃO DE CERRADO (BRASIL CENTRAL)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Banca Examinadora:

Planaltina-DF, 24 de Setembro de 2012.

Prof^a Dr^a. Gabriela Bielefeld Nardoto – UnB/FUP

(Orientadora)

Dr^a. Arminda Moreira de Carvalho – EMBRAPA CERRADOS

(Examinadora Externa)

Dr^a. Maria Regina Silveira Sartori da Silva – UnB/ECL

(Examinadora Interna)

**Dedico este trabalho à minha família,
em especial aos meus amados pais,
Vera e Edson, seres humanos que me inspiram sempre.**

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Gabriela Bielefeld Nardoto por acreditar na ideia que culminou neste trabalho, pela orientação, confiança, apoio e incentivo profissional. Agradeço de coração;

Ao projeto SISBIOTA-Cerrado, financiado pelo CNPq que prestou suporte para a realização das análises laboratoriais, sob a coordenação geral da Dr^a Mercedes Bustamante (UnB);

Ao Dr. Luiz Antonio Martinelli pela disponibilização do Laboratório de Ecologia Isotópica (CENA/USP) para o meu treinamento em análises isotópicas;

Ao grande camarada Luis Felipe Salemi (Urso) pela estadia em Piracicaba, pelas conversas sobre a vida, pesquisa, sociedade, desafios e conquistas de ser pioneiro em Gestão Ambiental;

À Gabriela Teixeira, Viviane Miranda e Simone Mitre pela ajuda e apoio nas análises realizadas no Laboratório de Ecologia de Ecossistemas – IB;

À Samara e Natália pela ajuda em campo e laboratório, assim como ao programa PIBIC/UnB pela iniciação científica concedida a elas;

Ao Maurício Hoffman que sempre se apresentou disposto a contribuir com esta pesquisa cedendo a área de estudo para as intervenções e esclarecimentos sobre SAFs;

À minha turma que dividiu rotina de aulas, relatórios, provas, anseios e conquistas durante estes anos;

Ao universo que me permite ser cada vez mais agradecido;

E a todas as pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram para que este trabalho se realizasse;

À vida que me permite aprender.

Agradeço de coração!

“Benditas são as coisas que acontecem em minha vida, pois elas me fazem ser quem eu sou.” **Professor Hermógenes**

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

“O movimento é natural, surge espontaneamente. Por essa razão a transformação do antigo torna-se fácil. O velho é descartado, e o novo é introduzido. Ambas as medidas se harmonizam com o tempo, não resultando daí, portanto, nenhum dano.”

I Ching

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1. Introdução.....	14
2. Objetivos	18
2.1 Objetivo Geral.....	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3. Hipóteses	18
4. Revisão Bibliográfica.....	19
4.1 Sistemas Agroflorestais (SAFs)	19
4.2 Classificação de SAFs	20
4.2.1 Sistemas Agroflorestais Estáticos	21
4.2.2 Sistema Agroflorestal Sucessional	21
4.3 Poda.....	24
4.4 Dinâmica de N	25
4.4.1 Alterações na dinâmica do N	26
4.4.2 Dinâmica de N no Cerrado	27
4.4.2.1 Mineralização de N no Cerrado.....	28
4.5 Carbono e Nitrogênio em Sistema de Integração Lavoura Pecuária.....	29
4.6 Abundância natural de ¹⁵ N.....	29
5. Material e Métodos	31
5.1 Área de estudo.....	31
5.2 Coleta de dados	33

5.3	Análises laboratoriais	35
5.4	Análises estatísticas	38
6.	Resultados	38
6.1	Solo.....	38
6.2	Planta.....	44
6.2.1	Leguminosas e não leguminosas.....	44
6.3	Serapilheira	48
7.	Discussão.....	48
7.1	Solo	48
7.2	Serapilheira	51
7.3	Planta.....	52
8.	Conclusão	54
9.	Considerações Finais.....	55
10.	Referências Bibliográficas.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modificado de Ernst Götsch (não publicado).....	23
Figura 2 - Localização da área de estudo, Sítio Dagrofloresta, Planaltina-DF.	31
Figura 3 - Variação da média mensal de precipitação pluvial e temperatura Janeiro/2011 à Janeiro/2012. Fonte: Embrapa Cerrados.	32
Figura 4 - A Relação C/N no intervalo entre 0-20cm no solo analisado; B Relação entre o valor médio da concentração de N (%) do solo e o intervalo de solo correspondente na área de estudo; C Relação entre o valor médio do $\delta^{15}\text{N}$ do solo (‰) e o intervalo de solo correspondente na área de estudo; D Estoque de N no solo calculado com correção para espessura do solo.	41
Figura 5 - N disponível no solo.	42
Figura 6 - Taxa de mineralização líquida diária.	43
Figura 7 - Taxa de nitrificação líquida diária.	43
Figura 8 - Razão N-inorgânico/N-total.	44
Figura 9 - Distribuição dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ para as espécies lenhosas amostradas na área estudada.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de espécies agrofloresta Sítio Dagrofloresta.	34
Tabela 2 - Composição granulométrica do solo estudado.	38
Tabela 3 - Características químicas do solo da área de SAF estudado para o intervalo de 0 a 20 cm de profundidade.	39
Tabela 4 - pH do solo em CaCl ₂ e em H ₂ O, nos perfis amostrados.	39
Tabela 5 - Valores médios da composição isotópica e nutricional (e desvio padrão - DP) das espécies leguminosas e não-leguminosas para a área de SAF estudada.	45
Tabela 6 – Relação de espécies de leguminosas arbóreas plantadas no SAF e respectivos valores foliares de $\delta^{15}\text{N}$, N e C/N.	46
Tabela 7 - Relação de espécies não leguminosas arbóreas plantadas no SAF e respectivos valores foliares de $\delta^{15}\text{N}$, N e C/N.	47
Tabela 8 - Valores de $\delta^{15}\text{N}$, N e C/N para os pontos de serapilheira amostradas.	48

RESUMO

Dinâmica de nitrogênio em Sistema Agroflorestal na região de Cerrado (Brasil Central)

Práticas sustentáveis de manejo do solo como Sistemas Agroflorestais (SAFs) tem sido cada vez mais requisitadas, o cenário de desmatamento, conversão de vegetação nativa em áreas agrícolas ou pastagem e a degradação do solo, tem apresentado que a mudança de uso da terra vem prejudicado os serviços ambientais prestados pelos ecossistemas e suas funções. O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica de nitrogênio em um Sistema Agroflorestal Sucessional Biodiverso localizado na região de Cerrado do Brasil Central (Região Administrativa de Planaltina-DF), com ênfase nos principais estoques e fluxos de nitrogênio no sistema solo-planta-serapilheira. A média da razão C/N encontrada no solo foi 14. A concentração de N total no solo variou de 0,20% na superfície (0-5cm) a 0,10% no intervalo de 10-20cm de profundidade, houve incremento de ^{15}N ao longo do perfil variando entre 6,3‰ na superfície (0-5cm) a 7,4‰ (10-20cm). O estoque de N variou com a profundidade, apresentando o maior valor médio $1,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ na camada superficial do solo (0-5cm). Houve predomínio na concentração de N-NH_4^+ em relação ao N-NO_3^- durante o período analisado. Nas plantas, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar variaram entre -1,4 e 6,2‰ incluindo as espécies arbóreas leguminosas e não leguminosas. A concentração de N foliar média foi maior nas leguminosas em relação às não leguminosas. A razão C/N foliar média das espécies não leguminosas foi maior que as leguminosas. Não houve diferença significativa na média de $\delta^{15}\text{N}$ foliar entre o valor médio das espécies leguminosas e não leguminosas. Entretanto, as espécies leguminosas arbóreas investigadas distribuíram-se em três grupos (não nodulantes, nodulantes ativas e nodulantes inativas) ao considerar a ocorrência de FBN quando a diferença entre o $\delta^{15}\text{N}$ foliar médio das espécies leguminosas e o $\delta^{15}\text{N}$ foliar médio das não leguminosas (2,7‰) ficou $\geq 1\%$. Os valores encontrados tanto para $\delta^{15}\text{N}$, N e C/N indicaram variação espacial na composição de serapilheira. A ausência de FBN em leguminosas que comumente fixam nitrogênio corrobora com a alta redistribuição de N no sistema. Após o período de 10 anos de implantação do SAF, observaram-se mudanças na dinâmica de nitrogênio com aumento na sua disponibilidade no sistema, entretanto o estoque no solo permaneceu semelhante, quando comparado as fitofisionomias com dominância de estrato arbóreo no Cerrado.

Palavras chave: Dinâmica de nitrogênio; Sistemas Agroflorestais; Cerrado; Isótopos estáveis de nitrogênio; Leguminosas.

ABSTRACT

Nitrogen dynamics in Agroforest System in region of Cerrado (Central Brazil)

The need of sustainable practices of soil management as Agroforestry Systems (AFSs) have increased lately in face of the present scenario of deforestation, conversion of native vegetation in crop or pasture areas and soil degradation. Changes in land use usually are associated with alterations in the ecosystem services and functions. The objective of this study was to investigate the nitrogen dynamics in an AFS of high diversity of tree species, localized in the region of Cerrado in Central Brazil (Administrative Region of Planaltina-DF), with emphasis in the main stocks and fluxes of nitrogen in the soil-plant-litter system. The average of the soil C/N ratio was 14. The total N concentration in the soil ranged from 0,20% in the surface (0-5cm) to 0,10% in the 10-20cm depth. There was a increase of ^{15}N along the soil profile ranging between 6,3% in the surface (0-5cm) to 7,4% (10-20cm). The stock of N varied with depth, showing the highest average value of $1,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ in the surface layer of soil (0-5cm). The concentration of N-NH_4^+ predominated in relation to N-NO_3^- throughout a year-period. Foliar $\delta^{15}\text{N}$ varied between -1,4 e 6,2‰ including tree legumes in relation to non legume trees. The average foliar C/N ratio of the non legumes was greater than the legume species. There was no significant difference in the average of foliar $\delta^{15}\text{N}$ between legume and non legume species. Tree legumes was further distributed in three groups (non nodulating, active nodulating, inactive nodulating) considering the occurrence of biological nitrogen fixation (BNF) when the difference between the average foliar $\delta^{15}\text{N}$ of a single legume species and the average foliar $\delta^{15}\text{N}$ of the non legume species (2,7‰) was ≥ 1 ‰. The values founded to $\delta^{15}\text{N}$, N e C/N indicated spatial variation in the litter composition. The absence of BNF in legumes, which commonly fix nitrogen corroborates the high redistribution of N in the system. After the period of ten years of implantation of the AFS, there was an increase in N availability in the system, while the N stock in the soil did not change when compared to Cerrado phytophysionomies with dominance in the tree layer.

Keywords: Nitrogen dynamics; Agroforest System; Cerrado; Stable isotopes of nitrogen; Legumes.

1. Introdução

Grandes transformações no território brasileiro decorreram da expansão agrícola, especialmente no Cerrado, influenciadas pela abertura e estabilização da economia bem como a expansão do crédito, devido a políticas comerciais e agrícolas realizadas durante os anos 1990 (HELFAND; REZENDE, 2003).

Tal expansão sobre o Cerrado tem promovido processos de aceleração da degradação, conversão de áreas nativas em pastagens e cidades, acarretando a perda de biodiversidade, problemas socioeconômicos, erosão, poluição de corpos d'água e do ar, interferindo claramente sobre as dimensões sociais, econômicas e ambientais (KLINK; MOREIRA, 2005; SEITZ, 1994; MANTOVANI; PEREIRA, 1998).

Esse cenário de desmatamento, conversão de vegetação nativa em áreas agrícolas ou pastagem, expansão de culturas fixadoras de nitrogênio, aumento das taxas de consumo de fertilizantes, crescimento populacional e urbanização desenfreada tem contribuído para direcionar as alterações do ciclo do nitrogênio na América do Sul, em especial nos biomas brasileiros, dentre eles, o Cerrado (LAURANCE *et al.*, 2004; FILOSO *et al.*, 2006).

Ainda que o modelo intensivo do sistema de produção agrícola hegemônico desenvolvido no Cerrado seja altamente produtivo, ele se baseia no crescente consumo de fertilizantes e agroquímicos, fato que confere sua alta insustentabilidade (GOEDERT, 1983; BROSSARD; LOPEZ-HERNANDEZ, 2005). Práticas não sustentáveis de manejo podem causar degradação da qualidade física, química e biológica de forma a alterar e diminuir a qualidade do solo (COSTA *et al.*, 2003; NUNES, 2003), prejudicando os serviços ambientais prestados pelos ecossistemas e suas funções.

O Cerrado ocupa a posição de segundo maior bioma, pois abrange 20% da superfície nacional (RIBEIRO; WALTER, 1998) e é classificado como a savana mais biodiversa do planeta (SILVA; BATES, 2002). Além disso, é considerado um *hotspot*, ou seja, está entre as

34 regiões mais ameaçadas do mundo, as quais apresentam grandes concentrações de espécies endêmicas concomitantemente ameaçadas pelo alto índice de perda de habitat (MYERS *et al.*, 2000; MITTERMEIER *et al.*, 2005).

Em 2004, remanescentes de vegetação nativa de Cerrado cobriam menos de 50% da área original do bioma e somente 2,2% desta área estava sobre proteção legal (KLINK; MACHADO, 2005).

Os perfis de solo profundos, topografia plana e duas estações bem definidas (chuva e seca) favorecem o planejamento de plantio e colheita em grandes áreas deste bioma, enquadrando-o como a última grande fronteira agrícola mundial (BORLAUG, 2002; BRANNSTROM *et al.*, 2008).

Dentro do contexto de desmatamento, conversão de vegetação nativa e pastagem ou área agrícola, seguidos de intensificação e melhoramento de técnicas agrícolas, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) tem sido apresentados como uma alternativa de uso sustentável do solo, apresentando capacidade de aumentar níveis de produtividade das lavouras de pequenos agricultores, além de melhorar a qualidade e a quantidade de matéria orgânica do solo (CARDOSO *et al.*, 2005). Os SAFs são considerados como sistemas de manejo conservacionistas, que buscam manter as condições do solo próximas das condições naturais, a partir do aumento da diversidade de espécies cultivadas (NAIR, 1993).

Por definição, SAF é uma série de práticas de manejo conservacionistas em que componentes arbóreos são manejados em conjunto com culturas agrícolas e/ou pastagens. Tem-se utilizado estes sistemas para reabilitar a capacidade de produção de áreas degradadas, bem como trazer benefícios sociais e agroecossistêmicos (SZOTT *et al.*, 1991; FEARNSIDE, 1998).

Os consórcios propostos pelos SAFs impulsionam a recuperação física e biológica do solo, além de apresentar grande importância para a manutenção de sua estrutura e fertilidade

(GRIMALDI *et al.*, 1993). Além de contribuir de forma significativa para recuperar a produtividade do solo, bem como a sua biodiversidade (TAPIA-CORAL *et al.*, 2005, LOSS *et al.*, 2009), o plantio simultâneo de espécies anuais e perenes de interesse madeireiro tendem a aumentar a produção de serapilheira (TAPIA-CORAL *et al.*, 2005). A taxa de deposição e a posterior decomposição deste material auxilia na recuperação das propriedades físico-químicas e biológicas do solo em áreas de SAFs (SZOTT *et al.*, 1991, XAVIER *et al.*, 2006, LOSS *et al.*, 2009).

Os avanços experimentais tanto da parte dos agricultores quanto em experimentos científicos tem apresentado que os SAFs mais complexos tendem a se assemelhar com as florestas naturais, baseando sua implementação nos conceitos de biodiversidade e sucessão ecológica, apontando novos caminhos para a agricultura em áreas tropicais. Desta forma, os SAFs tornaram-se parte integrante de diretrizes centrais de desenvolvimento rural sustentável devido ao potencial produtivo sob a perspectiva de minimizar o desmatamento sobre as florestas primárias. Além de ser uma opção estratégica para pequenos agricultores devido à baixa demanda de insumos e o seu maior rendimento líquido por unidade de área em comparação a sistemas convencionais de produção e fornecerem inúmeros serviços socioambientais (GANDARA; KAGEYAMA, 2001).

Desta forma, o uso de SAF de alta diversidade apresenta-se como uma opção sustentável e estratégica para a produção familiar, devido à variedade da produção e rentabilidade, além de fornecer serviços ambientais, que podem ser valorados e convertidos em créditos ambientais, de forma a incrementar o valor agregado da propriedade agrícola (GANDARA; KAGEYAMA, 2001; EMBRAPA, 2011).

Em vista dos quadros sucessionais apresentados pelos SAFs, percebeu-se a necessidade de estudar os nutrientes deste sistema, de forma a diagnosticar a sua dinâmica de

ciclagem, de forma especial, o nitrogênio (N), fundamental para a manutenção da produtividade do sistema.

Pode-se avaliar a dinâmica de nitrogênio em um ecossistema através da medida da abundância natural de isótopos estáveis de N ($\delta^{15}\text{N}$) (HANDLEY; RAVEN, 1992; HÖGBERG, 1997; NADELHOFFER; FRY, 1994). Ao avaliar que a disponibilidade de nutrientes é indiretamente afetada pela disponibilidade hídrica (QUILCHANO *et al.*, 1995), a diferença natural de precipitação (AUSTIN; VITOUSEK, 1998) e diferenças no comprimento da estação seca podem agir como orientadores da “abertura” e “fechamento” da ciclagem de N. (MARTINELLI *et al.*, 1999, NARDOTO 2005, NARDOTO *et al.*, 2008).

Mesmo com o crescimento de estudos sobre dinâmica de N durante o processo de sucessão secundária (após abandono agrícola e/ou pastagem) onde se tem observado incremento na disponibilidade de N com idade florestal (DAVIDSON *et al.*, 2007; SIDDIQUE *et al.*, 2008), o conhecimento sobre a ciclagem de nitrogênio em SAFs de alta biodiversidade implantados em áreas de Cerrado ainda é muito insipiente (REIS *et al.*, 2010). Além disso, sabe-se muito pouco a respeito da identificação de espécies arbóreas que tenham maior potencial de contribuição na qualidade da serapilheira (menores razões C/N foliar) nos sistemas em questão.

Para este estudo, foi escolhido um SAF no bioma Cerrado, na Região Administrativa de Planaltina-DF, com a intenção de obter dados que permitam auxiliar no entendimento da dinâmica de N nestes sistemas, com ênfase nos seus principais fluxos no sistema solo-planta-serapilheira. Portanto, tentar compreender os efeitos da fertilidade e disponibilidade hídrica sobre a ciclagem de N em SAFs, de forma a contribuir para o entendimento dos padrões naturais da dinâmica desse nutriente, o qual é o maior fator limitante da produção primária em ecossistemas terrestres.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a dinâmica de nitrogênio em um Sistema Agroflorestal (SAF) Sucessional Biodiverso, após dez anos de implantação, localizado na região de Cerrado do Brasil Central (Região Administrativa de Planaltina-DF), com ênfase nos principais estoques e fluxos de nitrogênio no sistema solo-planta-serapilheira.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a importância da ciclagem interna do N versus as suas entradas e saídas de N no sistema (ciclagem externa) através da metodologia isotópica;
- b) Avaliar a contribuição das leguminosas arbóreas como fonte de N para o sistema;
- c) Avaliar a contribuição das leguminosas arbóreas para a qualidade da serapilheira;
- d) Estimar o estoque de N no solo.

3. Hipóteses

Baseando-se em um SAF de alta riqueza de espécies com a família *Fabaceae* compreendendo cerca de 1/3 das espécies arbóreas plantadas, as hipóteses foram:

- a) A disponibilidade de N no sistema solo-planta-serapilheira e o seu estoque no solo são maiores em SAF comparado com fitofisionomias do Cerrado com dominância de estrato arbóreo (cerrado *sensu stricto* e cerradão), indicando uma abertura na ciclagem de N, com consequente aumento da ciclagem externa de N nestes sistemas;
- b) A alta concentração de N foliar das leguminosas arbóreas do SAF contribui para a alta qualidade de serapilheira (dada por baixas razões C/N).

4. Revisão Bibliográfica

4.1 Sistemas Agroflorestais (SAFs)

O manejo agrícola convencional muitas vezes ocasiona diminuição da qualidade do solo, acarretando perda de produtividade e tornando o processo de produção mais caro. Frente a isso, percebe-se a preocupação no desenvolvimento de agroecossistemas conservacionistas. Neste ínterim, os SAFs apresentam-se como alternativa para minimizar danos causados pelo modelo de agricultura convencional, sob a perspectiva de recuperar e manter a qualidade ambiental e as vantagens econômicas do agroecossistema (ALEGRE; CASSEL, 1996; JACKSON; WALLACE, 2000; HAIRIAH *et al.*, 2006; JIANBO, 2006; AGUIAR, 2008).

O termo “Sistemas Agroflorestais” foi criado para nomear de forma científica práticas de agricultura de comunidades tradicionais, em que o plantio de espécies arbóreas é feito em consórcio com sistemas de produção agrícola (SUGASTI, 2008). De acordo com Krishnamurthy *et al.* (2003), o SAF é uma forma de manejo ecológico de recursos naturais, conhecida e transmitida por diversas gerações de camponeses de várias partes do planeta.

Os SAFs são um tipo de uso da terra em que espécies perenes lenhosas (arbustos, árvores, palmeiras, bambus) podem ser propositalmente consorciadas com culturas agrícolas e/ou animais. Para que tais consórcios possam ser chamados de agroflorestais deve-se ter na sua composição ao menos uma espécie florestal típica (nativa ou aclimatada) de estrato arbóreo ou arbustivo em estado natural, florestas ou capoeiras (DUBOIS, 2008).

O Centro Mundial Agroflorestal (The World Agroforestry Centre – www.worldagroforestry.org) define agrossilvicultura (termo utilizado para designar técnicas utilizadas na implantação e manejo de SAFs), de forma mais abrangente e curta, como a integração de árvores em paisagens rurais produtivas.

O SAF correlaciona vantagens econômicas, ambientais e sociais, ao consorciar espécies frutíferas, madeireiras, medicinais e forrageiras em um desenho espacial e

sucessional permitindo colheitas desde o primeiro ano, relacionando culturas anuais e de ciclo curto com espécies de ciclos médios e longos (ARMANDO *et al.*, 2003).

De forma geral, os SAFs são empregados com objetivos de diversificar a produção, de forma a diminuir efeitos de sazonalidade econômica; aumentar os níveis de matéria orgânica no solo, fixação biológica de nitrogênio atmosférico e ciclagem de nutrientes; modificar o microclima; e otimizar a produção com foco conceitual na produção sustentável (SOMARRIBA, 1992). De acordo com a FAO (1995), os SAFs são estimulantes à sustentabilidade ambiental, por beneficiar a preservação da fauna, flora, fixação biológica de nitrogênio e a ciclagem de nutrientes.

A implantação de SAFs pode trazer benefícios para a vegetação da área utilizada como a melhoria da fertilidade do solo, qualidade da serapilheira e favorecimento de estágios avançados de macrofauna edáfica (PENEIREIRO, 1999). Logo, adotar este tipo de sistema pode constituir um novo equilíbrio para o solo utilizado anteriormente sem práticas de manejo conservacionistas (MAIA *et al.*, 2004).

Algumas espécies são escolhidas para gerar renda, mas outras de pouco ou nenhum valor comercial também podem fazer parte dos sistemas com a incumbência de incrementar a capacidade produtiva do solo. Por exemplo, espécies adubadoras que são podadas ou rebaixadas periodicamente; espécies de serviço que possuem a função de favorecer o ambiente ao desenvolvimento de outra (DUBOIS, 2008).

4.2 Classificação de SAFs

Os SAFs tem sido classificados de acordo com suas diferentes formas, estruturas espaciais, dinâmicas ao longo do tempo, importância relativa e funções de diferentes componentes, bem como os objetivos produtivos e características sociais e econômicas (MACEDO *et al.*, 2000).

A classificação mais usual baseia-se em aspectos funcionais e estruturais qualificando estes sistemas em quatro categorias. Desta forma, os sistemas silvipastoris são compostos por estratos arbóreos e/ou arbustivos e pastagem; os sistemas agrosilvipastoris abrangem o extrato arbóreo e/ou arbustivo, pastagem, culturas anuais, criação e manejo de animais; os silviagrícolas que incluem culturas agrícolas anuais com extrato arbóreo e/ou arbustivo; e os classificados como multiestratificados ou sucessionais (NAIR, 1985; SUGASTI, 2008; DUBOIS, 2008).

De acordo com Dubois (2008) os SAFs se diferenciam em relação ao tempo em duas principais categorias:

- a) Concomitantes (ou simultâneos), nos quais as espécies são associadas no mesmo período, durante todo o ciclo das culturas;
- b) Sequenciais, nestes existe uma relação cronológica entre as espécies que se sucedem no sistema ao longo do tempo.

4.2.1 Sistemas Agroflorestais Estáticos

Nestes sistemas, o manejo e intervenções não modificam a composição e estrutura do consórcio. Não há ocorrência de poda ou manejo do estrato dominante e admitem-se basicamente dois estratos, o dominante e o arbustivo. As intervenções feitas são a colheita de frutos e capina seletiva (DUBOIS, 2008).

4.2.2 Sistema Agroflorestal Sucessional

Os SAFs sucessionais são caracterizados por serem multiestratificados, implementados e manejados sob a orientação de reproduzir a dinâmica de sucessão ecológica natural de uma floresta nativa, mas com conteúdo e intervenções que respondem aos objetivos de segurança alimentar e aumento de renda familiar (MICHON, 1998).

O processo sucessional pode ser dividido em sistemas (colonizador, acumulação e abundância), diferenciando-se pelo consórcio de espécies pioneiras, secundárias, intermediárias e transicionais, com adaptações para cada sistema. As intervenções de capinas seletivas e podas periódicas servem para acelerar acumulação de matéria orgânica no solo. Os indivíduos crescem juntos, entretanto em cada fase da sucessão existirá uma comunidade dominante (AMADOR,1999). No SAF sucessional biodiverso os indivíduos de espécies mais tardias não se desenvolvem enquanto as precoces não tiverem seu período de dominância. Em outras palavras, as espécies precoces tutoram as tardias, pois favorecem o desenvolvimento das condições necessárias para as subsequentes (PENEIREIRO, 1999). Desta forma, a transformação de matéria orgânica de um período de dominância para outro, promove a continuidade de interdependência entre os indivíduos na escala temporal ao longo do processo sucessional (Figura 1) (GÖTSCH, 1995).

Deve-se distinguir que entre a diversidade de formas e estruturas dos SAFs, onde um movimento no Brasil, articulado por organizações de agricultores, grupos de assessoria técnica à agricultura familiar e centros de pesquisa e ensino tem difundido o termo agrofloresta para designar SAFs sucessionais biodiversos e agroecológicos, com características que são similares ecologicamente à sucessão natural dos ecossistemas, por consequência da diversidade de espécies agrícolas e florestais (DUBOIS, 2008).

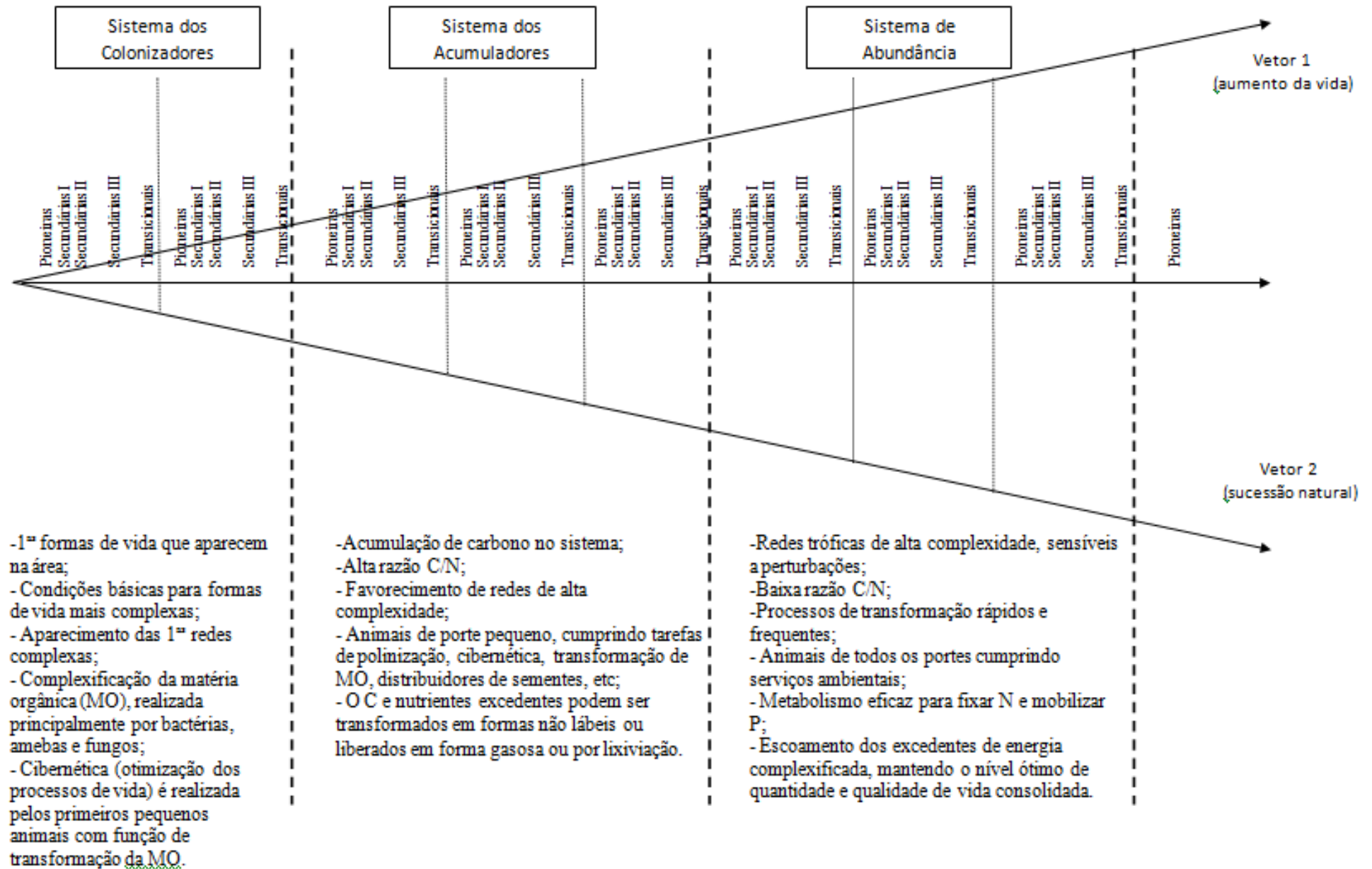


Figura 1 - Modificado de Ernst Götsch (não publicado).

4.3 Poda

Peneireiro (1999) resume a poda como o rejuvenescimento de árvores e arbustos em estágios de maturidades; indivíduos que tenham cumprido as suas funções de melhoria do solo e substituídos por seus sucessores tem a sua biomassa cortada para ser distribuída sobre o solo.

A poda promove mudanças na estratificação, disponibilidade de luz e biomassa sendo utilizada como ferramenta de manejo para efetuar correções necessárias no sistema. De acordo com Götsch (1995), a poda proporciona sobre as plantações efeitos como:

- a) rejuvenescer a comunidade;
- b) acelerar e direcionar o processo de sucessão do sistema;
- c) prolongar o período da fase juvenil de espécies pioneiras de ciclo curto.

E os fatores influenciados pela poda são:

- i. luz;
- ii. espaço;
- iii. matéria orgânica.

Assim, pode-se dizer que a poda realizada em SAFs sucessionais biodiversos tem o papel de promover mudanças em alguns componentes das estruturas biótica e abiótica, bem como suas funções e propriedades. Esta ferramenta pode ser utilizada para beneficiar pontos identificados no sistema (ex: planta mais exigente), favorecendo núcleos de crescimento que favoreçam o avanço sucessional. Com este tipo de manejo disponibiliza-se a biomassa do sistema, influenciando a produção de matéria orgânica, que por sua vez favorece a dinamização da biota do solo e o desenvolvimento vegetal, principalmente em consórcios mais desenvolvidos, dispensando o uso de fertilizantes (GÖTSCH, 1995).

4.4 Dinâmica de N

A ciclagem de nutrientes é uma função de suma importância na regulação das atividades e desenvolvimento dos ecossistemas. Exemplificando um modelo da ciclagem dos nutrientes, pode-se incluir (i) as entradas e saídas do sistema – p. ex., chegada de nutrientes por intermédio de deposição seca e úmida, fixação biológica, intemperização de rochas e saída por meio das águas dos rios, lixiviação e formas gasosas; (ii) transferência de nutrientes planta-solo, pela mediação da serapilheira, lixiviação, decomposição de raízes e indivíduos mortos; e (iii) redistribuição interna de nutrientes móveis pela intervenção do floema (retranslocação) (ATTIWILL; ADAMS, 1993).

Em ecossistemas naturais, diversos fatores influenciam de forma determinante a ciclagem de nutrientes e sua disponibilidade, como a fertilidade e teores de água no solo (BUSTAMANTE *et al.*, 2004). Os nutrientes permeiam o sistema solo-planta-serapilheira de acordo com a quantidade de carbono fixado fotossinteticamente. Mesmo que os sumidouros relativos de carbono e nutrientes apresentem diferenças entre ecossistemas, a demanda relativa por carbono e nutrientes sobre a produção de biomassa se reflete no conteúdo de nutrientes no tecido em questão, ou seja, na razão carbono/nutriente (VITOUSEK, 1982).

A camada de resíduos vegetais formada pela serapilheira proporciona a cobertura do solo e sua proteção, minimizando a lixiviação e a erosão hídrica. Vale ressaltar que a serapilheira é uma importante fonte de nutrientes com potencial de mineralização. Os processos de decomposição e mineralização são significativamente importantes, pois por intermédio destes processos os nutrientes liberados novamente para as plantas e microrganismos, participando ativamente na regulação da dinâmica de nutrientes e a taxa de crescimento vegetal (ATTIWILL; ADAMS, 1993).

A disponibilidade de N no ecossistema revela os processos biogeoquímicos que acontecem no solo. A formação de NH_4^+ acontece devido à mineralização da matéria orgânica

por microrganismos heterotóficos em condições redutoras (amoniificação), já o NO_3^- é formado pela oxidação do NH_4^+ através das bactérias aeróbias do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* (nitrificação). Os solos podem se diferenciar pela quantidade e forma de produção de N mineralizado (NH_4^+ e NO_3^-), bem como a sua distribuição sazonal e espacial. A distribuição vertical apresenta importância ecológica devido ao fato de que as raízes finas das plantas podem lograr as zonas de produtivas mais intensas de N inorgânico. O ânion NO_3^- raramente é adsorvido, além de ter grande mobilidade na solução do solo, influenciando a perda de N via lixiviação e emissão gasosa, sua absorção possui dependência relativa da densidade radicular e suas reservas podem ser utilizadas de forma eficiente. Já o cátion NH_4^+ é adsorvido na argila e na matéria orgânica, possui baixa mobilidade e celeridade empobrecimento nas proximidades das raízes. Logo, a utilização de reservas de NH_4^+ depende mais do crescimento de densidade radicular que o NO_3^- (SPRENT, 1987).

4.4.1 Alterações na dinâmica do N

O ciclo global do N tem sido alterado pelo ser humano, através de práticas não conservacionistas da agricultura moderna, processos de industrialização e urbanização, devido à conversão do N_2 atmosférico em formas reativas deste elemento (MELILO, 1996). Através da fabricação de fertilizantes e plantio de leguminosas para produção alimentar, converte-se 120 milhões de toneladas de N_2 atmosférico. Este número é maior que todos os efeitos de processos ecossistêmicos terrestres combinados (GALLOWAY *et al.*, 1995; ROCKSTROM *et al.*, 2009). O N fixado bem como a sua mobilidade tem aumentado dentro e entre ecossistemas por consequência da mudança na cobertura vegetal, queima de biomassa, combustão de combustíveis fósseis entre outros (VITOUSEK *et al.*, 1997; GALLOWAY *et al.*, 2004).

4.4.2 Dinâmica de N no Cerrado

De forma geral os ecossistemas no Cerrado são limitados por N e as taxas de sua ciclagem diferem de acordo com a densidade de cobertura lenhosa, frequência de queima, mudanças no uso da terra, deposição e fixação de N (BUSTAMANTE *et al.*, 2006). A deposição atmosférica de N total em uma área de cerrado típico no Brasil central foi de aproximadamente $4 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, sendo que a metade deste aporte foi inorgânico (RESENDE, 2001). Este valor total da deposição atmosférica é 3,4% do estoque de N na serapilheira e menos que 0,1% do N total no solo no perfil de profundidade de 0-100 cm. Resende (2001) também determinou que a quantidade de N lixiviado do dossel e acumulado na serapilheira está em torno de $5,1 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, levando em consideração que este dossel lixiviado é enriquecido com N orgânico.

A família *Fabaceae* está entre as mais abundantes no Cerrado, mas os dados diretos de fixação biológica de nitrogênio (FBN) em ecossistemas naturais são escassos (ANDREWS *et al.*, 2011). A abundância natural de ^{15}N permite fazer uma avaliação de longo prazo da FBN (EHLERINGER; RUNDEL, 1989). Espécies que não são capazes de fixar o N_2 atmosférico mostram uma ampla variação na composição isotópica dependendo da taxa de mineralização de nitrogênio no solo (GARTEN; VAN MIEGROET, 1994).

A variação climática bem definida em ecossistemas savânicos como o Cerrado e a variabilidade na quantidade de chuva interanual influenciam a regulação da ciclagem biogeoquímica nos ecossistemas em questão, pois com o início do período chuvoso atuam sobre a liberação de nutrientes e a dinâmica entre microrganismos e vegetação (BUSTAMANTE *et al.*, 2006). Os espaços percorridos e a quantidade de N que circula em ecossistemas savânicos diferenciam-se das florestas tropicais, pois as taxas de nitrificação no cerrado *sensu stricto* são baixas, ou seja, razão C/N alta (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003) e a emissão de gases nitrogenados são muito baixas (PINTO *et al.*, 2002), as quais são

características típicas de sistemas com ciclos conservativos (ciclos mais fechados) de N (DAVIDSON *et al.*, 2000).

4.4.2.1 Mineralização de N no Cerrado

Pode-se dividir a ciclagem biogeoquímica de N nos ecossistemas em função dos seus processos, chamados de externos e internos. Os externos acrescentam ou retiram N dos ecossistemas, como exemplo observa-se a deposição seca e úmida de N, fertilização, FBN, denitrificação e lixiviação. Já os processos internos ciclam N entre os estoques dos ecossistemas, como a assimilação pelas plantas, imobilização pela microbiota e mineralização do N. Uma vez que a mineralização e a nitrificação transformam N das formas orgânicas para inorgânicas (minerais) que ficam disponíveis para as plantas e microrganismos estes processos de forma geral são limitantes da produtividade do ecossistema (SCHIMEL; BENNETT, 2004).

As taxas de decomposição em áreas de cerrado são consideradas relativamente baixas. Resende (2001) observou que a média de perda de biomassa foi de 32% após um ano de imobilização de N, P e S. Em um cerrado típico protegido do fogo no Brasil Central, Nardoto e Bustamante (2003) encontraram que o valor de N inorgânico disponível foi de $14,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que em uma área sujeita a frequentes queimadas o valor foi de $3,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. As taxas de mineralização líquida aumentaram durante a estação chuvosa quando ocorreu uma redução de biomassa microbiana tanto nas parcelas queimadas quanto nas protegidas do fogo. Isso sugere que há um incremento padrão da atividade microbiana com o início do período chuvoso e a imobilização inicial seguida pela mineralização líquida. Apesar do aumento nas taxas de mineralização líquida e nitrificação durante a estação chuvosa, as concentrações de $N_{\text{inorgânico}}$ diminuíram durante a estação chuvosa indicando o efeito da absorção pelas plantas. Baixas taxas de nitrificação em uma área de cerrado típico, com

predominância de N-NH_4^+ no solo (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003) são características de sistemas com ciclos de N mais conservativos (DAVIDSON *et al.*, 2000).

4.5 Carbono e Nitrogênio em Sistema de Integração Lavoura Pecuária

Marchão *et al.* (2009) avaliaram os benefícios potenciais de estoques de N no solo em um sistema de Integração Lavoura Pecuária (ILP) em comparação com áreas de cultivo contínuo ou pastagem. Os valores de estoques de nitrogênio total (NT) encontrados foram altos na área de cerrado com $4,01 \text{ Mg ha}^{-1}$ seguido do cultivo contínuo em rotação de cultura com ILP. Com relação aos efeitos de regimes de plantio os valores de estoque de NT variaram de $3,62 \text{ Mg ha}^{-1}$ no plantio convencional (PC) e $3,81 \text{ Mg ha}^{-1}$ em Plantio Direto (PD).

Ao estudar o potencial de estocagem de carbono (C) em PD no Cerrado, Corbeels *et al.* (2006) encontraram uma média de incremento de carbono orgânico (CO) do solo de $0,83 \text{ Mg C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ na camada de 0-20 cm com um aumento correspondente de $79 \text{ kg N ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$. Eles também diagnosticaram que os ganhos de CO sob PD deveram-se principalmente à introdução de um segundo cultivo que causou aumento na produtividade primária líquida, levando a altas entradas de carbono no solo. A entrada de N no solo, originada da fixação de N_2 de adubação verde ou fertilizantes, teria funcionado como uma chave para a acumulação ou conservação da matéria orgânica do solo sob PD.

4.6 Abundância natural de ^{15}N

Os isótopos estáveis de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) podem prover medidas integradas a respeito de sua dinâmica ao longo do tempo (HANDLEY; HAVEN, 1992; NALDHOFFER; FRY, 1994; HÖGBERG, 1997). Desta forma, diminui-se a necessidade de medidas pontuais e repetitivas acerca dos processos que regulam o ciclo do N, determinar valores de $\delta^{15}\text{N}$ em

compartimentos chaves de ecossistemas como os solos e as plantas, pode permitir uma série de inferências acerca da dinâmica do N (HÖGBERG, 1997).

Há dois isótopos estáveis de N (^{14}N e ^{15}N). A média natural de abundância no ar destes isótopos é constante de 99,63% (^{14}N) e 0,3663% (^{15}N). As fontes naturais de ^{15}N variam de -20 a +20‰. O nitrogênio presente na matéria orgânica do solo apresenta tendência de ser mais rico em ^{15}N em relação aos tecidos aéreos, sugerindo uma preferência microbiana durante o processo de decomposição (DAWSON *et al.*, 2002).

Bustamante *et al.* (2004) entenderam que as grandes diferenças na variação de ^{15}N foliar encontradas entre as espécies vegetais do Cerrado indicavam que quando as plantas dividem o mesmo ambiente demandam diferentes fontes de N. Martinelli *et al.* (1999) avaliaram médias para o padrão de $\delta^{15}\text{N}$ e do solo em florestas tropicais e encontraram valores altos, assim como Nardoto (2005) no Cerrado, mas com valores menores que nas florestas tropicais. Tais estudos sinalizam que o ciclo de N é mais aberto em florestas comparado com as savanas tropicais.

Quando as leguminosas estão fixando N atmosférico, através da FBN, as suas assinaturas isotópicas tendem a se aproximar de 0‰, logo a conversão de N_2 em formas orgânicas de nitrogênio distinguem pouco contra o ^{15}N (EHLERINGER; RUNDEL, 1989). Já espécies não fixadoras de N apresentam uma grande diferença na razão isotópica, de acordo com a taxa de mineralização de N no solo, (GARTEN; VAN MIEGROET, 1994). Logo, pode-se utilizar o $\delta^{15}\text{N}$ foliar para determinar se a fonte de N tem maior participação atmosférica ou do solo.

Não há estimativa sobre a quantidade de N que entra via FBN para o Cerrado, mas utilizando-se da metodologia isotópica, estima-se que cerca de 60% do N total presente nas leguminosas do Cerrado é derivado da FBN (ANDREWS *et al.*, 2011). Uma vez que a família

Fabaceae está entre as mais abundantes no Cerrado este fato é um forte indicativo de uma alta contribuição da FBN para a entrada de N neste sistema.

5. Material e Métodos

5.1 Área de estudo

A área de estudo (Figura 2) está localizada nas proximidades da BR-020, Km-54, em uma propriedade rural particular (“Sítio Dagrofloresta” - <http://www.dagrofloresta.com.br>), inserida na Região Administrativa de Planaltina-DF (15°34'51" S, 47°22'42" W), dentro da sub-bacia do Ribeirão Santa Rita.

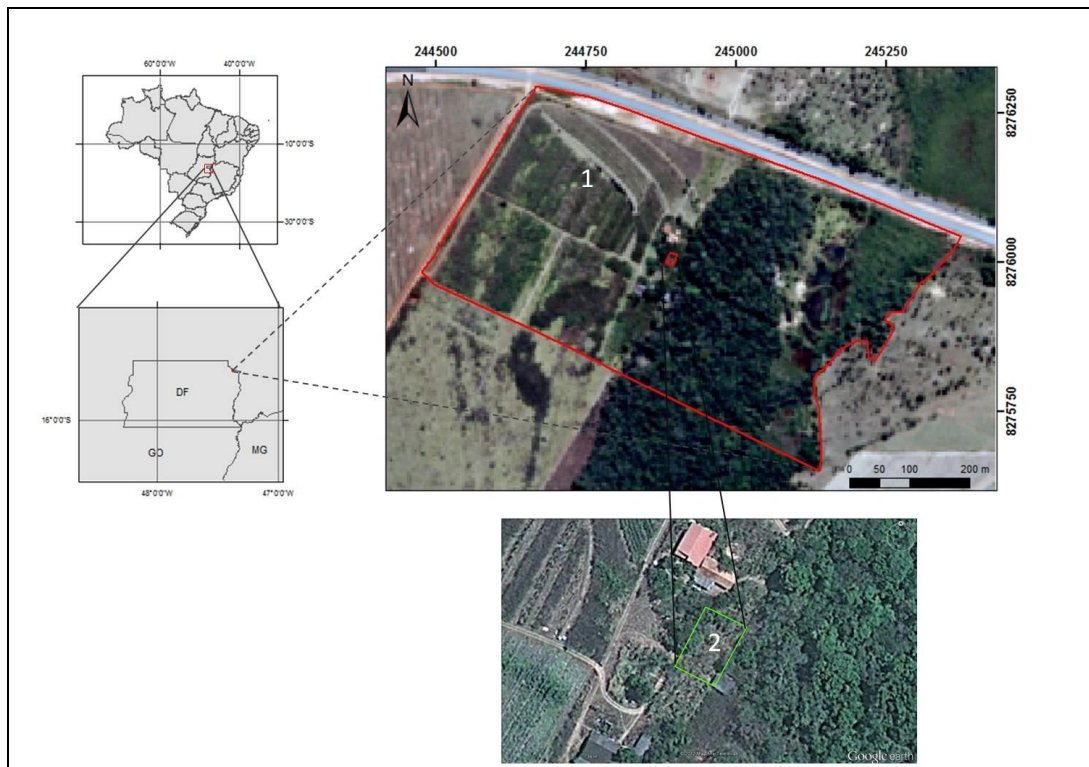
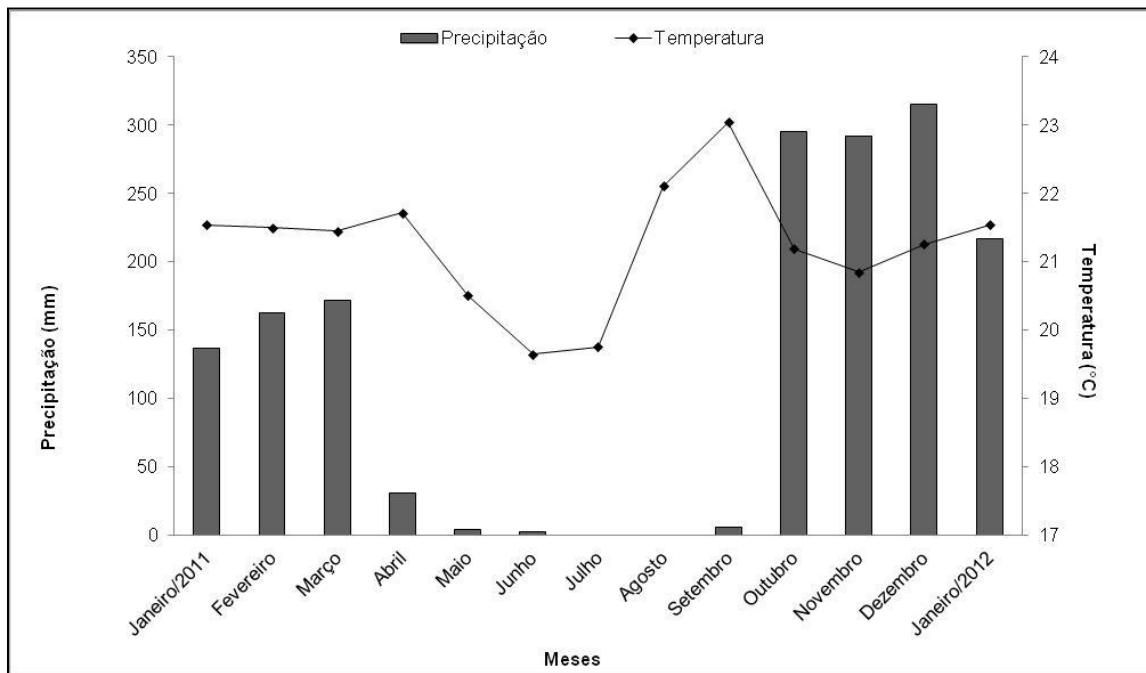


Figura 2 - Localização do Sítio Dagrofloresta, Planaltina-DF (área 1, delimitada em vermelho); SAF estudado (área 2, delimitada em verde).

O clima segundo Köppen é classificado como Aw, com duas estações bem definidas (seca e chuvosa) e com ocorrência de veranicos durante a estação chuvosa. Precipitação anual média de 1500 mm, mais de 90% da precipitação acontece entre outubro e abril (Figura 3).

Figura 3 - Variação da média mensal de precipitação pluvial e temperatura Janeiro/2011 a Janeiro/2012. Fonte: Embrapa Cerrados.



O experimento se localiza em uma área de latossolo vermelho de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), que inicialmente foi cerrado – fitofisionomia do Cerrado, caracterizada pela grande proporção de estrato lenhoso em relação aos outros (RIBEIRO; WALTER 1998).

Após a vegetação nativa ser desmatada, houve implantação de um pomar convencional de laranja. Em 2000, a área estava dominada por *Brachiaria decumbens* (braquiária), que foi manejada por capina seletiva juntamente com leguminosas como *Mucuna pruriens* (mucuna cinza) e *Canavalia ensiformis cv.* (feijão de porco). Em 2001, iniciou-se o desenvolvimento do SAF (20x20m), plantou-se espécies por sementeira direta como *Cajanus cajan* (feijão-guandu), *Pennisetum purpureum* (capim elefante) e *Leucaena spp* (leucena), juntamente com espécies frutíferas, madeiras de lei e nativas do cerrado. Somente as amoreiras foram plantadas por estaca. Classifica-se este SAF como sucessional biodiverso quanto à sua forma

e estrutura e simultâneo em relação ao tempo, por comportar o plantio dessas espécies na mesma época (HOFFMANN, 2005).

O manejo do *Pennisetum purpureum* foi feito de 2001 a 2006, de forma mais intensa no período chuvoso devido ao incremento de biomassa neste período.

A partir de 2006 indivíduos de *Morus nigra* (amoreiras) e *Leucaena spp* eram dominantes, com extrato arbóreo bem desenvolvido promovendo a saída do *Pennisetum purpureum* do sistema.

No período de 2006 a 2010, houve domínio de *Leucaena spp* e *Morus nigra*, as podas das árvores deste consórcio foram feitas a partir de 2007, quando as suas copas estavam proporcionando bastante sombra. Nas podas, retirava-se aproximadamente 50% da biomassa destas plantas.

No ano de 2010 começou o domínio do consórcio de *Inga sp.* (Ingá) até a finalização do estudo em janeiro de 2012.

5.2 Coleta de dados

Para este estudo, as coletas de solo para análise isotópica foram feitas em março/2011. Para determinar as concentrações de N-NO_3^- , N-NH_4^+ e as taxas de mineralização e nitrificação líquida de N, coletou-se 10 amostras simples (cerca de 100 g) de solo superficial (0-5 cm) em quatro períodos do ano (junho/2011- período seco; agosto/2011- transição seca-chuva; outubro/2011- período chuvoso; e janeiro/2012- transição chuva-seca). Para determinar a concentração de C e N, bem como as razões isotópicas de N no sistema solo-planta-serapilheira, foram coletadas folhas de três indivíduos de cada espécie do SAF (26 espécies arbóreas) em junho de 2011 (Tabela 1).

Tabela 1 - Tabela de espécies agrofloresta Sítio Dagrofloresta.

Família	Nome científico	Nome comum	DAP (cm)
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Magnifera indica</i>	Manga	5,2
<i>Annonaceae</i>	<i>Anona muricata L.</i>	Graviola	8,2
<i>Bignoniaceae</i>	<i>Spathodea campanulata</i>	Espatodea	9,4
<i>Bixaceae</i>	<i>Bixa orellana L.</i>	Urucum	11,8
<i>Fabaceae</i>	<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	Sibipiruna	12,4
<i>Fabaceae</i>	<i>Cassia occidentalis L.</i>	Fedegoso	-
<i>Fabaceae</i>	<i>Centrolobium tomentosum</i>	Araribá	7,8
<i>Fabaceae</i>	<i>Clitoria racemosa</i>	Sombreiro Mexicano	-
<i>Fabaceae</i>	<i>Copaifera langsdorffii</i>	Copaíba	-
<i>Fabaceae</i>	<i>Dipteryx alata Vog</i>	Baru	7,8
<i>Fabaceae</i>	<i>Hymenaea courbaril L.</i>	Jatobá	6
<i>Fabaceae</i>	<i>Inga marginata Willd</i>	Ingá colar	10,8
<i>Fabaceae</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucena	-
<i>Fabaceae</i>	<i>Parapiptadenia rigida (Benth.) Brenan</i>	Angico vermelho	2,8
<i>Fabaceae</i>	<i>Piptadenia gonoacantha (Mart.) Macbr.</i>	Angico jacaré	6,6
<i>Fabaceae</i>	<i>Schizolobium parahybae</i>	Guapuruvu	8,6
<i>Fabaceae</i>	<i>Zygia sanguinea</i>	Ingá vermelho	26,2
<i>Lauraceae</i>	<i>Persea americana</i>	Abacate	16,2
<i>Moraceae</i>	<i>Artocarpus integrifolia L.</i>	Jaca	9,2
<i>Moraceae</i>	<i>Morus nigra</i>	Amora	6,4
<i>Musaceae</i>	<i>Musa spp.</i>	Banana	-
<i>Rosaceae</i>	<i>Cydonia oblonga</i>	Marmelo	-
<i>Rosaceae</i>	<i>Prunus persica</i>	Pêssego	12

<i>Rubiaceae</i>	<i>Coffea arabica L.</i>	Café	2,6
<i>Rubiaceae</i>	<i>Genipa americana L.</i>	Jenipapo	4,8
-	-	Nativa	2,8

Foram coletadas aleatoriamente na área do SAF cinco amostras de serapilheira em março/2011 em quadrantes de 25 x 25 cm, assim como amostras de cinco perfis de solo (0-5; 5-10; 10-20 cm de profundidade) espacialmente distribuídas de forma aleatória na área do SAF, para análises isotópicas e físico-químicas.

Para determinar o estoque de N no solo foram feitas coletas de densidade aparente em cinco perfis de solo (0-5; 5-10; 10-20 cm de profundidade) com cilindros de 100 cm³ de acordo com o método da EMBRAPA (1997).

5.3 Análises laboratoriais

As amostras de solo foram secas pelo método Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), destorroadas em peneira de 2 mm. A matéria foliar e a serapilheira foram lavadas com água destilada, secas em estufa a 65 °C por 72 horas e moídas a fino pó.

As análises físico-químicas de solo foram feitas de acordo com os métodos da EMBRAPA (1997). A análise textural do solo seguiu o método de Bouyuocos (1932) e para determinação da classe textural do solo foi utilizado o triângulo adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). As análises de pH (acidez ativa) e análise textural do solo, foram realizadas no Laboratório de Ecologia de Ecossistemas, IB/UnB assim como a metodologia empregada para o experimento de mineralização líquida de N e nitrificação, baseadas em Piccolo *et al.* (1994). As amostras de solo fresco foram extraídas com KCl 1M durante 1 hora e as taxas de produção de N mineral (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻) são determinadas colorimetricamente. Para amônio, a metodologia resume-se na complexação de amônio com o reagente *Nessler* enquanto a determinação de nitrato é realizada de acordo com o método de

Meier (1991), que leva em consideração a diferença de comprimentos de onda para nitrato no espectrofotômetro UV-VIS (*Shimadzu Spectrophotometer UV-1203*). Todos os resultados são expressos baseados no peso de solo seco (PS) a 105 °C. A quantidade de N disponível entre 0 e 5 cm de profundidade corresponde à concentração de N inorgânico nas amostras nos tempos iniciais de incubação (tempo zero). As taxas de nitrificação líquida são calculadas como a concentração final de N-NO_3^- menos a concentração inicial de N-NO_3^- , dentro de cada período de incubação (7 dias no escuro) e as taxas de mineralização líquida de N, foram calculadas como a concentração final de $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$ menos a concentração inicial de $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$, dentro de cada período de incubação.

Já as análises de P (por resina trocadora de íons), K (por resina trocadora de íons), Ca (por resina trocadora de íons), Mg (por resina trocadora de íons), H+Al (Acidez potencial, método pH SMP), CTC (capacidade de troca catiônica) foram realizadas no Laboratório de Solos, ESALQ/USP.

O estoque de N no solo foi calculado com correção para espessura do solo de acordo com Fernandes (2008).

Onde:

$$Ns = \sum_{i=1}^{n-1} Nti + \left[Mtn - \left(\sum_{i=1}^n Mti - \sum_{i=1}^n Msi \right) \right] * Ntn$$

Ns = estoque de N total, corrigido em função da massa de solo de uma área de referência;

$\sum_{i=1}^{n-1} Nti$ = somatório dos estoques de N do solo da primeira à penúltima camada amostrada, no tratamento considerado (Mg ha^{-1});

Mtn = massa do solo da última camada amostrada, no tratamento (Mg ha^{-1});

$\sum_{i=1}^{n-1} Mti$ = somatório da massa total do solo amostrado sob o tratamento (Mg ha^{-1});

$$\sum_{i=1}^{n-1} Msi = \text{somatório da massa total do solo amostrado na área de referência (Mg ha}^{-1}\text{);}$$

Ntn = teor de N do solo na última camada amostrada (Mg N Mg⁻¹ de solo).

Anteriormente à correção para a espessura do solo, os estoques de N de cada camada são calculados desta forma (VELDKAMP, 1994):

$$\text{Est N} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times \text{e})/10$$

Onde:

Est N = estoque de N orgânico em determinada profundidade (Mg ha⁻¹);

CO = teor de N orgânico total da profundidade amostrada (g kg⁻¹);

Ds = densidade do solo da profundidade (kg dm⁻³);

e = espessura da camada considerada (cm).

A partir do material preparado, pesou-se uma sub-amostra de 30 a 36 mg de solo e 2,1 a 2,4 mg do material foliar e serapilheira, estas sub-amostras foram acondicionadas em cápsula de estanho. No Laboratório de Ecologia Isotópica, CENA/USP, estas cápsulas foram submetidas a um analisador elementar (*Carlo Erba*, modelo 1110, Milão, Itália), que determina a concentração de N e C total por intermédio da combustão. O produto da combustão é purificado em uma coluna de cromatografia gasosa e introduzido diretamente em um espectrômetro de massas para razões isotópicas (*ThermoQuest-Finnigan Delta Plus*, Finnigan-MAT, Califórnia, EUA). A abundância natural de ¹⁵N é expressa como desvios por mil (‰) de um padrão reconhecido internacionalmente, por intermédio da equação $\delta = (R_{\text{amostra}}/R_{\text{padrão}} - 1) \times 1000$, onde R é a razão molar ¹⁵N/¹⁴N na amostra e no padrão. O padrão para o N é o ar atmosférico. A atropina foi utilizada como material de referência para o material foliar e tropical usado para o solo. O erro analítico aceitável para C, N e ¹⁵N foi de 0,15%, 0,01% e 0,30%, respectivamente.

5.4 Análises estatísticas

Para testar a normalidade dos dados foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov. Tendo em vista que os dados apresentaram uma distribuição normal, aplicou-se o teste-t para avaliar as diferenças entre duas variáveis, utilizando como significância as diferenças de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o pacote estatístico STATISTICA, versão 9 para Windows (STATSOFT, Inc. 2009).

6. Resultados

6.1 Solo

A composição granulométrica dos perfis amostrados apresenta-se na

Tabela 2. As características químicas da camada de 0-20 cm de profundidade são apresentadas na

Tabela 3 e as aferições de pH em CaCl₂ e H₂O na Tabela 4.

Tabela 2 - Composição granulométrica do solo estudado.

Amostra	% argila+silte	% silte	% areia	% argila
1	55,8	15,4	44,2	40,4
2	52,4	13,7	47,6	38,8

3	49,1	13,7	50,9	35,4
4	52,4	13,7	47,6	38,8
5	52,4	12,0	47,6	40,4
Média	52,4	13,7	47,6	38,8
DP	2,4	1,2	2,4	2,0

Tabela 3 - Características químicas do solo da área de SAF estudado para o intervalo de 0 a 20 cm de profundidade.

Prof.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
0-20 cm	mg.dm ⁻³	----- mmolc dm ⁻³ -----						%
	15,6	3,9	40,8	11,4	42,0	55,7	97,6	57,2

Tabela 4 - pH do solo em CaCl₂ e em H₂O, nos perfis amostrados.

Amostra	pH em CaCl₂	pH em H₂O
1	4,3	5,3
2	4,6	5,4
3	4,6	5,5
4	4,8	5,4
5	4,0	5,2
Média	4,4	5,4
DP	0,3	0,1

A razão C/N encontrada ficou entre 14 e 14,5 (Figura 4-A). A concentração de N total no solo (Figura 4-B) variou de 0,20% na superfície (0-5 cm) a 0,10% no intervalo de 10-20cm de profundidade, ao passo que houve um incremento de ^{15}N de acordo com a profundidade variando entre 6,3‰ na superfície (0-5cm) a 7,4‰ (10-20 cm) (Figura 4-C). O estoque de N (Figura 4-D) variou com a profundidade, apresentando o maior valor médio $1,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ na camada superficial do solo (0-5 cm).

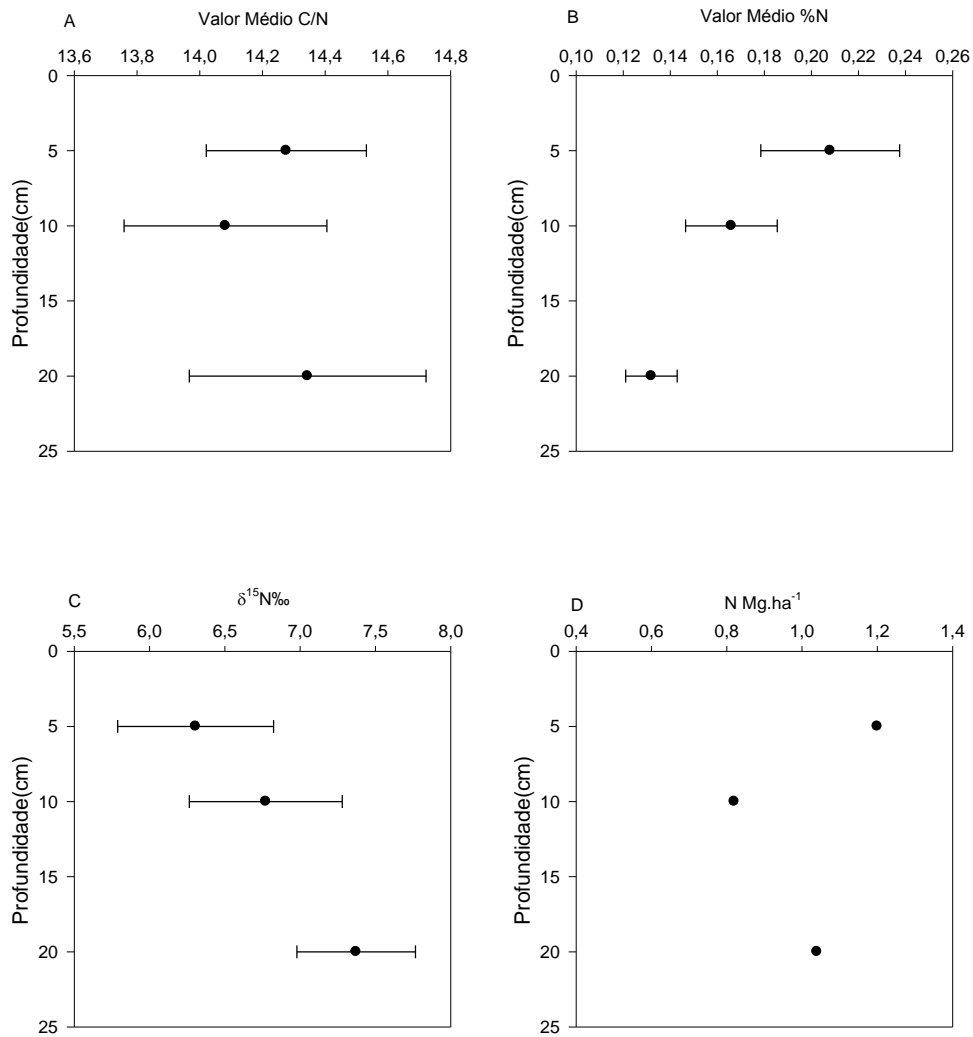


Figura 4 - A Relação C/N no intervalo entre 0-20 cm no solo analisado; B Relação entre o valor médio da concentração de N (%) do solo e o intervalo de solo correspondente na área de estudo; C Relação entre o valor médio do $\delta^{15}\text{N}$ do solo (‰) e o intervalo de solo correspondente na área de estudo; D Estoque de N no solo calculado com correção para espessura do solo.

Apesar da variação na concentração de N-NH_4^+ ao longo do ano, em todos os períodos amostrados houve uma predominância de N-NH_4^+ em relação a N-NO_3^- (Figura 5). As maiores concentrações de N-NO_3^- ocorreram no período de transição seca-chuva, com $3,1\text{mg kg}^{-1}$.

As taxas de mineralização líquida de N apresentaram uma grande variação variações ao longo do ano, atingindo o maior pico de mineralização no auge do período chuvoso, com

média de $0,4 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ enquanto no auge do período seco, predominou o processo de imobilização de N (Figura 6). A nitrificação líquida de N também apresentou uma variação sazonal, apresentando as maiores taxas no período de transição entre as estações seca e chuvosa, com média de $0,24 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 7).

A razão N-inorgânico/N-total do solo para o intervalo de 0-5 cm de profundidade variou sazonalmente, com um maior subsídio relativo de N mineral ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) entre o período de seca ($47,9 \text{ mg kg}^{-1}$) e na transição seca-chuva ($48,2 \text{ mg kg}^{-1}$) (Figura 8).

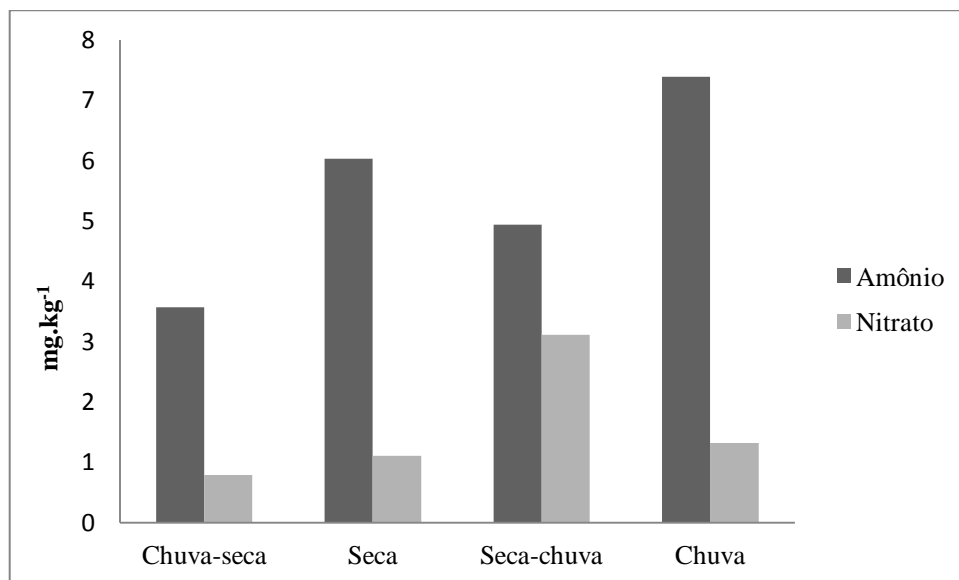


Figura 5 - N disponível no solo do SAF estudado, Sítio Dagrofloresta, Planaltina-DF.

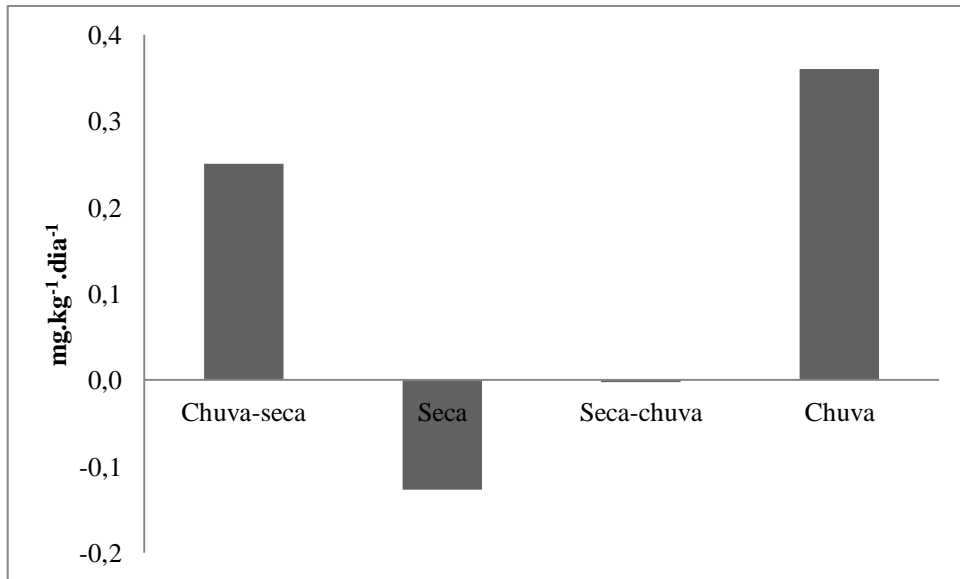


Figura 6 - Taxa de mineralização líquida diária no solo do SAF estudado, Sítio Dagrofloresta, Planaltina-DF.

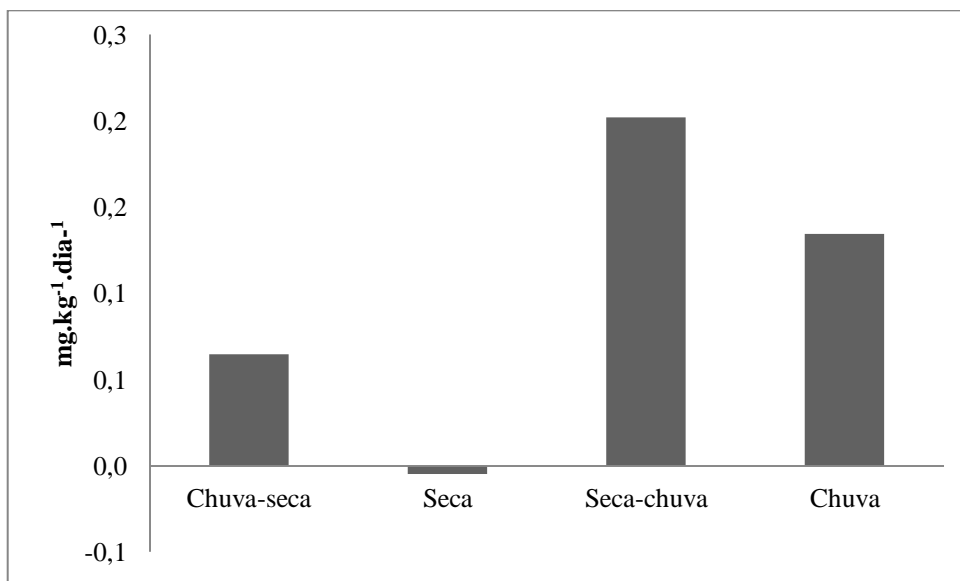


Figura 7 - Taxa de nitrificação líquida diária no solo do SAF estudado, Sítio Dagrofloresta, Planaltina-DF.

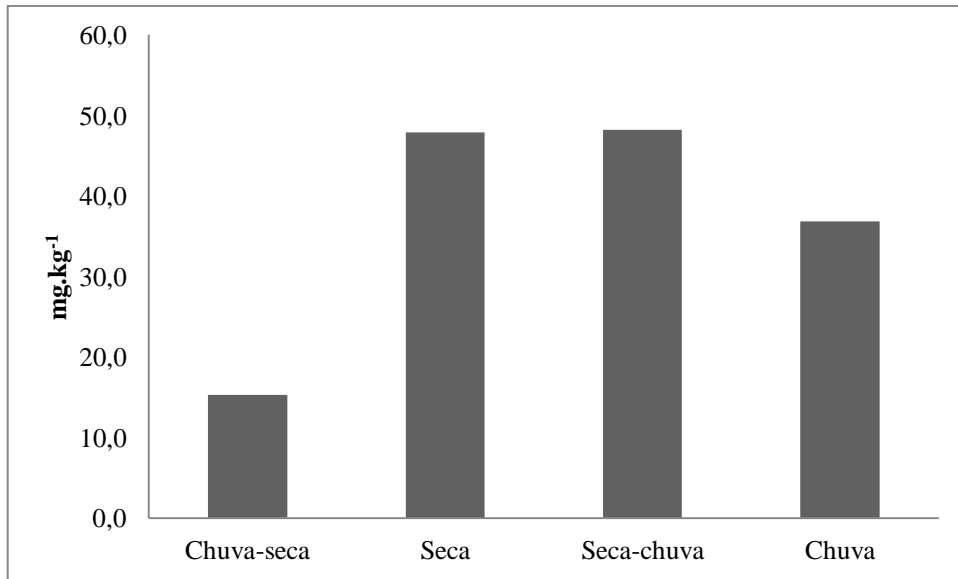


Figura 8 - Razão N-inorgânico/N-total no solo do SAF estudado, Sítio Dagrofloresta, Planaltina-DF.

6.2 Planta

6.2.1 Leguminosas e não leguminosas

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar variaram entre -1,4 e 6,2‰ incluindo as espécies arbóreas leguminosas e não leguminosas (Figura **9** **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

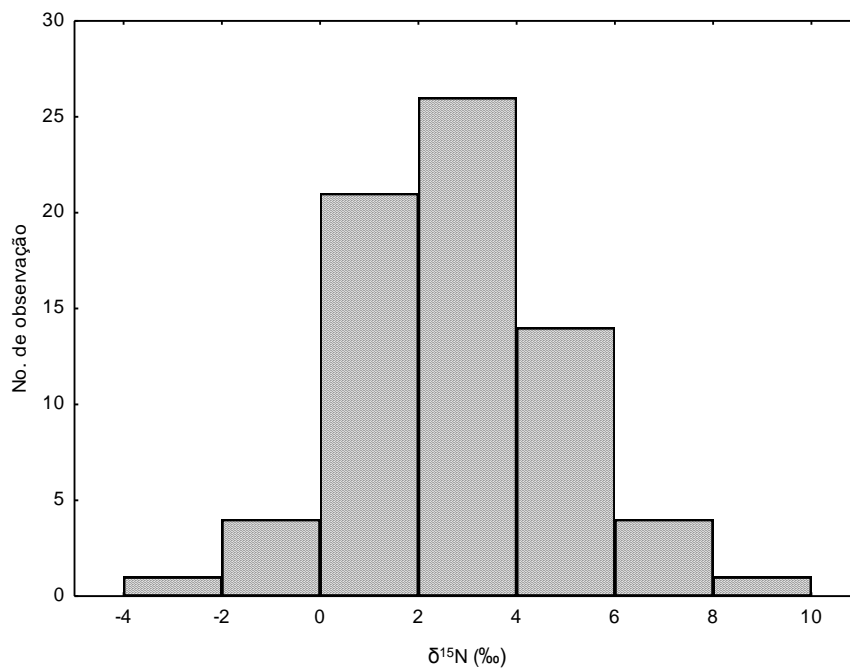


Figura 9 - Distribuição dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ para as espécies lenhosas amostradas na área estudada, Sítio Dagrofloresta, Planaltina-DF.

A concentração de N foliar média foi maior nas leguminosas ($p < 0,05$) quando comparado as não leguminosas (Tabela 5). No entanto, a razão C/N foliar média das espécies não leguminosas foi maior que as leguminosas ($p < 0,05$). Em relação à média foliar de $\delta^{15}\text{N}$ não houve diferença significativa entre o valor médio para as espécies leguminosas e o valor médio das não leguminosas (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios da composição isotópica e nutricional (e desvio padrão - DP) das espécies leguminosas e não leguminosas para a área de SAF estudada. Letras diferentes na mesma coluna significam que leguminosas e não leguminosas diferem entre si (teste-t).

	$\delta^{15}\text{N}\text{‰}$		%N		C/N		n
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	
Leguminosas	2,9a	2,4	2,9a	0,8	17,7a	4,6	38
Não leguminosas	2,7a	1,3	2,2b	0,6	21,3b	6,3	28

As espécies leguminosas arbóreas investigadas (Tabela 6) distribuíram-se em três grupos ao considerar a ocorrência de FBN quando a diferença entre o $\delta^{15}\text{N}$ foliar da espécie de leguminosa e o valor médio do $\delta^{15}\text{N}$ foliar das não leguminosas (2,7‰) ficou $\geq 1\%$.

São elas:

I. Não nodulantes: espécies (*Caesalpinia peltophoroides*, *Cassia occidentalis*, *Hymenaea courbaril*, *Schizolobium parahybae*) sem registro de nodulação na literatura e com ausência de FBN em campo através da metodologia isotópica;

II. Nodulantes ativas: espécies (*Centrolobium tomentosum*, *Copaifera langsdorffii*, *Dipteryx alata*, *Leucaena leucocephala*) que possuem registro de nodulação na literatura e apresentaram FBN em campo através da metodologia isotópica;

III. Nodulantes inativas: espécies (*Clitoria racemosa*, *Inga marginata*, *Parapiptadenia rígida*, *Piptadenia gonoacantha*, *Zygia sanguinea*) que possuem registro de nodulação na literatura, mas não apresentaram FBN em campo através da metodologia isotópica.

Tabela 6 – Relação de espécies de leguminosas arbóreas plantadas no SAF e respectivos valores foliares de $\delta^{15}\text{N}$, N e C/N. Considerou-se a ocorrência de FBN quando a diferença entre o $\delta^{15}\text{N}$ foliar da espécie de leguminosa e o valor médio do $\delta^{15}\text{N}$ foliar das não leguminosas (2,7‰) ficou $\geq 1\%$, de acordo com Nardoto et al. (2012).

Nome científico	FBN	Nodulação*	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	N(%)	C/N	(n)
<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	-	-	3,1	2,4	19,5	2
<i>Cassia occidentalis</i>	-	-	1,9	2,5	19,4	1
<i>Centrolobium tomentosum</i>	+	+	-1,4	2,2	20,5	3
<i>Clitoria racemosa</i>	-	+	2,4	3,4	13,6	2
<i>Copaifera langsdorffii</i>	+	+/-	1,4	2,0	25,1	4
<i>Dipteryx alata</i>	+	+/-	1,3	2,7	17,7	3
<i>Hymenaea courbaril</i>	-	-	3,1	2,3	22,2	3
<i>Inga marginata</i>	-	+/-	6,2	3,9	12,0	3
<i>Leucaena leucocephala</i>	+	+	1,7	4,5	10,2	4
<i>Parapiptadenia</i>	-	+	2,3	3,1	16,8	3
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	-	+	5,4	2,9	16,3	4
<i>Schizolobium parahybae</i>	-	-	6,2	2,7	18,6	3
<i>Zygia</i>	-	+	3,2	2,6	19,0	3

*ocorrência de nodulação: -, plantas com ausência de nódulos; +, plantas com presença de nódulos; +/- gênero com e sem ausência de nódulos (de acordo com Moreira et al., 1992; Faria et al., 1989; Faria; Lima 1998)

Tabela 7 - Relação de espécies não leguminosas arbóreas plantadas no SAF e respectivos valores foliares de $\delta^{15}\text{N}$, N e C/N.

Nome científico	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	N(%)	C/N	(n)
<i>Anona muricata</i>	2,2	2,1	20,5	2
<i>Artocarpus integrifolia</i>	1,7	2,1	19,8	3
<i>Bixa orellana</i>	0,9	2,8	16,4	1
<i>Coffea</i>	3,1	2,7	16,4	3
<i>Cydonia oblonga</i>	1,4	1,6	28,9	2
<i>Genipa americana</i>	1,9	1,6	28,1	1
<i>Magnifera indica</i>	1,5	1,3	33,7	3
<i>Morus nigra</i>	3,9	2,7	15,2	3
<i>Musa spp.</i>	3,2	2,5	17,7	2
<i>Nativa*</i>	4,4	2,1	22,5	2
<i>Persea americana</i>	2,0	1,7	27,0	2
<i>Prunus pérsica</i>	1,6	3,0	14,1	1
<i>Spathodea campanulata</i>	4,43	2,73	16,84	3

*espécie nativa do cerrado não identificada.

6.3 Serapilheira

Os valores encontrados tanto para $\delta^{15}\text{N}$, N assim como para a razão C/N indicam uma variação espacial na composição de serapilheira (Tabela 8) da área de SAF (20 x 20m) estudada.

Tabela 8 - Valores de $\delta^{15}\text{N}$, N e C/N para os pontos de serapilheira amostradas.

Amostra	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	N (%)	C/N
1	1,78	1,41	21,2
2	4,33	1,7	19,7
3	3,76	1,75	22,1
4	2,74	2,08	20,7
5	2,67	1,77	18,5
Média	3,1	1,7	20,4
DP	1,0	0,2	1,4

7. Discussão

7.1 Solo

A composição granulométrica dos perfis amostrados bem como os valores de pH em H_2O encontrados no SAF estão na mesma faixa dos encontrados por Mendes *et al.* (2012) em cerrado *sensu stricto*, cerradão e mata de galeria na Reserva Ecológica da Embrapa Cerrados, Planaltina-DF.

Em relação às características químicas do solo do SAF, os valores encontrados para CTC equiparam-se aos encontrados por Mendes *et al.* (2012) para cerrado *sensu stricto* e cerradão. Todavia notou-se que a concentração de H^+Al é consideravelmente menor que as áreas nativas de cerrado e mata de galeria, além de apresentar uma concentração de P disponível cerca de três vezes maior do que o solo de mata de galeria e oito a dez vezes maior

que os solos de cerrado *sensu stricto* e cerradão estudados por Mendes *et al.* (2012). Isto indica que após dez anos de implementação do SAF, puderam-se observar mudanças significativas em algumas propriedades químicas do solo, que aumentam a sua qualidade, tendendo ao incremento da produtividade primária devido à maior disponibilidade de P.

O valor médio da razão C/N (~14,3) é menor que o encontrado em outros estudos em áreas de cerrado *sensu stricto* (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003; NARDOTO, 2005) e mata de galeria (PARRON *et al.*, 2004), permanecendo abaixo de 20:1, valor considerado como limite entre os processos de mineralização e imobilização de N (KILLHAM, 1994).

Observou-se um padrão de decréscimo na concentração de N com a profundidade, tal padrão apresenta-se de acordo com estudos realizados em solos de cerrado (ROSCOE *et al.*, 2000; BUSTAMANTE *et al.*, 2004; ALCÂNTARA, 2004; PARRON *et al.*, 2004; NARDOTO, 2005; OMETTO *et al.*, 2006; COLETTA *et al.*, 2009; MARDEGAN *et al.*, 2009; PARRON *et al.*, 2011; VIANI *et al.*, 2011).

Consequentemente o estoque de N diminuiu com a profundidade do solo. O valor estimado após dez anos de implementação do SAF são similares aos encontrados por Resende (2001) em uma área de cerradão protegida do fogo por mais de 25 anos.

Já a abundância de $\delta^{15}\text{N}$ no solo avaliado aumentou de acordo com a profundidade, apresentando consonância com o padrão encontrado em áreas nativas de Cerrado (BUSTAMANTE *et al.*, 2004, NARDOTO, 2005; COLETTA *et al.*, 2009). O incremento de $\delta^{15}\text{N}$ nas camadas de solo mais profundas foram observadas para florestas tropicais e savanas, em diferentes fitofisionomias (PICCOLO *et al.*, 1996; KOOPMANS *et al.*, 1997; BUSTAMANTE *et al.*, 2004; BRENNER *et al.*, 2005; OMETTO *et al.*, 2006). Isto ocorre devido ao aumento do fracionamento do $\delta^{15}\text{N}$ durante a mineralização da matéria orgânica (HÖGBERG, 1997), que enriquece o solo com valores mais altos de $\delta^{15}\text{N}$. Além disso, o $\delta^{15}\text{N}$

foliar é geralmente mais baixo que o do solo e a deposição de serapilheira contribui para que os valores de $\delta^{15}\text{N}$ decresçam nas camadas de solo superficiais (BUSTAMANTE *et al.*, 2004).

Durante o período estudado, houve predominância de N-NH_4^+ em relação a N-NO_3^- quando comparado com outros estudos em áreas de cerrado *sensu stricto* sem queimadas (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003; COLETTA *et al.*, 2009). Ao comparar emissões de NO e N_2O em várias áreas de Cerrado, Davidson *et al.* (2000) perceberam que a predominância de NH_4^+ como forma inorgânica de N geralmente indica baixas emissões destes gases. Pinto *et al.* (2006) também observou predominância de NH_4^+ como forma inorgânica de N disponível no solo em diferentes tipos de tratamento para recuperação de pastagens. Este mesmo comportamento foi avaliado no uso de plantas condicionadoras por Carvalho (2005) e Carvalho *et al.* (2011) com exceção das parcelas tratadas com ureia.

As taxas de mineralização líquida de N tiveram variações sazonais altas e devem decorrer do resultado do acúmulo diferenciado de matéria orgânica no sistema (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003). A maior taxa de mineralização líquida ocorreu no período chuvoso, este deve relacionar-se à liberação de $\text{N}_{\text{inorgânico}}$ acumulado no solo durante o período de seca e o incremento de FBN com a chegada do período chuvoso (DAVIDSON *et al.*, 1993).

Assim como Nardoto e Bustamante (2003), pôde-se perceber neste estudo que a nitrificação líquida diminuiu na estação chuvosa, indicando a absorção de $\text{N}_{\text{inorgânico}}$ no sistema. As baixas concentrações de NO_3^- em relação à NH_4^+ podem ser relacionadas à baixa densidade de bactérias nitrificantes, pela inibição da nitrificação, ou por condições de baixa disponibilidade de O_2 do solo (PINTO *et al.*, 2006).

As diferenças encontradas na variação sazonal da razão $\text{N}_{\text{inorgânico}}/\text{N}_{\text{total}}$ e o maior subsídio relativo de N mineral no período de seca e transição seca-chuva provavelmente acontecem em resposta à rápida imobilização realizada pela comunidade microbiana do solo, ao passo que a umidade do solo ou a absorção das plantas aumenta, tonificando a aceleração

da ciclagem de N (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003). Neste caso a umidade pode ter atuado como fator de controle da mineralização do nitrogênio como nos solos estudados por Puri e Ashman (1998). A microbiota do solo e as plantas assimilam NH_4^+ e NO_3^- , nos casos em que a demanda por $\text{N}_{\text{inorgânico}}$ da biomassa microbiana é alta sua concentração no solo diminui, cujo processo é chamado de imobilização. De acordo com a satisfação da demanda microbiana, as concentrações de $\text{N}_{\text{inorgânico}}$ aumentam no solo, a este incremento denomina-se mineralização líquida (WHITE, 1996).

Deve-se destacar que a mineralização líquida se relaciona com a concentração de N total no solo, qualidade da matéria orgânica, variações sazonais dos substratos orgânicos associados com a produção de serapilheira e condições ambientais (HOSSAIN *et al.*, 1995).

7.2 Serapilheira

A serapilheira avaliada apresentou boa qualidade nutricional devido à sua baixa razão C/N (20,4), próximo aos valores encontrados nas folhas das espécies arbóreas estudadas no SAF, contribuindo para a manutenção da baixa razão C/N no solo, favorecendo processos de decomposição e ciclagem mais rápidos. Geralmente, as folhas e outros materiais de rápida decomposição configuram as principais fontes de C e nutrientes na serapilheira de SAFs (TAPIA-CORAL *et al.*, 2005). Por outro lado, as razões C/N na serapilheira encontradas em áreas de cerrado *sensu stricto* avaliadas por Nardoto (2005) e Coletta (2007) indicam um processo de decomposição do material vegetal mais lento nestas áreas nativas. Este fato é corroborado quando a concentração de N total encontrada na serapilheira do SAF (1,7%) apresenta valor superior ao encontrado por Nardoto (2005) na área de cerrado *sensu stricto* e Parron (2004) ao avaliar matas de galeria na Reserva Ecológica do IBGE.

Os resíduos orgânicos provenientes da serapilheira contribuem com a produção de biomassa e acumulação de nutrientes dos SAFs (PALM; SANCHEZ, 1991). A decomposição destes resíduos vegetais pode favorecer os microrganismos do solo, que são os principais

componentes para a manutenção da ciclagem de matéria orgânica e dos nutrientes no sistema solo-planta (LUIZÃO; LUIZÃO, 1991).

7.3 Planta

A alta variabilidade do $\delta^{15}\text{N}$ entre os indivíduos avaliados (7,6‰) também foi diagnosticada em áreas de Cerrado nativas (BUSTAMANTE *et al.*, 2004; PARRON *et al.*, 2004; NARDOTO, 2005; SILVA, 2005; COLETTA *et al.*, 2009), tais foram atribuídos à fatores como associações micorrízicas, sazonalidade dos processos de imobilização e mineralização de N nos solos e à variação de $\delta^{15}\text{N}$ ao longo da profundidade do solo.

Os processos de transformação do $\text{N}_{\text{orgânico}}$ em $\text{N}_{\text{inorgânico}}$ (mineralização, nitrificação e denitrificação) pelo intermédio dos microrganismos do solo proporcionam formas de N com diferentes composições isotópicas (HÖGBERG, 1997), com enriquecimento do substrato em comparação ao produto, desde o processo de decomposição da matéria orgânica à liberação de gases nitrogenados. Sendo assim, a preferência das plantas em adquirir NH_4^+ ou NO_3^- irá influenciar a sua composição isotópica, assim como a profundidade do solo em que o N foi adquirido (HÖGBERG, 1997). Com esta informação, pode-se relacionar indiretamente o $\delta^{15}\text{N}$ da planta e da forma inorgânica de N preponderantemente assimilada.

Embora a média foliar de $\delta^{15}\text{N}$ para as espécies leguminosas (2,83‰) tenha apresentado um valor médio maior que o das não leguminosas (2,32‰), a variação entre as descrições mínimas e máximas foram maiores nas primeiras (7,6‰), enquanto nas não leguminosas essa variação foi de apenas 3,5‰. Este padrão indica possivelmente uma grande variabilidade entre leguminosas na aptidão ou não em fazer associações simbióticas para fixar N-atmosférico. Esta diferença também indica que as espécies leguminosas estudadas apresentam grande variabilidade interespecífica na aquisição de nitrogênio entre as espécies presentes na área de estudo incluindo a FBN.

Com o diagnóstico realizado, pôde-se evidenciar a diferenciação entre leguminosas potencialmente fixadoras com e sem realização de FBN. Este fato corrobora com os resultados encontrados, pois apresenta uma maior tendência no incremento do fluxo de N, sem necessariamente haver o mesmo incremento nos estoques superficiais do solo. Contudo, observaram-se evidências de FBN em apenas quatro espécies, como *Centrolobium tomentosum*, *Copaifera langsdorffii*, *Dipteryx alata*, *Leucaena leucocephala*. Mesmo com as diferenças encontradas, a maior disponibilidade de N no SAF indica que as leguminosas conseguem manter a alta demanda deste elemento (com folhas ricas em N e baixa razão C/N) sem necessariamente despende grande quantidade de energia com FBN. Logo, as leguminosas potencialmente fixadoras que não estão realizando FBN possivelmente estão economizando energia, devido ao aumento da disponibilidade de N-mineral no sistema. Nardoto *et al.* (2012) encontraram situação semelhante ao avaliar leguminosas potencialmente fixadoras em florestas de terra-firme ao longo da bacia Amazônica, onde parte representativa das parcelas analisadas não apresentou FBN ou baixa incidência de FBN entre os indivíduos.

A maior concentração de N em espécies leguminosas conforme diagnóstico do presente estudo, tem sido encontrada em vários ecossistemas, como florestas tropicais (AIDAR *et al.*, 2003; OMETTO *et al.*, 2006; ROGGY *et al.*, 1999a, b; VITOUSEK *et al.*, 2002) e no Cerrado (SPRENT *et al.*, 1996; BUSTAMANTE *et al.*, 2004; NARDOTO, 2005). As leguminosas possuem um modo de vida com alto requerimento de N, desta forma, este fato pode relacionar-se com a maior capacidade de assimilação de N por tais espécies (McKEY, 1994).

O valor médio de $\delta^{15}\text{N}$ no SAF apresentou padrão mais enriquecido em ^{15}N comparado a outras fisionomias de Cerrado (BUSTAMANTE *et al.*, 2004; PARRON, 2004; NARDOTO, 2005; COLETTA *et al.*, 2009) e de áreas em diferentes estágios de regeneração

em mata atlântica (AIDAR *et al.*, 2003) ficando apenas menos enriquecido que florestas de terra firme amazônicas (NARDOTO *et al.*, 2008, OMETTO *et al.*, 2006).

O subsídio das leguminosas para o sistema também pode ser percebido nos valores de serapilheira, em que tanto os valores de $\delta^{15}\text{N}$ (3,1) como da razão C/N (20) foram semelhantes aos das leguminosas.

Mesmo com as diferenças de composição isotópica de nitrogênio entre as leguminosas, a alta concentração de N foliar nas leguminosas, independentemente de fixar o N atmosférico ou não, confirma que as leguminosas possuem um desempenho que requer alta necessidade de N. Esta alta incidência de N nas folhas de leguminosas foi identificado em florestas tropicais (VITOUSEK *et al.*, 2002) e no Cerrado (BUSTAMANTE *et al.*, 2004). A alta necessidade de N das leguminosas culmina em uma baixa razão C/N foliar, favorecendo a qualidade do material vegetal produzido. Por isso, desempenham uma função importante tanto na redistribuição de N, sua mineralização e disponibilidade para a comunidade vegetal, como na de outros nutrientes. Além disso, as evidências encontradas de FBN por algumas espécies mostram a importância das leguminosas como fonte de N para o sistema.

8. Conclusão

O SAF avaliado, com 10 anos, apresentou incremento na disponibilidade de N quando comparado à fitofisionomias com predominância de estrato arbóreo no Cerrado, embora o mesmo não tenha acontecido com relação ao seu estoque no solo. Este fato indica que há abertura na ciclagem de N e aumento de sua ciclagem externa no sistema.

Com ou sem realização de FBN, as leguminosas são fundamentais para o sistema e sua elevada demanda de N acarreta uma baixa razão C/N foliar, beneficiando a qualidade de seu material vegetal, favorecendo o aumento na disponibilidade de N. Este fato indica uma possível redução do mecanismo de retranslocação de nutrientes na senescência foliar, aliado às intervenções de poda.

A dinâmica de nitrogênio no sistema solo-planta-serapilheira do SAF apresentou a importância das espécies lenhosas de leguminosas para a redistribuição do N, assim como fonte importante de entrada de N para o sistema.

9. Considerações Finais

Ao estudar a dinâmica de nitrogênio nos SAFs identificou-se que leguminosas potencialmente nodulantes deixam de realizar FBN em um sistema com alto fluxo de nitrogênio. Este fato chama atenção para possíveis melhorias no desenho de implantação de SAFs, e para o desenvolvimento de mais trabalhos que visem a melhor compreensão destes sistemas.

Paralelo ao presente estudo, também vem sendo avaliada a dinâmica de Carbono no mesmo SAF, cujos resultados serão integrados permitindo compreender as relações entre N e C no sistema.

A serapilheira contribui significativamente na ciclagem dos nutrientes deste sistema, portanto depreende-se um maior entendimento sobre o processo da dinâmica de decomposição em SAFs, de forma a corroborar os resultados encontrados neste trabalho.

O presente trabalho espera ter contribuído para o fortalecimento dos SAFs enquanto prática de manejo conservacionista e Tecnologia Social. De forma a favorecer o seu entendimento, sua difusão (gerando dados para pesquisa e extensão rural) e aplicação dentro do contexto de questões latentes no Brasil, como a transição agroecológica e a Política Nacional de Agroecologia.

10. Referências Bibliográficas

- AGUIAR, M. I. Dissertação (Mestrado). **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. Universidade Federal de Viçosa – UFV, 91p., 2008.
- AIDAR, M.P.M.; SCHIMIDT, 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, 2003.
- ALCÂNTARA F.A.; BUURMAN P.; FURTINI NETO A.E.; CURI A.E.; ROSCOE, R.; Conversion of grassy cerrado into riparian forest and its impact on soil organic matter dynamics in an Oxisol from southeast Brazil. **Geoderma**, 123:305–317, 2004.
- ALEGRE, J.C., CASSEL, D.K. Dynamics of physical properties under alternative systems to slash-and-burn. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 58:39-48, 1996.
- AMADOR, D. B. **Recuperação de um fragmento florestal com sistemas agroflorestais**. Piracicaba, Tese (mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo – ESALQ/USP. 114 p., 1999.
- ARMANDO, M. S; BUENO, Y. M; ALVES, E. R. da S; **Agrofloresta para agricultura familiar**, Circular técnica 16, 11p., Brasília, Embrapa, 2003.
- ATTWILL P.M., ADAMS M.A. Tansley Review no 50: Nutrient cycling in forests. **New Phytologist** 124:561-582, 1993.
- AUSTIN, A. T.; VITOUSEK, P.M. Nutrient dynamics on a precipitation gradient in Hawaii. **Oecologia**, New York, v 113, n. 4, p. 519-529, 1998.
- BORLAUG, N.E., Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead. In: Bailey, R. (Ed.). **Global Warming and other eco-myths**. Competitive Enterprise Institute, Roseville, EUA, p.29-60, 2002.
- BRANNSTROM, C., JEPSON, W., FILIPPI, A.M., REDO, D., XU, S., GANESH, S., Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: **Comparative analysis and implications for land use-policy**. In: Land Use Policy 25, 579-595, 2008.
- BRENNER R. E., BOONE R. D. & RUESS R. W. Nitrogen additions to pristine, high-latitude, forest ecosystems: consequences for soil nitrogen transformations and retention in mid and late succession. **Biogeochemistry** 72, 257–82, 2005.
- BROSSARD, M., LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., Soil and environmental sustainability indicators for South America's savannas. **Nat. Sci. Soc.** 13, 266–278, 2005.
- BUSTAMANTE M.M.C., MARTINELLI L.A., SILVA D.A., CAMARGO P.B., KLINK C.A. DOMINGUES T.F., SANTOS R.V. N-15 natural abundance in Woody plants and soils of central Brazilian savannas (cerrado). **Ecological Applications**, 14:S200-S213, 2004.
- BUSTAMANTE, M.M.C., MEDINA, E., ASNER, G.P., NARDOTO, G.B., GARCIA-MONTIEL, D.C. Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas. **Biogeochemistry**, 79: 209–237, 2006.

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

CARDOSO I.M., SOUZA H.N., MENDONÇA E.S. Biodiversidade, recurso genético e cuidados fitossanitários. **Revista de Ação Ambiental** 31: 18-20, 2005.

CARVALHO, A.M. **Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição dos resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases.** 2005. 199 p. Tese (Doutorado em Ecologia) Universidade de Brasília – UnB, 2005.

CARVALHO, A.M. FONSECA, O.P.; DANTAS, R.A.; VAN LANDUYT, M.; ALVES, R.P. **Nitrogênio mineral no solo sob uso de plantas de cobertura em sistema de plantio direto no cerrado.** XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011.

CORBEELS, M., SCOPEL, E., CARDOSO, A., BERNOUX, M., DOUZET, J.M., SIQUEIRA NETO, M.S. Soil carbon storage potential of direct seeding mulch-based cropping systems in the Cerrados of Brazil. **Global Change Biol.** 12, 1773–1787, 2006.

COSTA, F.S., ALBUQUERQUE, J.A., BAYER, C., FONTOURA, S.M.V., WOBET, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:527-535, 2003.

DAVIDSON, E. A.; Soil water content and the ratio of nitrous oxide to nitric oxide emitted from soil. **Biogeochemistry of Global Change: Radiatively Active Gases**, R. S. Oremland, Ed., Chapman and Hall, 369–386, 1993.

DAVIDSON E.A., CARVALHO C.J.R., FIGUEIRA, A.M., ISHIDA F.Y., OMETTO J.P.H.B., NARDOTO G.B., SABÁ R.T., HAYASHI S.N., LEAL E.C., VIEIRA I.C.G., MARTINELLI L.A. Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment. **Nature** 447: 995-998, 2007.

DAVIDSON, E.A.; KELLER, M.; ERICKSON, H.E.; VERCHOT, L.V.; VELDKAMP, E. Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. **Bioscience**, Washington, v. 50, n. 8, p. 667-680, 2000.

DAWSON, T.E.; MAMBELLI, S.; PLAMBOECK, A.H.; TEMPLER, P.H.; TU, K.P. Stable isotopes in plant ecology. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v.33, p.507-559, 2002.

DUBOIS, J., **Classificação e Breve Caracterização de SAFs e Práticas Agroflorestais**, Capítulo 1, in Manual Agroflorestal para a Mata Atlântica / Coordenação Peter Herman May, Cássio Murilo Moreira Trovatto, Organizadores Armin Deitenbach ... [et al.] - Brasília : Ministério do Desenvolvimento Agrário, Secretaria de Agricultura Familiar, 2008.

EHLERINGER, J.R., RUNDEL, P.W., Stable Isotopes: history, units, and instrumentation. In: RUNDEL, P.W., EGLERINGER, J.R., NAGY, K.A. (Eds.). Stable isotopes in ecological research. **Ecological Studies** 68. New York: Springer-Verlag, 1989.p.1-15.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo** / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. - 2. ed. rev. atual. - Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA - **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**/ [editores técnicos, Humberto Gonçalves dos Santos... et al.] – 2.ed. – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMBRAPA. **SISAP** – Amazônia Oriental, 2011 (<http://www.cpaa.embrapa.br/portfólio/sistemadeproducao>). Acessado em 22 de abril.

FAO-ORGANIZACIÓN DE KAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Consulta de expertos sobre la avance de La agrofloresteria en zonas aridas y semiaridas de America Latina y Caribe. **Série zonas aridas y semiaridas**, n.1, 152p.,1995.

FARIA, S.M. DE; LEWIA, G.P.; SPRENT, J.I.; SUTHERLAND, J.M. Occurrence of nodulation in the Leguminosae. **New Phytologist**, New York, v. 111, p. 607-619, 1989.

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

FEARNSIDE P.M. Agro-silvicultura na política de desenvolvimento na Amazônia brasileira: a importância e os limites de seu uso em áreas degradadas. In: Gascon C. and Moutinho P. (eds), **Floresta Amazônica: Dinâmica, Regeneração e Manejo**. INPA, Manaus, AM. pp. 293–312. 1998.

FERNANDES E FERNANDES, F.A. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Comunicado Técnico 69, EMBRAPA. ISSN 1981-7231. Dezembro 2008. Corumbá-MS.

FILOSO, S., MARTINELLI, L.A, HOWARTH, R.W, BOYER, E.W., DENTENER, F. Human activities changing the N cycle in Brazil. **Biogeochemistry** (2006) 79: 61–89

GALLOWAY, J.N., DENTENER, F., CAPONE, D.G., BOYER, E.W.,HOWARTH, R.W, SEITZINGER, S.P., ASNER,G.P.,CLEVELAND,C.,GREEN,P., HOLLAND,E., KARL, D.M., MICHAELS, A.F.,PORTER,J.H.,TOWNSEND, A., VOROSMARTY, C.Nitrogen cycles: Past and future. **Biogeochemistry**, Dordrecht,v.70,n.2,p153-226, 2004.

GALLOWAY, J.N., SCHLESINGER, W.H., LEVY, H., MICHAELS, A., SCHNOOR, J.L. Nitrogen-Fixation – Anthropogenic Enhancement-Environmental Response. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, y.9, n.2, p235-252, 1995.

GANDARA, F.B.; KAGEYAMA, P.Y.. Biodiversidade e dinâmica em sistemas agroflorestais. In: Documentos: **Palestras III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais** (eds. Macêdo, J.L.V.; Wandelli, E.V. e Silva Júnior, J.P.). pp.25-32. Embrapa Amazônia Ocidental. Documetos. 21 a 25/11/2000, Manaus, AM., 2001

GARTEN, C.T.; VAN MIEGROET, H. Relationships between soil nitrogen dynamics and natural ^{15}N abundance in plant foliage from Great Smoky Mountain National Park. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.24, n.8, p.1636-1645, 1994.

GOEDERT, W.J., Management of the cerrado soils of Brazil: a review. **J. Soil Sci.** 34, 405–428, 1983.

GÖTSCH, E. **O Renascer da agricultura**. AS-PTA, Rio de Janeiro. 22p., 1995.

GRIMALDI M., SARRAZIN M., CHAUVEL A., LUIZÃO F., NUNES N.,LOBATO-RODRIGUES M., AMBLARD P. AND TESSIER D. Effets de la déforestation et des cultures sur la structure des sols argileux d'Amazonie brésilienne. **Cahiers Agricultures** 2:36–47. 1993.

HAIRIAH, K., SULISTYANI, H., SUPRAYOGO, D., WIDIANTO, PURNOMOSIDHI, P., WIDODO, R.H., NOORDWIJK, M.V. Litter layer residence time in Forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung. **Forest Ecology and Management**, 224:45-57, 2006.

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

HELFAND, S.M., RESENDE, G.C., **Mudanças na distribuição espacial da produção de grãos, aves e suínos no Brasil: o papel do Centro-Oeste**. In: Padrões Regionais de crescimento da produção de grãos no Brasil e Papel da Região Centro-Oeste. Helfand & Resende (Org.), p.13-56., 2003.

HOFFMAN, M.R.; **Sistema Agroflorestal Sucessional – Implantação mecanizada. Um estudo de caso**. 2005. 57 p. Dissertação de Graduação – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2005.

HOSSAIN, A. K.; RAISON, R. J.; KHANNA, P. K. Effects of fertilizer application and fire regime on soil microbial biomass carbon and nitrogen, and nitrogen mineralization in an Australian subalpine eucalypt forest. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 19, p. 246-252, 1995.

HÖGBERG, P. Transley review No 95 – ^{15}N natural abundance in soil-plant system. **New Phytologist**, New York, v.137, n.2, p.179-203, 1997.

JACKSON, N. A., WALLACE, C.K. Tree pruning as means of controlling water use in a agroforestry system in Kenya. **Forest Ecology and Management**, 126:133-148,2000.

JIANBO, L. Energy and economic benefits of two agroforestry systems in northern and southern China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 116:255-262, 2006.

KILLHAM, K. **Soil Ecology**. University Press, Cambridge, Inglaterra. 242p., 1994.

KLINK, C. A. & MOREIRA, A. G. Past and current human occupation, and land use. In: OLIVEIRA, P. S. & MARQUIS, R. J. (Ed.). **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, p. 69-88, 2002.

KLINK, C.A., MACHADO, R.B. Conservation of Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**. v.19, p.707-713, 2005.

KOOPMANS C. J., VAN DAM D., TIETEMA A. & VERSTRATEN J. M. Natural 15N abundance in two nitrogen saturated forest ecosystems. **Oecologia** 111, 470–80, 1997.

KRISHNAMURTHY, L. RAJAGOPAL, I. GUADARRAMA, A. A. **Alternativas Produtivas**: Introducción a la agroforestería para el desarrollo rural. México. Secretaría del medio ambiente e recursos naturales, centro de educación y capacitación para el desarrollo sustentable. 97p., 2003

LAURANCE, W.F., ALBERNAZ, A.K.M., FEARNSTIDE, P.M., VASCONCELOS H.L., FERREIRA, L.V. Deforestation in Amazonia. **Science** 304(5674): 1109–1111., 2004.

LOSS A., PEREIRA M.G., SCHULTZ N., DOS ANJOS L.H.C., DA SILVA E.M.R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 44 (1): 68-75, 2009.

LUIZÃO, R.C.C.; LUIZÃO, F.J. Littera e biomassa microbiana do solo no ciclo de matéria orgânica e nutrientes em terra firme na Amazônia Central. In: Val A.L., Figliuolo R. and Feldberg E. (eds), **Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento da Amazônia**: Fatos e Perspectivas, Vol. 1. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. pp. 65–75, 1991.

MACEDO, R. L. G.; FURTADO, S.C.; OLIVEIRA, T.K. DE; GOMES, J.E. Caracterização e manejo dos principais sistemas silvipastoris e agrossilvopastoris. In: MACEDO, R. L. G., **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000.

MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; AGUIAR, M.I.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S.; ARAÚJO FILHO, J.A.; Sistemas Agroflorestais no trópico semi-árido cearense. In: OLIVEIRA, T.S. (coord.) **Solo e Água**: aspectos de uso e manejo com ênfase no semi-árido nordestino. Fortaleza, Departamento de Ciências do Solo, UFC, p.105-131, 2004.

MANTOVANI, J. E. & PEREIRA, A. **Estimativa da integridade da cobertura vegetal de cerrado através de dados TM/Landsat**. Anais IX Simpósio de Sensoriamento Remoto. Santos, 11 a 18/09/1998: INPE, p.1455-1466, 1998.

MARCHÃO, R.L.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L.C.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems. **Soil and Tillage Research**, v.103, p.442-450, 2009.

MARDEGAN S. R.; NARDOTO G. B.; HIGUCHI N.; MOREIRA M. Z. & MARTINELLI L. A. Nitrogen availability patterns in white-sand vegetations of Central Brazilian Amazon. **Trees** 23, 479–88, 2009.

MARTINELLI, L.A.; PICCOLO, M.C.; TOWNSEND, A.R.; VITOUSEK, P.M.; CUEVAS, E.; MCDOWELL, W.H.; 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.

MENDES, I. C.; FERNANDES, M.F.; CHAER, G.M.; JUNIOR, F.B.R. Biological functioning of Brazilian Cerrado soils under different vegetation types. **Plant Soil**, DOI 10.1007/s11104-012-1195-6, 2012.

McKEY, D. Legumes and nitrogen: the evolutionary ecology of a nitrogen-demanding lifestyle. In: SPRENT, J.M.; McKEY, D. (Eds) *Advances in legume systematics: Part 5 – The Nitrogen Factor*. Kew: **Royal Botanic Gardens**, p. 211-228., 1994.

MEIER, M. **Nitratbestimmung in Boden-Proben (N-min- Methode)**. LaborPraxis, Würzburg, p. 244-247, 1991.

MELILO, J.M., Carbon and Nitrogen interactions in the terrestrial biosphere: antropogenic effects. In: WALKER, B., STEFFEN, W. (Ed.). **Global Change and Terrestrial Ecosystems**. Cambridge University Press, 1996. p. 431-450 (IGBP book series 2).

MICHON, G. & De FORESTA, H. Agroforests: pre-domestication of forest trees or true domestication of forest ecosystems? **Netherlands Journal of Agricultural Science**, 1998. 45: p 451-462.

MITTERMEIER, R.A., GIL, P.R.; HOFFMAN, M., PILGRIM, J., BROOKS, T., MITTERMEIER, C.G., LAMOREUX, J., DA FONSECA, G.A.B. **Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. 2ed. Boston: University of Chicago Press, 392p., 2005.

MOREIRA, F.M.S.; SILVA, M.F. DA; FARIA, S.M. DE. Occurrence of Nodulation in Legume Species in the Amazon Region of Brazil. **New Phytologist**, New York, v.121, n.4, p.563-570, 1992.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; DA FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, n.403, p. 853-858, 2000.

NAIR, P.K.R. Classification of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, 3:97-128, 1985.

NAIR, P.K.R. *An Introduction to agroforestry*. Dordrecht: Kluwer, 499p., 1993.

NALDHOFFER, K.J.; FRY, B. **Nitrogen isotope studies in forested ecosystems**. In: LAJTHA, K.; MICHENER, R.H. (Eds) *Stable isotope in ecology and environmental science*. Oxford: Blackwell, p. 22-44, 1994.

NARDOTO, G.B.; BUSTAMANTE, M.M.C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, 38, n. 8, p. 955-962, 2003.

NARDOTO, G.B. **Abundância natural de ^{15}N na Amazônia e Cerrado – implicações para a ciclagem de nitrogênio**. 2005. 100 p. Tese (Doutorado em Ecologia de

Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP, Piracicaba, 2005.

NARDOTO, G.B.; OMETTO, J.P.H.B.; EHLERINGER, J. R.; HIGUCHI, N.; BUSTAMANTE, M.M.C.; LUIZ ANTONIO MARTINELLI, L.A. Understanding the Influences of Spatial Patterns on N Availability Within the Brazilian Amazon Forest. **Ecosystems** 11(8):1234-1246, 2008.

NARDOTO, G.B.; QUESADA, Q.A.; PATIÑO, S.; SAIZ, G.; BAKER, T.R.; SCHWARZ, M.; SCHRODT, F.; FELDPAUSCH, T.R.; DOMINGUES, T.F.; MARIMON, B.S.; JUNIOR, B.M.; BIRD, M.I.; PHILIPS, O. L.; LLOYD, J.; MARTINELLI, L.A. Nitrogen isotopes suggest soil fertility and climate as prime modulators of Forest nitrogen cycling patterns across the Amazon Basin, 2012.

NUNES, L.A.P.L., **Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no Município de Viçosa-MG**. Universidade Federal de Viçosa, 2003. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Viçosa: UFV, 102p., 2003,

OMETTO J. P. H. B., EHLERINGER J. R., DOMINGUES T. F. et al. The stable carbon and nitrogen isotopic composition of vegetation in tropical forests of the Amazon Basin, Brazil. **Biogeochemistry** 79, 251–74, 2006.

PALM, C.A.; SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biol. Biochem.** 23: 83–88, 1991.

PARRON, L.M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; CAMARGO, P.B. de; **Composição isotópica de carbono e nitrogênio em solos e plantas de uma mata de galeria: efeito do gradiente topográfico**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 24 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 127)

PARRON, L.M.; BUSTAMANTE, M.M.C; MARKEWITZ, D; Fluxes of nitrogen and phosphorus in a gallery forest in the Cerrado of central Brazil. **Biogeochemistry** (Dordrecht): 1 – 22, 2010.

PENEREIRO, F. **Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), 1999. 136p. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP, Piracicaba, 1999.

PICOLLO, 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.12, n. 1, p. 61-70, 1994.

PICCOLO M. C., NEILL C., MELILLO J. M., CERRI C. C.; STEUDLER P. A. ¹⁵N natural abundance in forest and pasture soils of the Brazilian Amazon Basin. **Plant Soil**, 182, 249–58, 1996.

PINTO, A.S.; BUSTAMANTE, M.M.C.; KISSELLE, K.; BURKE, R.; ZEPP, R.; VIANA, L.T.; VARELLA, R.F.; MOLINA, M. Soil emissions of N₂O, NO, and CO₂ in Brazilian Savannas: Effects of vegetation type, seasonality, and prescribed fires. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, Washington, v. 107, D20, art n°. 8089, 2002.

PINTO, A.S; BUSTAMANTE, M.M.C; SILVA, M.R.S.S.; KISSELE, K.W.; BROSSARD, M.; KRUGER, R; ZEP, R.G.; BURKE, R.A. Effects of Different Treatments of Pasture Restoration on Soil Trace Gas Emissions in the Cerrados of Central Brazil. **Earth Interactions**. Volume 10, paper n.1, 2006.

PURI, G.; ASHMAN, M,R. Relationship between soil microbial biomass and gross N mineralization. **Soil Biology and Biochemistry** 30(2):251-256, 1998.

ROGGY, J.C.; PRÊVOST, 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 d15N. **Journal of Tropical Ecology**, New York, v. 15, p. 1-22, 1999a.

ROGGY, J.C.; PREVOST, M.F.; GOURBIERE, F.; CASABIANCA, H.; GARBAYE, J.; DOMENACH, A.M. Leaf natural 15N abundance and total N concentration as potential indicators of plant N nutrition in legumes and pioneer species in a rain forest of French Guiana. **Oecologia**, New York, v. 120, n. 2, p.171-182., 1999b.

QUILCHANO, C.; EGIDO, J.A.; GONSALEZ, M.I. Climate sequence of soils developed on granites in the Sierra de Gata, Salamanca, Spain. **Arid Soil Research Rehabilitation**, Bristol, v.9, n.3, p. 385-397, 1995.

REIS G.L., LANA A.M.Q., MAURICIO R.M., LANA R.M.Q., MACHADO R.M., BORGES I. QUINZEIRO NETO T. Influence of trees on soil nutrient pools in a silvopastoral system in the Brazilian Savannah. **Plant Soil** 329:185–193, 2010.

RESENDE, J.C.F. **A ciclagem de nutrientes em áreas de Cerrado e a influência de queimadas controladas**. 2001. 121p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

RIBEIRO, J. F., WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. In: SANO, S. M., ALMEIDA, S. P. ed. Cerrado ambiente e flora. Planaltina, DF: EMBRAPA/CPAC, p. 89-166, 1998.

ROCKSTROM, J. A safe operating space for humanity. **Nature**, Vol 461, Macmillan Publishers Limited 2009.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J.; PEREIRA, J.A.A. Effects of fire on soil organic matter in a ‘cerrado sensu-strictu’ from Southeast Brazil as revealed by changes in $\delta^{13}C$. **Geoderma**, Netherlands, v.95, n.1/2, p.141-160, 2000.

SCHIMMEL, J.P.; BENNETT, J. Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. **Ecology**, Brooklyn, v. 85, n. 3, p. 591-602, 2004.

SEITZ, R. A. **A regeneração natural na recuperação de áreas degradadas**. In: BALENSIEFER, M.; ARAUJO, A. J. & ROSOT, N. C. (ed.), Simpósio Sul-Americano e Simpósio Brasileiro. Recuperação de Áreas Degradadas. Curitiba: FUPEF, p. 103-110, 1994.

SIDDIQUE, I., ENGEL, V.L., PARROTA, J.A., LAMB, D., NARDOTO, G.B., OMETTO, J.P.H.B., MARTINELLI, L.A., SCHMIDT, S. Dominance of legume trees alters nutrient

relations in mixed species forest restoration plantings within seven years **Biogeochemistry** 88:89–101, 2008.

SILVA, J.M.C., BATES, J.M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot. **Bioscience**. v.52, p.225-233, 2002.

SILVA, D.M.L. **Dinâmica de nitrogênio em microbacias no Estado de São Paulo**. 106p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP, Piracicaba, 2005.

SOMARRIBA, E. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. **Agroforestry Systems**, 19:233-240, 1992.

SPRENT, J.I. The ecology of the nitrogen cycle. Cambridge studies in ecology, Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

STATSOFT. STATISTICA (data analysis software system), version 9 www.statsoft.com, 2009.

SUGASTI, J. B. **Propriedades químicas e atividade biológica em solo sob agrofloresta multiestratificada**. Dissertação de Graduação – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 42p., 2008.

SZOTT L.T., FERNANDES E.C.M. AND SANCHEZ P.A. Soil plant interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management** 45: 127–152, 1991.

TAPIA-CORAL S.C., LUIZÃO F.J., WANDELLI, E., FERNANDES, C.M. Carbon and nutrient stocks in the litter layer of agroforestry systems in central Amazonia, Brazil. **Agroforestry Systems** 65:33–42, 2005.

VIANI, R.A.G; RODRIGUES, R.; DAWSON, T.E.; OLIVEIRA, R.S. Functional differences between woodland savannas and seasonally dry forests from south-eastern Brazil: Evidence from 15N natural abundance studies. **Austral Ecology**, 36, 974-982, 2011.

VITOUSEK, P., Nutrient cycling and nutrient use efficiency. **The American Naturalist**, Vol. 119, No. 4, p. 553-572., 1982.

VITOUSEK, P.M., ABER, J.D., HOWARTH, R.W., LIKENS, G.E., MATSON, P.A., SCHINDLER, D.W., SCHLESINGER, W.H., TILMAN, D.G. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. **Ecological Applications**, Washington, v.7, n.3, p737-750, 1997.

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, 2002.

WHITE, C.S.; **The effects of fire on nitrogen cycling process within Bandelier National Monument**, NM. In: Effects of Fire on Madrean Province Ecosystems – A Symposium proceedings. P.F. Folliott et al. (cords.). USDA Forest Service., p.123-139, 1996.

XAVIER F.A.S., MAIA S.M.F., OLIVEIRA T.S., MENDONÇA E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** 30(2): 247-258, 2006.