

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CIÊNCIA DO SOLO**

**TESE**

**Estoque de Carbono, Nitrogênio e Fertilidade do  
Solo em Áreas em Recuperação com Leguminosas e  
em um Sistema de Agricultura Itinerante de Alta  
Produtividade**

**Michele de Oliveira Macedo**

**2007**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**ESTOQUE DE CARBONO, NITROGÊNIO E FERTILIDADE DO SOLO  
EM ÁREAS EM RECUPERAÇÃO COM LEGUMINOSAS E EM UM  
SISTEMA DE AGRICULTURA ITINERANTE DE ALTA  
PRODUTIVIDADE**

**MICHELE DE OLIVEIRA MACEDO**

*Sob a orientação do Professor*

**Avílio Antônio Franco**

*e Co-orientação dos Professores*

**Alexander Silva de Resende**

**Eliane Maria da Silva**

Tese submetida como requisito parcial  
para obtenção do grau de **Doutor em  
Ciências**, no Curso de Pós-Graduação  
em Agronomia, Área de Concentração  
em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ

Julho 2007

583.32

M141e

T

Macedo, Michele de Oliveira, 1976-

Estoque de carbono, nitrogênio e fertilidade do solo em áreas em recuperação com leguminosas e em um sistema de agricultura itinerante de alta produtividade / Michele de Oliveira Macedo - 2008.

91f. : il.

Orientador: Avílio Antônio Franco.

Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.

Bibliografia: f. 75-82.

1. leguminosa - Adubos e fertilizantes - Teses. 2. Nitrogênio - Fixação - Teses. 3. Micorriza - Teses. 4. Solos - fertilidades - Teses. I. Franco, Avílio Antônio, 1946-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MICHELE DE OLIVEIRA MACEDO**

Tese submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências** em Agronomia.

TESE APROVADA EM 31/ 07 / 2007

---

Avílio Antônio Franco Ph.D. Embrapa Agrobiologia  
(orientador)

---

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ

---

Bruno Jose Rodrigues Alves. Dr. Embrapa Agrobiologia

---

Heitor Luiz da Costa Coutinho. Dr. Embrapa Solos

---

Emanuela Forestieri da Gama Rodrigues. Dr. UENF

### *Nota da Família*

No funeral de minha irmã, Michele, uma de suas amigas de infância me contou uma história que ilustra a determinação que a guiava. Era uma noite de verão na Ilha do Governador, bairro em que morávamos, no Rio de Janeiro. Michele e a amiga, então adolescentes, estavam sentadas na calçada. Já passava das dez, e o pai da amiga sugeriu que se recolhessem, pois na manhã seguinte deviam ir à escola.

— O que será de vocês duas se continuarem tagarelando assim no portão?

Michele tinha a resposta na ponta da língua:

— Senhor, eu não sei o que a sua filha se tornará no futuro, mas eu serei uma cientista!

\*\*\*

Esta tese de doutorado é o resultado de anos de muito trabalho e dedicação. É a realização de um sonho de criança.

Nós, seus irmãos e pai, nos orgulhamos enormemente de Michele. Ela foi uma irmã e filha fantástica. Ela sempre lutou pelas coisas em que acreditava e amava a profissão que escolheu. Temos certeza de que ela certamente irá continuar seu trabalho, onde quer que esteja, com muita dedicação e amor, como fez aqui na terra. Ela ficará para sempre conosco em nossos corações. Esperamos que este trabalho seja de muito proveito para aqueles que o lerão. Ele foi escrito com muito amor.

Ela certamente teria dedicado essa tese a nossa mãe que também se foi no ano em que Michele partiu.

### *Nota do Comitê de Orientação e da Coordenação do CPGA-CS*

A Bióloga Michele de Oliveira Macedo formou-se na Universidade Federal do Rio de Janeiro e veio iniciar seus estudos de mestrado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no Curso de Pós graduação em Ciências Ambientais e Florestais. Tendo concluído o curso em 2004, no mesmo ano iniciou seu doutorado na mesma Universidade, agora no curso de Agronomia - Ciência do Solo, ligado ao Instituto de Agronomia. Ao longo de toda sua pós-graduação esteve diretamente ligada a equipe de recuperação de áreas degradadas, no laboratório de leguminosas, na Embrapa Agrobiologia.

Michele nunca foi menos que brilhante! Obcecada pelo trabalho e perfeccionista ao extremo, era comum vê-la até bem mais tarde no laboratório. Uma pessoa entusiasmada com o seu trabalho e com desenvoltura excepcional não só no laboratório mas também no campo. Situação pouco comum para a maioria dos profissionais que conhecemos. Questionadora como todo cientista deveria ser, Michele antes de contestar algo *falava* “*Uma pergunta...*” Quantas perguntas ficaram sem respostas ao longo desses anos de convívio...

Essa era Michele. Uma pessoa com muita vida, uma guerreira que defendeu sua tese de doutorado antes do prazo para iniciar suas atividades de pós-doutorado junto a outra Unidade da Embrapa, a Solos no Jardim Botânico. Quando faleceu, Michele estava encerrando a correção de sua tese. Respeitamos onde parou e atendendo seu perfeccionismo, corrigimos somente o que ela mesma havia marcado e algumas referências que não estavam plenamente citadas.

A ciência perde um profissional brilhante, mas nós perdemos uma grande amiga.

## RESUMO GERAL

MACEDO, Michele de Oliveira. **Estoque de carbono, nitrogênio e fertilidade do solo em áreas em recuperação com leguminosas e em sistema de agricultura itinerante de alta produtividade**. 2007. 82f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia. Departamento de Solos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. 2007.

Neste estudo foi avaliado o potencial do uso de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio, e da utilização de pousio em um sistema de agricultura itinerante de alta produtividade, em restabelecer a ciclagem de nutrientes e incrementar os estoques de C e N. Foram avaliados os estoques de C e N do solo, as concentrações de fração leve livre e leve oclusa da matéria orgânica, os teores de Ca, Mg, P, K, C e N no solo, e o estoque e a quantidade de nutrientes presentes na serapilheira nas estações seca e chuvosa. Uma das áreas avaliadas, no município de Angra dos Reis (RJ), está em recuperação há 13 anos. Para fins de comparação, utilizou-se como referência uma área de mata e outra, desmatada, adjacente à área em recuperação. As demais áreas estudadas localizam-se em Seropédica (RJ), e estão em recuperação há 17 anos com as espécies *Mimosa caesalpinifolia* e *Acacia auriculiformis*, e há 13 anos, com a espécie *Albizia guachapele*. Como área referência foi utilizada uma área de capoeira e outra de pastagem. Tanto a área em recuperação localizada em Angra dos Reis quanto as áreas em recuperação em Seropédica haviam sido utilizadas como áreas de empréstimo, tendo perdido parte dos horizontes superficiais do solo. A área de agricultura itinerante situa-se em Bom Jardim, região serrana do Rio de Janeiro. Foi avaliado um gradiente de uso do solo: área cultivada há um ano; área há três anos com rotação cultivos; área há 18 anos cultivada com bananas; área em pousio há cinco anos; e outras duas áreas em pousio há 18 e 33 anos. O uso de leguminosas incrementou os estoques de C e N do solo nas áreas em recuperação. As taxas de aumento variaram de 0,04 a 0,15 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para N, e de 0,13 a 1,73 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C. No sistema de agricultura itinerante, os menores estoques de C foram observados nas áreas cultivadas há um e há três anos. Nas áreas em pousio e no bananal os estoques foram similares entre si e superiores aos das áreas cultivadas. O maior estoque de N foi observado na área com cinco anos de pousio. As concentrações de fração leve livre e leve oclusa foram similares entre as áreas de mata e em recuperação em Angra dos Reis. Nas áreas em recuperação em Seropédica, somente a fração leve livre foi restabelecida. Já nas áreas de Bom Jardim, não houve diferença significativa entre as concentrações de fração leve livre e leve oclusa. No entanto, o pousio de cinco anos e o cultivo de três anos apresentaram os menores valores de fração leve livre. Os estoques de serapilheira nas áreas de mata e em recuperação de Angra dos Reis foram similares. As áreas em recuperação no município de Seropédica apresentaram estoques de serapilheira similares, com exceção da espécie *A. auriculiformis* que mostrou os maiores estoques. Nas áreas em pousio do sistema de agricultura itinerante, os estoques de serapilheira foram similares. O estoque de nutrientes da serapilheira, em geral, variou pouco, e foi dependente da massa de serapilheira. A fertilidade dos solos das áreas em recuperação foi ligeiramente maior que das áreas referência. Na agricultura itinerante, pode-se observar efeito residual da calagem usada pelo agricultor no pousio de cinco anos. De acordo com os resultados de estoque de C, N e fertilidade do solo, o período de pousio mais indicado para o corte e queima foi o de cinco anos.

**Palavras-chave:** Ciclagem de nutrientes. Fixação biológica de nitrogênio. Fungos micorrízicos. Serapilheira.

## GENERAL ABSTRACT

MACEDO, Michele de Oliveira. **Soil carbon and nitrogen stocks and fertility in areas in recuperation with leguminous trees and on shifting cultivation system area with high productivity**. 2007. 82p. Tese (Doctor Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia. Departamento de Solos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. 2007.

This study aimed to evaluate carbon and nitrogen stocks restoration, and soil fertility status in land reclamation with nodulated and mycorrhizal legume trees and fallow length on high productivity shifting cultivation. Evaluations were made of soil C and N stocks, concentration of free and occluded light fraction and soil available Ca, Mg, P, K, C and N, and amounts of mass and nutrients of litter in the dry and rainy season. One of the areas located in Angra dos Reis, RJ is under reclamation for 13 years. As reference area it was used a forest fragment and deforested area nearby. A second area is located in Seropédica, RJ, and it is under reclamation for 17 years with the species *Acacia auriculiformis* and *Mimosa caesalpiniiifolia*, and with *Albizia guachapele* for 13 years. As reference area it was used a secondary forest fragment and a pasture area. Both areas under recuperation in Angra dos Reis and in Seropédica had been used as source of topsoil, having lost part of the upper soil horizons. The slash-and-burn area is located in Bom Jardim, Nova Friburgo, RJ. For this study, it was utilized a chronossequence of soil gradient: area cultivated for one year; area cultivated with crop rotation for three years; area cultivated with bananas for 18 years; area under fallowing for five years; and others two fallowing areas for 18 and 33 years. The usage of legume trees in land reclamation was able to increase stocks of C and N, from 0.04 to 0.15 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> for N, and of 0.13 to 1.73 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> for C. In the slash-and-burn agriculture system, the lowest soil C stock was found in the one and three years cultivated areas. The highest stock was observed under fallowing and in the area planted with bananas, and they were similar between areas. The highest soil N stock was found in fallow with five years. In Angra dos Reis area the concentration of free and occluded light fraction was similar between areas of forest and under reclamation. In Seropédica, only the free light fraction of organic matter was re-established. There was no significant difference between the concentrations of free and occluded light fraction in Bom Jardim areas; however, the area with five years fallow and three years cultivation showed the same values of the free light fraction. In Angra dos Reis areas, the litter stocks were similar between the forest and the area under reclamation. In Seropédica, except for the area under *A.auriculiformis* with greatest litter stock, all other areas showed similar litter stocks. In Bom Jardim, the litter stocks were similar among the fallowing areas. The nutrients contained in the litter, in general, were similar among the areas, and they were dependent on the litter mass. The soil fertility in the areas under reclamation was slightly higher than in the reference ones. In the slash-and-burn area, the soil fertility analyses indicated a residual effect of liming in the fallow with five years. Considering the attributes soil fertility and soil C and N stocks, the best fallowing period would be of five years.

**Key-words:** Nutrient cycling. Biological nitrogen fixation. Mycorrhizal fungi. Litter.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 As Florestas Tropicais e a Degradação do Solo.....	3
2.2 A Recuperação de Áreas Degradadas no Brasil.....	4
2.3 A Recuperação de Áreas Degradadas e o Efeito Estufa .....	6
2.4 Matéria Orgânica do Solo.....	7
2.5 Compartimentos da Matéria Orgânica do Solo.....	8
2.5.1 Serapilheira.....	8
2.5.2 Carbono do solo.....	10
2.5.3 Fracionamento da matéria orgânica do solo.....	12
<b>3. CAPÍTULO I: ESTUDO DE CASO I ESTOQUE DE CARBONO, NITROGÊNIO E FERTILIDADE DO SOLO EM UMA ÁREA DEGRADADA EM RECUPERAÇÃO COM LEGUMINOSAS, HÁ 13 ANOS, LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE ANGRA DOS REIS, RJ .....</b>	<b>15</b>
RESUMO.....	16
ABSTRACT.....	17
3.1 Introdução.....	18
3.2 Material e Métodos.....	19
3.2.1 Área de estudo.....	19
3.2.2 Análises de solo.....	20
3.2.3 Fracionamento da matéria orgânica.....	21
3.2.4 Serapilheira acumulada.....	21
3.2.5 Análises estatísticas.....	21
3.3 Resultados e Discussão.....	22
3.3.1 Densidade e granulometria.....	22
3.3.2 Concentração e estoque de C e N do solo.....	22
3.3.3 Fração leve livre e leve oclusa da matéria orgânica do solo.....	26
3.3.4 Serapilheira acumulada.....	27
3.3.5 Fertilidade do solo.....	28
3.4 Conclusões.....	31
<b>4. CAPÍTULO II: ESTUDO DE CASO II ESTOQUE DE CARBONO, NITROGÊNIO E FERTILIDADE DO SOLO EM UMA ÁREA EM RECUPERAÇÃO HÁ 17 ANOS COM LEGUMINOSAS, SEROPÉDICA, RJ .....</b>	<b>32</b>
RESUMO.....	33
ABSTRACT.....	34
4.1 Introdução.....	35
4.2 Material e Métodos.....	36
4.2.1 Área de estudo.....	36
4.2.2 Análises de solo.....	37
4.2.3 Abundância Natural de $d^{13}C$ .....	37
4.2.4 Fracionamento da matéria orgânica.....	37
4.2.5 Serapilheira acumulada.....	37
4.2.6 Deposição e decomposição da serapilheira.....	38
4.2.7 Análises estatísticas.....	38

4.3 Resultados e Discussão.....	39
4.3.1 Densidade do solo.....	39
4.3.2 Concentração e estoque de C e N do solo.....	40
4.3.3 Fração leve livre e leve oclusa da matéria orgânica.....	44
4.3.4 Massa e nutrientes no estoque de serapilheira.....	45
4.3.5 Deposição e decomposição da serapilheira.....	47
4.3.6 Fertilidade do solo.....	50
4.4 Conclusões.....	52
<b>5. CAPÍTULO III: ESTUDO DE CASO III CARBONO, NITROGÊNIO E FERTILIDADE DO SOLO EM UMA ÁREA DE AGRICULTURA MIGRATÓRIA DE ALTA PRODUTIVIDADE LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE BOM JARDIM, RJ.....</b>	<b>53</b>
RESUMO.....	54
ABSTRACT.....	55
5.1 Introdução.....	56
5.2 Material e Métodos.....	58
5.2.1 Área de estudo.....	58
5.2.2 Análises de solo.....	61
5.2.3 Fracionamento físico da matéria orgânica.....	61
5.2.4 Serapilheira acumulada.....	61
5.2.5 Análises estatísticas.....	61
5.3 Resultados e Discussão.....	62
5.3.1 Densidade do solo.....	62
5.3.2 Concentração e estoque de C e N do solo.....	63
5.3.3 Fração leve livre e leve oclusa da matéria orgânica do solo.....	65
5.3.4 Estoque de serapilheira.....	67
5.3.5 Fertilidade do solo.....	68
5.4 Conclusões.....	72
<b>6. CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>73</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>74</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>75</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais, por em sua grande maioria, estarem estabelecidas sob solos muito intemperizados, de fertilidade natural baixa, tem na biomassa vegetal, a base de sua sustentabilidade (Bayer & Mielniczuk, 1999; Whittaker, 1975). Devido ao grau de intemperismo destes solos, a maior parte dos nutrientes vai estar contido na biomassa da vegetação, de modo que será a decomposição da serapilheira depositada sobre o solo, a principal fonte de nutrientes e energia para os organismos. Este processo de decomposição dos resíduos, seguido de humificação, resulta no incremento de matéria orgânica do solo, que por sua vez, está envolvida em diversas funções, tais como aumento da CTC, redução na disponibilidade de  $Al^{+3}$ , retenção de bases, agregação e disponibilidade de nutrientes, especialmente do nitrogênio. A redução dos seus níveis está intimamente associada à queda da produtividade e aos processos de degradação do solo.

O incremento dos níveis de matéria orgânica do solo ao longo do tempo fez desse compartimento o terceiro maior reservatório de carbono terrestre, correspondendo ao dobro do carbono (C) encontrado na biomassa vegetal e o triplo do observado na atmosfera (Lal, 2004). Inúmeros trabalhos vêm sendo publicados nos últimos anos visando entender o papel do C do solo nos problemas relacionados ao cenário de mudanças climáticas globais (Nepstad et al., 1994; Bremer et al., 1995; Bashkin & Brinkley, 1998; Silver et al., 2000; Lal et al. 2004; Bellamy et al., 2005; Batjges, 2005; Boddey et al., 2006).

A redução dos níveis de matéria orgânica do solo se inicia com a remoção da comunidade vegetal, que reduz a deposição de serapilheira, restringindo a atividade biológica do solo. Uma vez reduzido o aporte de serapilheira, o solo fica exposto aos processos erosivos, favorecendo a remoção das camadas mais férteis. Além disso, essa redução do aporte de biomassa, em associação ao aumento da temperatura do solo, favorece a mineralização da matéria orgânica, levando à redução dos seus níveis, que por sua vez, pode resultar em processos de degradação. Durante o processo de mineralização da matéria orgânica há liberação de  $CO_2$ , que contribui para o aumento dos níveis deste gás na atmosfera, hoje o gás de efeito estufa emitido em maior quantidade.

Estima-se que 28% do território brasileiro estejam em um processo avançado de degradação (Terrastat, 2000), devido ao desmatamento e ao mau uso do solo. Quanto maior o grau de degradação, menor é a velocidade de regeneração do sistema (Vitousek et al., 1989; Brown & Lugo, 1992; Guariguata & Ostertag, 2001), de modo que, dependendo das circunstâncias, medidas de recuperação são necessárias para acelerar o processo.

Nesse sentido, há vinte anos, a Embrapa Agrobiologia vem utilizando espécies de leguminosas associadas a bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos arbusculares na recuperação de áreas degradadas (Franco et al., 1992; Franco & Faria, 1997). Devido às associações simbióticas, estas espécies são capazes não só de se estabelecer, como também produzir uma grande quantidade de biomassa de baixa relação C:N (Franco & Faria, 1997), o que promove a incorporação de matéria orgânica e nitrogênio no solo e reduz a amplitude dos fatores abióticos como temperatura e umidade, favorecendo a entrada de novas espécies no sistema.

Alguns sistemas agrícolas se baseiam na utilização de períodos de pousio como forma de restabelecer a fertilidade do solo, evitando a sua degradação e a perda de produtividade. Este tipo de manejo vem sendo utilizado há centenas de anos pelo homem. O princípio básico é, após um período de cultivo, permitir que uma vegetação secundária se estabeleça. Após alguns anos, a vegetação é cortada e, algumas vezes, queimada, melhorando a fertilidade do solo para um novo ciclo de cultivo. Para o sucesso desse manejo

é importante a adoção de períodos adequados de pousio, uma vez que um período reduzido pode não ser capaz de restabelecer os nutrientes do solo. Nos últimos anos, períodos de pousio mais curtos vêm sendo empregados, resultado, principalmente, da expansão das populações humanas, da necessidade de se aumentar a geração de renda e por motivos legais. Por outro lado, estas reduções no período de pousio acabam gerando uma necessidade de se utilizar fertilizantes industrializados como forma de manter a fertilidade destas áreas. Nesse sentido, o período de pousio teria o papel de incrementar os estoques de C e N. Estas mudanças implicam na necessidade de se reavaliar o período de pousio mais indicado.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial do uso de leguminosas arbóreas micorrizadas e noduladas na recuperação de áreas degradadas, em restabelecer a ciclagem de nutrientes do sistema (Capítulo I e III) e incrementar os estoques de C e N do solo. A avaliação do estoque de C das áreas em recuperação auxiliará no entendimento do papel da recuperação de áreas degradadas em funcionar como dreno de CO<sub>2</sub>, de modo a contribuir na mitigação do efeito estufa. Também teve como objetivo entender como a agricultura itinerante influencia na fertilidade e nos estoques de C e N do solo, assim como determinar o período de pousio mais adequado (Capítulo II).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 As Florestas Tropicais e a Degradação do Solo

As florestas tropicais são conhecidas por sua diversidade, complexidade e exuberância. Estima-se que nelas esteja contido de 50 a 90% das espécies de todo o planeta, apesar de ocorrerem em somente 6% de toda a área da superfície terrestre (Erwin, 1988 e Wilson, 1992 citados por Montagnini & Jordan, 2005). Prestam diversos serviços ambientais às populações humanas, tais como econômico (madeira, fibra, energia, produtos não madeireiros, ecoturismo), ambiental (reserva da biodiversidade, regulação do clima, e conservação do solo e da água) e social. Destaca-se, ainda, o seu valor estético, científico e religioso (Montagnini & Jordan, 2005). Desempenham um importante papel no ciclo biogeoquímico do C de modo que o seu papel no cenário de mudanças climáticas globais vem sendo estudado (Brown & Lugo, 1990, 1992; Silver et al., 2000; Pregitzer & Euskirchen, 2004).

Ao longo do processo de colonização e desenvolvimento humano estas florestas estão sendo derrubadas, as madeiras retiradas e, posteriormente, usadas para fins agropecuários, ocupação industrial, e a construção de estradas e cidades. Por sua vez, o desmatamento associado ao mau uso do solo vem gerando uma grande extensão de áreas degradadas.

Como as florestas tropicais, em sua grande maioria, estão estabelecidas sobre solos altamente intemperizados, de fertilidade natural baixa (Whitaker, 1975), a maior parte dos nutrientes está na biomassa das plantas, de modo que a sua sustentabilidade se dará através da reciclagem dos nutrientes nela contidos. Por sua vez, essa reciclagem de nutrientes está intimamente ligada à matéria orgânica no solo. Nesse sentido, espera-se que, ao longo do processo sucessional, ocorra um aumento do estoque de nutrientes na floresta, fruto do aumento da biomassa ao longo deste processo (Snedaker, 1980), e um acúmulo de matéria orgânica no solo (Odum, 1969; Silver et al., 2000). A remoção destas florestas, que reduz a deposição e decomposição da biomassa, contribui para redução dos níveis de matéria orgânica do solo, que, dependendo do manejo, pode levar a processos de degradação.

Estima-se que hoje, no Brasil, 28% do seu território encontra-se em um processo avançado de degradação (Terrastat, 2000), o que corresponde a 7% dos solos degradados no Mundo (Resende et al., 2006). Quanto maior o grau de degradação gerada por uma dada atividade, menor é a resiliência do sistema (Vitousek et al. 1989; Brown & Lugo, 1992; Guariguata & Ostertag, 2001). Esta depende de inúmeros fatores, como a proximidade da fonte de propágulos, viabilidade do banco de sementes, de rebrotos, disponibilidade de nutrientes e clima (Nepstad et al., 1991; Holl, 1999), que vão sendo profundamente alterados na medida em que o processo de degradação se intensifica. Assim, dependendo das condições, somente com medidas de recuperação da área é possível o retorno da comunidade vegetal.

No caso da disponibilidade de nutrientes, estudos indicam que o nitrogênio provavelmente seja o elemento mais limitante no restabelecimento de uma comunidade vegetal (Tilman, 1985; Vitousek et al. 1989; Davidson et al., 2004). O nitrogênio tem como principal via de entrada para os ecossistemas, a fixação biológica de nitrogênio (90%), e mais secundariamente, os relâmpagos (8%) e as reações fotoquímicas (2%). Nesse sentido, o restabelecimento dos seus níveis no solo só será possível através de adubação nitrogenada ou da fixação biológica de nitrogênio por diazotróficos livres ou associados a outras espécies. Diversas espécies da família Leguminosae são capazes de se associarem a bactérias fixadoras de nitrogênio e são numerosas nas regiões tropicais. Estas bactérias são capazes converter o nitrogênio atmosférico em amônio, fornecendo-o para planta em troca dos produtos da fotossíntese. Nesse sentido, a grande diversidade dessa família associada às

suas varias possibilidades de uso, as tornam espécies estratégicas no que diz respeito a sustentabilidade ecológica, econômica e social, principalmente no Brasil (Resende et al., 2006).

Segundo alguns estudos, o aumento deste elemento ao longo da sucessão vegetal está relacionado com o aumento de espécies lenhosas no sistema (Francis & Read 1994). Davidson et al. (2004) observaram que quando N era adicionado em áreas em processo inicial de sucessão, havia um incremento de biomassa resultante do maior desenvolvimento de indivíduos lenhosos. Além disso, o tratamento com N reduziu a mortalidade das plantas (Davidson et al. 2004). De acordo com Francis & Read (1994), o incremento de nitrogênio no solo confere uma maior capacidade do sistema em suportar uma comunidade mais complexa, sendo, portanto, um elemento chave na recuperação de áreas degradadas.

## **2.2 A Recuperação de Áreas Degradadas no Brasil**

A recuperação de áreas degradadas no Brasil teve início no século XIX, quando foi registrada a primeira ação efetiva de reflorestamento sem fins produtivos no país (Costa, 2007). Na época, o Major Manoel Gomes Archer e seis escravos plantaram 60 mil árvores em uma área de 16 milhões de metros quadrados na Floresta da Tijuca (Costa 2007). Desde então, se tem observado um aumento do interesse na pesquisa na área de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas (Costa, 2007). Um exemplo disto é o grande número de propostas de projetos recebidos pelo Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), em seu edital 02/2005, que trata da recuperação e plantio de matas em nascentes e em margens de rios, córregos e lagos. Ao todo, foram recebidos 254 projetos, caracterizando o maior volume de propostas recebidas em 16 anos de funcionamento do FNMA (Costa, 2007).

Dentro deste contexto, alguns grupos de pesquisa se estabeleceram no Brasil, podendo-se citar os grupos de recuperação de áreas degradadas da Embrapa Agrobiologia, e da USP / ESALQ, durante a década de oitenta. Outros grupos localizados na Embrapa Cerrados assim como na Embrapa Florestas e Embrapa Solos vem se desenvolvendo ao longo deste tempo. A Embrapa Cerrados tem se dedicado à restauração de áreas de mata de galeria e outras fisionomias de cerrado e a Embrapa Florestas, principalmente, à restauração de ambientes florestais fluviais (Costa, 2007).

A técnica de recuperação de áreas degradadas desenvolvida pela Embrapa Agrobiologia, se baseia no uso de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio em associação com fungos micorrízicos arbusculares (Franco et al. 1992). Isto só foi possível após a identificação de espécies de leguminosas tropicais que nodulam e formam simbiose eficiente com o rizóbio (Faria et al., 1994 e 1995) e que apresentam alta resposta à micorrização (Monteiro 1990). O sucesso dessa interação tripartite se deve a capacidade dos fungos micorrízicos arbusculares em aumentar a absorção de nutrientes, principalmente o fósforo, mas também micronutrientes como Cu, Zn e Mo, importantes para o processo de nodulação e fixação biológica de nitrogênio. Além disso, os fungos micorrízicos arbusculares favorecem a estruturação e o incremento de matéria-orgânica do solo pela ação das suas hifas e deposição de uma glicoprotéina denominada glomalina (ou glomalin-related soil) presente na parede celular das hifas.

Assim, devido às associações com bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares contribui para o estabelecimento destas espécies de leguminosas sob condições adversas, sobre solos degradados, além de incrementá-lo com uma matéria orgânica com baixa relação C:N (Franco et al., 1992).

A estratégia de utilizar leguminosas fixadoras de nitrogênio é apoiada pela constatação de que o nitrogênio é um elemento chave no restabelecimento da comunidade vegetal nos trópicos, e de que a fixação biológica é a principal via natural de entrada deste elemento no sistema. Além disso, estudos mostram que o incremento dos níveis de matéria

orgânica do solo está intimamente associado à disponibilidade de nitrogênio (Christopher & Lal, 2007).

Esta técnica se baseia na idéia de que os processos de facilitação em estádios iniciais de sucessão são determinantes no estabelecimento da comunidade vegetal, uma vez que promovem a melhoria das condições físicas do ambiente e o incremento de matéria orgânica e nutrientes no solo (Resende et al., 2006). Uma vez alteradas as condições do ambiente, a entrada de novas espécies mais exigentes torna-se possível.

Outras técnicas de recuperação de áreas degradadas podem ser citadas, como as utilizadas pelo grupo do professor Dr. Paulo Yoshio Kageyama da USP/ESALQ, baseadas na identificação das espécies nativas das áreas próximas às áreas degradadas e a sua categorização em pioneiras, secundárias iniciais e clímax, conforme proposto por Budowski (1965); e no uso de técnicas nucleadoras de restauração (Para maiores detalhes ver Reis., 2002).

Como alternativa à recuperação de áreas degradadas ou com baixa produtividade, tem sido sugerida a utilização de sistemas agroflorestais. Estes sistemas, por serem mais diversificados, são mais sustentáveis, promovem uma melhoria da qualidade do solo podendo reduzir a necessidade de se utilizar insumos agrícolas. Além disso, como os sistemas agroflorestais são compostos por diferentes espécies vegetais, pode ser uma fonte de renda durante todo o ano, já que se podem combinar espécies com diferentes ciclos de cultivo, e valor comercial.

Também se tem sugerido o uso de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio nestes sistemas, com o objetivo de melhorar a qualidade do solo assim como aumentar a disponibilidade de N (Campello et al., 2006; Silva et al., 2006a). Devido aos seus diferentes usos (consumo humano e animal, energia, movelaria, lenha, enriquecimento do solo etc), podem agregar valor aos mais diferentes sistemas de produção (Resende et al., 2006). Dos sistemas agroflorestais em que o uso de leguminosas vem sendo empregado pode-se citar a arborização de pastagens (Silva et al., 2006a), sistemas agroflorestais propriamente dito (Handayanto et al. 1995; Campello et al., 2006) e silvicultura (Balieiro, 2002).

Numa outra vertente, a agricultura migratória ou itinerante, também considerada como um sistema agroflorestal e utilizada há centenas de anos (Montagnini & Jordan, 2005), vem sendo utilizada como forma de restabelecer a capacidade produtiva do solo há centenas de anos pelo homem. Esta se baseia na adoção de períodos em que o solo permanece em pousio, de modo a permitir o desenvolvimento de uma comunidade vegetal, e que se dá por meio de rebrotas de tocos, raízes e sementes que sobreviveram ao corte e queima, e vindas de áreas vizinhas. Após este tempo, a vegetação é cortada e queimada para que os nutrientes nela contidos sejam disponibilizados para um novo ciclo de cultivo.

O fogo é utilizado como forma de facilitar o plantio, disponibilizar os nutrientes contidos na biomassa, elevar o pH do solo e por razões fitossanitárias (Giardina et al., 2000). Mas por outro lado, a queima leva a uma grande perda dos nutrientes contidos na biomassa (Silva et al., 2006a; Giardina et al., 2000), de modo que a quantidade de nutrientes da biomassa deve ser suficiente para que após a queima, ainda se tenha nutriente suficiente para suprir a demanda da cultura que virá em seguida. Além disso, deve-se considerar que parte significativa da biomassa acumulada é perdida durante a queima em forma de CO<sub>2</sub> (Resende et al., 2006b), reduzindo a fonte de C para os microrganismos do solo e contribuindo para o aumento da concentração deste gás na atmosfera. Essa redução na fonte de C, por sua vez, pode levar a uma redução nos níveis matéria orgânica do solo ao longo do período de cultivo, e redução na produtividade das culturas.

### 2.3 A Recuperação de Áreas Degradadas e o Efeito Estufa

O clima na Terra é regulado pelo fluxo constante de energia solar que atravessa a atmosfera. Os gases de efeito estufa são gases presentes na atmosfera terrestre que têm a propriedade de impedir que parte da radiação solar que chega na Terra saia. Dos principais gases presentes naturalmente na atmosfera pode-se citar o vapor d'água, o gás carbônico, o metano, o óxido nitroso e o ozônio, fundamentais para a manutenção da temperatura do planeta.

No entanto, hoje estão ocorrendo mudanças no clima do planeta, decorrentes do aumento da concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera resultante das atividades antrópicas. Esta mudança nas condições climáticas da Terra é produto da emissão de alguns gases, especialmente, do gás carbônico, o metano e o óxido nitroso, originados, principalmente, da queima de combustíveis fósseis. Entretanto, em áreas tropicais, a conversão de florestas e o uso do solo são os fatores que mais contribuem para o aumento da concentração desses gases (Mutuo et al., 2005). Nesse caso, o Brasil tem contribuído de forma significativa na emissão de gases do efeito estufa pela mudança no uso da terra. De um modo geral, estima-se que o desmatamento associado ao mau uso do solo tenha contribuído com 10-20% do CO<sub>2</sub> emitido durante as décadas de 80 e 90 (Lal, 2004).

Por ser o terceiro maior reservatório de C terrestre, o C do solo tem um papel importante na manutenção do ciclo biogeoquímico deste elemento. Assim, estimativas do estoque de C do solo são essenciais para o embasamento de medidas públicas quando se considera o cenário de mudanças climáticas globais. Nesse sentido, estudos indicam que as florestas tropicais são capazes de armazenar e incrementar os estoques de C na sua biomassa e no solo (Brown & Lugo, 1992; Pregitzer & Euskirchen, 2004; Zhou et al., 2006). Entretanto, o papel das florestas e dos solos tropicais como fonte ou dreno dos gases do efeito estufa ainda tem sido motivo de discussões (Brown & Lugo, 1990, 1992; Hugues et al., 2002; Lal, 2004; Bellamy et al., 2005; Keppler et al., 2006; Zhou et al., 2006).

Preocupações recentes da comunidade internacional com o efeito estufa geraram discussões sobre a responsabilidade dos países na emissão destes gases. Estas discussões culminaram no desenvolvimento de um protocolo, em 1997, na Terceira Sessão da Conferência das Partes, em Quioto (Protocolo de Quioto). Nesta conferência foram estabelecidas metas de redução de emissão dos gases do efeito estufa pelos países desenvolvidos (contidos no Anexo I), responsáveis por grande parte do problema. Uma das alternativas oferecidas por este protocolo para que estes países do Anexo I atingissem suas metas, foi a possibilidade de parceria com os países não Anexos (países em desenvolvimento), que não possuem metas de redução de emissões. Esta parceria, conhecida como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), possibilita as partes do Anexo I em contribuir para projetos que visem reduzir as emissões destes gases ou mesmo drená-los da atmosfera em conjunto com os países não Anexo I, de modo a receber certificados de redução de emissões.

Nesse contexto, o Brasil apresenta grande potencial para a realização de projetos MDL. Dos projetos elegíveis pode-se destacar os plantios florestais e a recuperação de áreas degradadas (UNFCCC, 2006). Uma grande possibilidade seria o uso de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio, que já vem sendo utilizadas na recuperação de áreas degradadas e em consórcio com plantios florestais pela Embrapa Agrobiologia (Franco et al., 1992; Franco & Faria, 1997; Balieiro, 2002; Campello et al., 2006). O uso destas espécies fixadoras de nitrogênio não só reduz, ou mesmo elimina a necessidade de adubação nitrogenada, como também contribui para a incorporação de matéria orgânica e nitrogênio no solo. Isto porque em áreas com baixa capacidade produtiva, o crescimento satisfatório das plantas só é possível com a adição de grandes quantidades de composto orgânico ou adição frequente de adubos nitrogenados (Resende et al., 2006), que eleva



consideravelmente o custo energético, ecológico e econômico de implantação e manutenção dos plantios. Além disso, vários estudos vêm demonstrando o potencial de leguminosas arbóreas como alternativa de baixo custo aos problemas de perda de produtividade e de degradação do solo (Faria et al., 1987; Boddey et al., 2006; Resende et al., 2006a; Silva et al., 2006a).

Estudos que avaliam o papel dos ecossistemas florestais como fonte e dreno de gases do efeito estufa estão concentrados, principalmente, na região da Floresta Amazônica (Verchot et al., 2000), sendo raros aqueles desenvolvidos em região de Mata Atlântica (Maddock et al., 2001). No Brasil, estima-se que 65% do estoque de C (avaliado a 1 m de profundidade) esteja na região amazônica (Batjes 2005). De acordo com o estudo deste autor, os Latossolos e Argissolos são os solos com maior potencial de estoque de C, quando considerado os estoques observados e a sua extensão em território brasileiro.

## **2.4 Matéria Orgânica do Solo**

Na natureza, o solo comporta-se como um sistema aberto, trocando matéria e energia com o meio (Mielniczuk, 1999). Apresenta-se como um sistema complexo de substâncias cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e por uma transformação contínua por agentes biológicos, químicos e físicos (Camargo et al., 1999). Nesse sentido, a adição de carbono é promovida pela deposição de serapilheira e de raízes mortas, e em menor escala, por animais mortos, que por sua vez são incorporadas ao solo via decomposição. As perdas de carbono do sistema se dão, principalmente, pela liberação de CO<sub>2</sub> resultante do processo de decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, pela lixiviação e erosão do solo (Leite et al., 2003). O balanço entre a adição e perda de C é diretamente influenciado pelo clima, organismos, relevo, ordem de solo e material de origem (Anjos et al., 1999). Assim, o estoque de matéria orgânica do solo em qualquer sistema será resultado da interação dos fatores que determinam a sua formação e aqueles que promovem a sua decomposição (Leite et al., 2003).

Nas regiões tropicais, onde a presença de C inorgânico é reduzida, a maior parte do C do solo estará na forma de matéria orgânica. Esta se encontra na forma de resíduos em diversos estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados, associados ou não à fração mineral (Christensen, 1992 Roscoe & Machado, 2002). É responsável pelo aumento da CTC, complexação do Al, retenção de bases, agregação, assim como está intimamente relacionada com a disponibilidade de nutrientes, especialmente do nitrogênio, no solo (Bayer & Mielnickzuc, 1999; Craswell & Lefroy, 2001; Guariguata & Ostertag, 2001; Six et al., 2002). Além do papel de promover o bom funcionamento do solo, representa o terceiro maior reservatório de carbono terrestre, com 1550 Pg de C (Lal, 2004), de modo que nos últimos anos, o seu papel no ciclo biogeoquímico do C e nas mudanças climáticas globais vem recebendo maior atenção (Brown & Lugo, 1990; Corazza et al., 1999; Silver et al., 2000; Leite et al., 2003; Lal et al., 2004; Boddey et al., 2006).

As perdas de C do solo associadas à emissão de CO<sub>2</sub> após a conversão de uma área florestal em uma área agrícola geralmente variam entre 20-30% do C original, ocorrendo, principalmente, nos primeiros vinte anos (Cadish et al., 2006). Entretanto, de acordo com Tiessen et al. (1994), este processo pode ocorrer de forma mais rápida. Estes autores constataram que em regiões tropicais, seis anos de cultivo foram suficientes para que 40% da matéria orgânica do solo fosse perdida, quando o solo era submetido a um sistema de agricultura convencional.

Diferentes manejos como plantio direto (Corazza et al., 1999), sistemas agroflorestais (Hughes et al., 2002; Campello et al., 2006; Silva et al., 2006a) e adubações orgânicas (Leite et al., 2003) vêm sendo estudados com o objetivo de se obter sistemas produtivos mais conservacionistas, que contribuam para um melhor funcionamento do solo e

conservação da matéria orgânica. Nesse sentido, o uso de leguminosas vem sendo empregado (Campello et al., 2006; Silva et al., 2006a) uma vez que o incremento de N está intimamente associado a incorporação de matéria orgânica no solo, como visto neste e em outros estudos (Christopher & Lal, 2007). Assim, ao mesmo tempo em que se aumenta a disponibilidade de N no sistema, há um incremento nos níveis de matéria orgânica, que por sua vez, estará relacionada com a melhoria das funções do solo.

Diversos compartimentos da matéria orgânica vêm sendo estudados e sugeridos como indicadores de mudanças nos seus níveis e na dinâmica de nutrientes (Cadish et al., 1996; Corazza et al., 1999; Mielniczuk, 1999; Roscoe & Machado, 2002). Isso se deve a dois fatos: por ser, a matéria orgânica, muito sensível às práticas de manejo, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais; e pela maioria dos atributos do solo estarem relacionados às funções básicas do solo estarem intimamente ligados à ela (Mielniczuk, 1999).

Uma vez avaliados os compartimentos, estes podem ser entendidos e integrados, permitindo uma melhor compreensão sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo. Nesse sentido, a formação e a estabilização da matéria orgânica podem ser interpretadas a partir de esquemas evolutivos que analisam conjuntamente os ciclos de ganhos e perdas de carbono e a contribuição dos processos bioquímicos, físicos e pedoclimáticos de estabilização do húmus em função de aspectos quantitativos e qualitativos do sistema.

## **2.5 Compartimentos da Matéria Orgânica do Solo**

### **2.5.1 Serapilheira**

Por serapilheira compreende-se todo o material orgânico depositado e acumulado sobre a superfície do solo. Desempenha um papel importante na ciclagem de nutrientes dos ecossistemas uma vez que é através dela que os nutrientes retornam ao solo, funcionando como fonte de energia e nutrientes para biota. Além disso, protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, evitando a destruição dos agregados, assim como promove a manutenção dos níveis de temperatura e umidade do solo.

É utilizada como indicadora de sustentabilidade de sistemas baseados na entrada de resíduos vegetais no sistema. Neste caso, pode-se utilizá-la para avaliar áreas sob sistemas agroflorestais, áreas em recuperação, agricultura com pousio e mesmo, em áreas de plantio direto. Pode ser avaliada em relação a sua massa acumulada (ou estoque), ao seu aporte, ou mesmo à sua taxa de decomposição. A serapilheira varia em função das características do solo, clima, composição e idade da comunidade vegetal (Martius et al., 2004; Ewel, 1976), de modo quando for empregada como indicadora, é importante sempre trabalhar em áreas cujo solo e o clima sejam semelhantes.

Um padrão do comportamento de deposição de serapilheira em ecossistemas tropicais foi observado por Ewel (1976). Nesse caso, o aporte de serapilheira aumentou gradativamente nos primeiros 20 anos de sucessão, havendo, após este tempo, uma ligeira redução nesta produção, que por sua vez tendeu a se estabilizar no tempo (Ewel 1976). Isso se deve ao fato de que em áreas tropicais úmidas, no início do processo sucessional, há uma maior quantidade de espécies decíduas do que comunidades em estádios mais maduros (Ewel, 1976). O mesmo espera-se encontrar em áreas perturbadas, onde se observa um grande número de espécies pioneiras, de crescimento rápido, ciclo de vida curto, e que investem na produção de biomassa em um curto espaço de tempo. Outros resultados da literatura indicam que pode haver uma maior produção de serapilheira em áreas mais conservadas (Martius et al., 2004).

Contudo, deve-se destacar que nem sempre um maior estoque de serapilheira é melhor, visto que pode estar indicando uma baixa taxa de decomposição, que pode retardar a

liberação de nutrientes e o incremento de matéria orgânica no solo; ou mesmo, funcionar como uma barreira física para o estabelecimento de novas espécies no sistema (Resende et al., 2006).

Existe um problema que deve ser destacado nestes estudos que é a amplitude da variação dos dados, que algumas vezes mascara os resultados. Ewel (1976) por exemplo, verificou uma grande variação nos seus resultados de aporte de serapilheira, que apesar da área com crescimento secundário de 14 anos de idade ter aportado 10% a mais do que a área de floresta madura, os resultados não foram estatisticamente diferentes. Esta variação é muito comum em estudos de serapilheira uma vez que esta é pontualmente influenciada pela espécie que a está formando, de modo que se pode dizer que este é um dos fatores limitantes em utilizá-la como indicadora. Contudo, este problema pode ser, algumas vezes corrigido, aumentando-se o número de repetições.

Um outro problema é a utilização de um critério de inclusão do diâmetro dos galhos na amostra. Nesse sentido, poder-se-ia quantificar todo o material que cai no coletor, que além de ser mais realístico, facilitaria a comparação dos resultados.

Os coletores deverão utilizados deverão ter áreas similares às encontradas na literatura, e suficientemente grandes para permitir a entrada de folhas grandes e galhos mais espessos. Além disso, os coletores devem estar ligeiramente suspensos de modo a retardar a decomposição da serapilheira que seria favorecida com a proximidade do solo, assim como suficientemente profundos de modo a evitar a perda de material devido ao vento.

O intervalo da coleta é deve ser menor em regiões muito úmidas, uma vez que o material pode começar o processo de decomposição já dentro do coletor. Ewel (1976) coletando mensalmente observou que havia uma perda de 10% do material via decomposição no coletor. Para evitar este problema, Martius et al. (2004), na Amazônia, coletaram semanalmente o material aportado. Já Werneck et al. (2001) coletaram a cada 2,5 meses. Neste sentido, deve-se levar em consideração o clima local, especificamente a temperatura e precipitação.

A avaliação do estoque de serapilheira é um método de rápida obtenção e pode ser utilizado para se verificar o estoque de nutrientes nela contido e a massa de solo que cobre o solo, considerando o seu papel como fonte de nutrientes do solo e na proteção do solo contra os processos de erosão. É também avaliado quando se pretende estimar a taxa de decomposição da serapilheira segundo Olson (1963). A frequência de amostragem varia em função do objetivo e do clima local, mas em regiões tropicais, são coletadas pelo menos duas vezes durante o ano, na estação seca e na chuvosa.

Os critérios de separação dos compartimentos da serapilheira variam muito na literatura, dificultando a interpretação e comparação dos resultados (Andrade 2000; Martius et al., 2004). Normalmente são separados em folhas, galhos, partes reprodutivas e refugo (material cuja origem já não é mais identificável). Contudo, o critério de inclusão do material orgânico em cada um dos compartimentos varia em função dos critérios do autor. Alguns estudos corrigem o estoque de serapilheira descontando a quantidade de raízes presentes nas amostras (Martius et al., 2004), o que é muito comum nas florestas tropicais, onde as raízes absorvem nutrientes já a partir da serapilheira. Neste caso, cabe ao pesquisador avaliar se a quantidade de raízes presentes nas amostras é significativa a ponto de ser necessário descontar estes valores do estoque total de serapilheira.

A taxa de decomposição da serapilheira também pode ser utilizada como indicadora. Esta pode ser estimada através do aporte e do estoque de serapilheira, conforme proposto por Olson, em 1963 e utilizado até os dias atuais. Um dos pontos positivos desta metodologia é que ela considera não só a heterogeneidade da serapilheira, mas também todos os seus compartimentos (folhas, galhos, frutos e flores assim como animais mortos). Olson (1963) propôs que a taxa de decomposição da serapilheira poderia ser avaliada a partir

do aporte e do estoque de serapilheira (aporte anual / estoque médio anual). Mas para isso, seria necessário que o sistema estivesse em equilíbrio, onde a taxa de decomposição da serapilheira está em equilíbrio com a taxa de produção. Entretanto, na maior parte dos casos, os sistemas avaliados não se encontram neste estado de equilíbrio (e.g. florestas secundárias em desenvolvimento ou sistemas agroflorestais), de modo que a taxa aporte/estoque pode ser utilizada em situações em que o aporte e o estoque são avaliados e comparados dentro de um período de tempo (Martius et al., 2004).

Uma outra opção para a avaliação da taxa de decomposição da serapilheira é o uso de litter bags. No entanto, o uso de somente folhas pode superestimar a taxa de decomposição. Além disso, no caso de policulturas e florestas, dificilmente a serapilheira seria tão homogênea. Este problema pode ser resolvido a partir da utilização de dados sobre a composição florística das áreas, para se avaliar a decomposição das espécies mais dominantes. Como as concentrações de nutrientes nas folhas variam antes e depois da senescência e queda, deve-se utilizar o material senescente depositado no coletor. Além disso, o tamanho da malha do litter bag irá influenciar na taxa de decomposição uma vez que exclui parte dos organismos da fauna do solo. Devido ao fato deste método utilizar somente as folhas, as taxas de decomposição observadas por este método serão maiores do que os observados pelo método proposto por Olson (1963), que envolve todos os compartimentos da serapilheira.

### **2.5.2 Carbono do solo**

O carbono do solo é formado pelo C-orgânico, que representa 1550 Pg de todo o estoque do planeta, e pelo C-inorgânico, que contribui com 950 Pg C. O C-inorgânico só irá ser mais abundante nas regiões áridas e semi-áridas, decorrente da presença de minerais ricos em carbonatos como a calcita e dolomita e de sais de carbonato solúveis que formam uma parte significativa do C total do solo (Nelson & Sommers, 1982).

O carbono pode ser quantificado de várias formas, mas podem-se citar os três mais usados atualmente, o Walkley-Brack; C-total e carbono orgânico total.

O método via úmida mais amplamente usado é o método Walkley-Black, devido a sua simplicidade e baixo custo, que quantifica o C orgânico do solo. Entretanto, a quantificação do carbono orgânico, por vezes, pode ser subestimada em função da incapacidade do método em quantificar as frações de C do solo mais humificadas, ou que se encontra no interior dos agregados, ou mesmo em forma de carvão (Christensen, 2000; Segnini et al., 2005).

O C-total pode ser determinado através de técnicas volumétricas, gravimétricas (mufla), condutimétricas (Perkin-Elmer- térmica) e titrimétricas. Avanços tecnológicos permitiram o desenvolvimento de analisadores automáticos que geram análises rápidas e confiáveis, como os da linha Perkin-Elmer (Nelson & Sommers, 1982). A pouca quantidade de amostra utilizada para a análise, que, algumas vezes, pode gerar uma maior variação entre as amostras, é a principal fonte de críticas do método, embora, em parte, este problema possa ser contornado pelo grau de moagem da amostra.

Existe ainda uma metodologia bastante utilizada para a quantificação do carbono orgânico total (COT). Neste método, o carbono total é determinado (via combustão seca - CHN) e o carbono inorgânico determinado manometricamente (Nelson, 1982 citado por Nelson & Sommers 1982) e o carbono orgânico total calculado através da diferença entre o carbono total e o carbono inorgânico (Nelson and Sommers, 1982). Deve-se destacar, entretanto, que em áreas úmidas, o C-orgânico representará praticamente todo o C do solo. Por sua vez, a quantificação do C inorgânico nem sempre é uma tarefa fácil. A comissão de mudanças climáticas globais e de pesquisas na área de biologia e carbono do solo vem testando o método da cromatografia gasosa para quantificação do carbono inorgânico em

forma de carbonatos. Neste método, o cloreto ferroso ( $\text{FeCl}_2$ ) é usado como antioxidante, e uma acidificação utilizando ácido clorídrico é empregada para liberar o  $\text{CO}_2$  dos carbonatos que se encontram no solo. Uma outra opção é utilizar um pré-tratamento com ácido clorídrico antes da combustão a seco de modo a eliminar o C-inorgânico, deixando apenas a fração de C-orgânico para ser analisado. Neste caso, em solos agrícolas, este procedimento vem sendo sugerido pela Embrapa-Agrobiologia, onde se verifica a partir de uma subamostra, se há ou não a presença de C-inorgânico (Embrapa, 1997).

Segundo um estudo de Segnini et al. (2005), destes três métodos, o COT foi o mais sensível e que apresentou o menor coeficiente de variação, enquanto que o método Walkley-Black quantificou as menores concentrações de C, assim como apresentou o maior coeficiente de variação. Já a análise elementar (CHNS – combustão a seco) quantificou concentrações de C no solo próximas às observadas nas análises de COT, mas com um coeficiente de variação ligeiramente maior.

A concentração e o estoque de C do solo, devido a sua importância para o bom funcionamento do solo assim como no ciclo biogeoquímico do C, vêm sendo amplamente utilizada como indicadores dos benefícios ou malefícios promovidos por um dado manejo. Nesse sentido, deve-se destacar que mudanças no estoque de C do solo são mais visíveis em experimentos de longo prazo, a não ser que se considere profundidades menores como 0-2,5, 0-5 cm e 0-10 cm (Bayer et al., 2004; Marchiori Júnior & Melo, 1999). Esses autores observaram grandes diferenças no C-total do solo na profundidade de 0-3 cm entre uma área permanentemente arada e outra com grassland ou convertida a grassland depois de sete anos. Contudo, quando observaram profundidades maiores, no caso de 0-30 cm, estas diferenças na concentração de C se tornam muito sutis entre os manejos, com exceção da grassland permanente que permaneceu bem maior do que os demais tratamentos. Guggenberger & Zech (1999) observaram modificações na concentração de C de 0-5 cm logo após três anos de sucessão secundária, após a área ter ficado 1-2 anos sendo cultivada e 2-3 anos utilizada como pastagem.

Freixo et al. (2002), por sua vez, estudando uma área de cultivo convencional convertida para plantio direto há 6 anos, observaram que o carbono orgânico total não foi capaz de detectar modificações na quantidade de matéria orgânica no solo, quando mudanças no C-fração leve livre já eram possíveis de serem observadas. Assim como estes autores, Bayer et al. (2004) também não observaram mudanças entre as áreas convertidas há seis anos em plantio direto quando comparadas com áreas com plantio convencional. Já Corazza et al. (1999) observaram um incremento substancial no estoque de C do solo de um solo sob plantio direto quando comparado com uma sob plantio convencional após um período maior de tempo, no caso, 15 anos após a conversão. Bayer et al. (2004) observaram um incremento no estoque de C do solo após 10 anos de conversão de uma área de cultivo convencional para plantio direto com sucessão de trigo e soja nas profundidades de 0-2,5, 2,5- 5 e de 0-25 cm.

Cabe ressaltar que estes estudos, em geral, se limitaram a profundidades de 30 cm, o que pode estar subestimando o papel do solo como dreno de  $\text{CO}_2$ , assim como restringindo o entendimento do C do solo no ciclo biogeoquímico do C. Alguns estudos, como o de Nepstad et al. (1994), por exemplo, mostraram que a contribuição do C em grandes profundidades pode ser superior à quantidade observada de C alocado na biomassa florestal assim como nas camadas mais superficiais do solo (10 cm e 1 m de profundidade), o que nos mostrando a importância de se estudar o estoque de C em profundidade. Por outro lado, é provável que as estimativas do estoque de C terrestre, de um modo geral, estejam subestimadas, indicando a necessidade de mais estudos que levem em consideração maiores profundidades.

Alguns trabalhos não fazem a correção das massas de solo, de modo que nos tratamentos cujos solos são mais compactados, os estoques de C nestas áreas acabam sendo superestimados. A correção das massas consiste em utilizar a última camada de solo avaliada e descontar ou acrescentar um valor que faça com que a soma das massas de todas as camadas de solo sejam iguais entre as áreas, evitando, desta forma, uma superestimativa do estoque de C. Veldkamp et al., em 1994, propôs esta correção, que por sua vez, vem sendo adotado pelos grupos que trabalham com o C do solo na Embrapa-Agrobiologia. Assim, quando não é feita a correção das massas, para efeito de comparação com os resultados da literatura, é interessante disponibilizar os resultados de densidade do solo em associação aos de C.

Além disso, as concentrações de C do solo são altamente influenciadas pela textura e mineralogia do solo (Moraes et al., 1996), de modo que diferentes classes de solo possuem capacidade diferente de conservar o C (Moraes et al., 1995). Nesse sentido, a argila e o silte possuem grande influência no C do solo (Hassink, 1997). Sendo assim, é necessário levar em consideração tais fatores na hora de se comparar diferentes áreas, uma vez que corrigir estes fatores para que as áreas se tornem comparáveis não é uma tarefa fácil. Por este motivo, assim como os resultados de densidade do solo, a análise de granulometria deve ser disponibilizada nos trabalhos sobre o C e o N do solo. Análises de covariância, assim como o uso de um fator de correção, muitas vezes não são aplicáveis devido não só a diferenças na mineralogia, mas a presença de carbono no interior dos microagregados do solo (a correlação com o teor de argila ou argila+silte muitas vezes não são lineares por este motivo), que fazem com que esta relação nem sempre seja linear. Contudo, fatores de correção de argila no solo vêm sendo sugeridos (Moraes et al., 1996).

### **2.5.3 Fracionamento da matéria orgânica do solo**

O estudo das frações leve livre, leve oclusa e pesada tem crescido nos últimos anos, pela metodologia considerada menos destrutiva e mais relacionada com estrutura e função da MOS *in situ*, do que os métodos químicos (Christensen, 1992, 2000; Sohi et al., 2001). O conceito por trás do fracionamento físico da matéria orgânica do solo enfatiza o papel das frações minerais na estabilização e ciclagem da MOS (Christensen, 1992). Por este motivo, vem sendo utilizado em estudos de modelagem e ciclagem de nutrientes segundo o modelo sugerido por Christensen (2000) e Sohi et al. (2001), e utilizado neste trabalho. Devido a sua inter relação com a atividade da biota e deposição e decomposição da serapilheira, vem sendo avaliada na porção mais superficial do solo onde há maior atividade biológica.

No modelo, Christensen (2000) postula que, dependendo do grau de associação com a matriz do solo, a matéria orgânica (MO) pode estar livre na matriz do solo e sobre os agregados do solo (fração leve livre), no interior dos agregados (fração leve oclusa) ou associada com as frações minerais do solo (fração pesada). Essa fração pesada corresponde ao C do solo associado às frações minerais areia, silte e argila. Cada um destes compartimentos vai estar em um grau diferente de disponibilidade para a biota, dependendo dos mecanismos envolvidos na proteção e estabilização deste material (Roscoe & Machado, 2002).

O fato da fração leve livre estar dispersa na matriz do solo e na superfície de agregados, permite o seu consumo pela microbiota do solo, de modo que pode ser considerada a mais lábil das três frações. Mas algumas vezes, a presença de carvão pode indicar uma longevidade do material maior do que a esperada (Christensen, 1992). É a fração que mais se assemelha com a composição química daquele que lhe deu origem (eg. serapilheira; Freixo et al. 2002), podendo ser empregada como indicadora do processo de deposição e decomposição da serapilheira. Embora possua grande similaridade com a serapilheira, apresenta algumas diferenças na sua composição química (Christensen, 2000 e

Roscoe & Machado, 2002). Ainda que sua relação C:N seja menor do que a de serapilheira é a maior dentre as três frações (leve livre, leve oclusa e pesada; Christensen, 1992; Roscoe & Machado, 2002). O que dificulta a sua decomposição é somente a sua qualidade (Roscoe & Machado, 2002). O clima também tem um importante papel na sua conservação. Nas regiões mais úmidas e quentes (Bayer et al., 2004), esta fração representa uma menor porção do solo quando comparadas com as observadas em regiões mais frias e secas (Christensen, 1992). Em regiões tropicais, a maior parte da matéria orgânica do solo está na fração pesada. Bayer et al. (2004) observaram que a fração pesada representava 78% do carbono orgânico do solo em uma área florestal, e 82% em uma área de pastagem nativa, enquanto que a fração leve livre representava, 14 e 9%, respectivamente. Roscoe & Machado (2002) observaram que a maior parte do carbono estava associado à fração pesada em áreas de Cerrado. Segundo este autor, também acumula em solos com baixo pH, e continuamente vegetados.

No estudo de Freixo et al. (2002), o C-fração leve livre foi mais sensível à conversão de uma área cultivada inicialmente com arroz e depois com a forrageira *Andropogon gayanus*, em área de plantio direto. Pode-se considerá-la como a mais sensível à degradação do solo pelo cultivo. Guggenberger & Zech (1999) observaram respostas significativas após três anos do estabelecimento de uma comunidade vegetal secundária em uma antiga área de pastagem. De acordo com os resultados destes autores, a fração leve foi restabelecida após 12 anos de vegetação secundária. Sendo assim, acredita-se que este seja um indicador precoce do declínio ou incremento da matéria orgânica no solo (Bremer et al., 1995; Freixo et al., 2002; Guggenberger & Zech, 1999), em solos manejados há pouco tempo, onde alterações no estoque de C, por exemplo, ainda não são possíveis de se detectar. Esta capacidade é de grande relevância para tomada de decisões e reforça o seu uso como indicador.

Já a fração leve oclusa encontra-se protegida da decomposição pelo seu aprisionamento dentro dos agregados do solo assim como pela sua recalcitrância (Roscoe & Machado, 2002). Isso restringe a sua disponibilidade para a biota do solo através da redução da difusão da água, ar e/ou nutrientes (Hassink & Whitmore 1997). A sua recalcitrância se deve a sua maior estabilidade, que contribui para que a decomposição no interior dos agregados seja mais lenta (Six et al., 2000). Na maioria dos casos, apresenta menor relação C:N do que a fração leve livre e maior do que a fração pesada (Roscoe & Machado, 2002). Nos últimos anos tem se atribuído, em parte, a esta fração, o aumento do C no solo de áreas que não são mais submetidas à aração quando comparadas com áreas sob plantio convencional (Six et al., 2000; Six et al., 2002). Contudo, tem sido apontada como o compartimento menos representativo em solos tropicais (Roscoe & Machado, 2002).

No caso da fração pesada, a matéria orgânica está estabilizada e protegida através da associação entre moléculas orgânicas e argilas silicatadas e/ou óxidos de ferro, que promovem uma grande proteção contra a decomposição (Christensen, 2000); e também por mecanismos de adsorção e ligações químicas diversas na superfície destas argilas (Hassink & Whitmore, 1997). Além disso, o fato destes complexos organo minerais primários estarem organizados em agregados, dificulta fisicamente, o acesso da microbiota, de modo que este pode ser considerado como o terceiro mecanismo de proteção da matéria orgânica do solo nesta fração (Roscoe & Machado, 2002). Este é o compartimento mais representativo do C do solo nas regiões tropicais (Bayer et al., 2004; Roscoe & Machado, 2002) e representa a porção da matéria orgânica mais humificada, de menor relação C:N (Freixo et al., 2002).

Existem diferentes metodologias para separar cada uma destas frações do solo (Six et al., 2000; Sohi et al., 2001), e cada uma representa um determinado modelo. Dependendo da metodologia utilizada, a fração obtida recebe nomes distintos, como por exemplo, matéria orgânica particulada grosseira ( $> 53\mu$ ) e fina ( $< 53\mu$ ) (Six et al., 2000), ou fração leve livre e leve oclusa (Christensen, 1992).

O método discutido aqui e utilizado neste trabalho é o baseado no modelo proposto por Christensen (1992). A separação da fração leve livre, leve oclusa e pesada se baseia na combinação de dois métodos, o densimétrico e o granulométrico (Sohi et al., 2001; Freixo et al., 2002), extraindo as frações de modo seqüencial, em uma mesma amostra de solo. Apesar de ser um método relativamente simples, existem variações no método, o que dificulta a comparação dos resultados. As variações mais comuns observadas nos métodos são: tratamento prévio das amostras de solo, a densidade e o tipo da solução utilizada para separar as frações, a temperatura de secagem, e o método em si (Christensen, 2000 e Roscoe & Machado, 2002).



### **3. CAPÍTULO I**

#### **ESTUDO DE CASO I**

#### **ESTOQUE DE CARBONO, NITROGÊNIO E FERTILIDADE DO SOLO EM UMA ÁREA DEGRADADA EM RECUPERAÇÃO COM LEGUMINOSAS, HÁ 13 ANOS, LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE ANGRA DOS REIS, RJ**

## RESUMO

Neste trabalho foi avaliado o potencial do uso de leguminosas arbóreas pioneiras associadas a bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos arbusculares, em restabelecer os estoques de C, N e a ciclagem de nutrientes em áreas degradadas. Para isso quantificou-se o estoque e a quantidade de nutrientes presentes na serapilheira nas estações seca e chuvosa, a concentração de Ca, Mg, P, K, C e N no solo, a fração leve livre e leve oclusa, e os estoques de C e N do solo. A área em questão localiza-se no município de Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brasil, e foi implementada há 13 anos a partir do uso de leguminosas arbóreas, após ter sido utilizada como área de empréstimo. Como áreas referência foram utilizadas uma área de mata nativa, e outra desmatada, dominada pela gramínea *Panicum maximum*, adjacente à primeira. A técnica de recuperação de áreas degradadas baseada no uso de leguminosas associadas às bactérias fixadoras de N e fungos micorrízicos arbusculares foi capaz de incrementar  $1,73 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e  $0,13 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  no solo de C e N, respectivamente. Observou-se maior concentração de fração leve livre da matéria orgânica do solo na área em recuperação e menor na área desmatada. A concentração de fração leve oclusa da matéria orgânica foi maior na área em recuperação na camada de 0-5 cm, enquanto que na camada de 5-10 cm, foi maior na área de mata nativa. O estoque de serapilheira assim como o de nutrientes, entre as áreas de mata nativa e em recuperação, foram similares. Entretanto, houve variação nos estoques de nutrientes entre as épocas, especialmente o N, P e K. A fração leve livre e leve oclusa da matéria orgânica do solo são produtos da constante adição e decomposição da serapilheira, de modo que seus resultados, em associação com os resultados de estoque de serapilheira, C e N do solo, indicam que o uso de leguminosas na recuperação de áreas degradadas foi eficiente em restabelecer a ciclagem de nutrientes no sistema. Além disso, ao aumentar o estoque de C do solo, pode-se destacar o potencial desta técnica em auxiliar na mitigação dos problemas relacionados ao efeito estufa.

**Palavras-chave:** Efeito estufa. Fixação biológica de nitrogênio. Leguminosas arbóreas. Recuperação de áreas degradadas. Reflorestamento.

## ABSTRACT

In tropical forest areas with highly weathered soils, organic matter plays an important role in soil functioning and forest sustainability. When forests are clear-cut, the deforested soil almost immediately begins to lose organic matter, resulting in a series of soil degradation processes, the extent and intensity of which depends on the soil management. Depending on the level of soil degradation, the rate at which the system can be re-established naturally can be too slow, without use of land reclamation techniques. Thus, this study aimed at evaluating the potential of pioneer leguminous nitrogen-fixing trees to recuperate degraded land. The area studied was located in the coastal town of Angra dos Reis in the State of Rio de Janeiro, Brazil, and it was planted with seven species of fast-growing nitrogen-fixing legume trees in 1991. The nutrient concentrations (Ca, Mg, P and K) and N and C stocks in the soil and litter were determined, in addition to the free and occluded light fractions of soil organic matter. Soil samples were also collected from two reference areas: (1) an area of regeneration native forest; and (2) a deforested area spontaneously colonized by Guinea grass (*Panicum maximum*). The recuperation technique used was able to re-establish the soil C and N stocks after 13 years to the level of a regenerating forest soil nearby. C and N increased by 1.73 and 0.13 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, respectively. The free light fraction was highest on the area under land reclamation and lowest on the deforested area. The occluded light fraction was higher on the area under reclamation only in the 0-5 cm layer than under regenerating native forest. Both free light and occluded fractions were higher under regenerating native forest and under reclamation areas than in the deforested area. The nutrient stocks in the litter under reclamation area were similar to those found under regenerating native forest. Since the free light and the occluded light fractions are the result of litter fall and decomposition, these results – combined with the data of litter stocks and soil C and N stocks - indicate that the use of legume trees was efficient in re-establishing the nutrient cycling processes of the systems. Considering the results obtained, land reclamation using nodulated and mycorrhizal legume tree may contribute to mitigate the negative impacts of the greenhouse effect.

**Key-words:** Greenhouse effect. Biological nitrogen fixation. Land reclamation. Legume trees. Soil carbon stock. Soil nitrogen stock. Reforestation.

### 3.1 Introdução

Especialmente nos solos tropicais, com a retirada da comunidade vegetal, inicia-se um processo de perda de matéria orgânica do solo, que pode ou não se agravar dependendo do tipo de manejo. Estima-se que no Brasil 80% da sua área esteja em algum estágio de degradação, sendo que 28% desta já estaria em um processo avançado de degradação (Terrastat, 2000), justamente devido ao desmatamento e ao mau uso do solo. Isto se deve ao fato das florestas tropicais, em sua grande maioria, estarem estabelecidas sobre solos muito intemperizados, de fertilidade natural baixa, no qual a matéria orgânica desempenha um papel chave. Isto porque a matéria orgânica está relacionada com diversos atributos do solo atuando no funcionamento químico, físico e biológico do mesmo (Six et al., 2002). Além disso, representa o terceiro maior compartimento do C terrestre (Lal, 2004), de modo que nos últimos anos diversos estudos vem sendo realizados com o objetivo de entender o papel das florestas primárias e secundárias e dos solos florestais no ciclo biogeoquímico do C, e conseqüentemente, no cenário de mudanças climáticas globais (Brown & Lugo, 1990, 1992; Hugues et al., 1999; Pregitzer & Euskirchen, 2004; Zhou et al., 2006)

Nesse sentido, a Embrapa Agrobiologia, desde o final da década de 80, vem utilizando leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na recuperação de áreas degradadas, que devido às associações com fungos micorrízicos arbusculares e bactérias fixadoras de nitrogênio, conseguem se estabelecer e produzir grande quantidade de biomassa de baixa relação C:N (Franco et al., 1992; Franco & Faria, 1997; Andrade, 2000; Costa et al., 2004). Com as condições ambientais alteradas pelo estabelecimento destas espécies, a entrada de espécies mais exigentes no sistema se torna possível, dando, então, curso ao processo de sucessão na área. Por outro lado, o potencial da recuperação de áreas degradadas em incrementar os estoques de carbono e nitrogênio no solo, assim como em contribuir para a mitigação do efeito estufa é pouco descrita na literatura, de modo que o momento apresenta-se oportuno.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade da recuperação de áreas degradadas com leguminosas arbóreas associadas a bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos arbusculares em restabelecer a ciclagem de nutrientes e incrementar os estoques de C e N do solo. Visando uma melhor compreensão sobre a capacidade da recuperação de áreas degradadas com leguminosas em incrementar os estoques de C e N do solo, foram avaliados outros atributos do sistema, como o estoque e os nutrientes da serapilheira, a fração leve livre e leve oclusa da matéria orgânica, e a fertilidade.

## 3.2 Material e Métodos

### 3.2.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Angra dos Reis, litoral sul do estado do Rio de Janeiro, a 100-200 m acima do nível do mar, inserida no domínio da Floresta Ombrófila Densa. O clima da região segundo a classificação de Köppen, é do tipo Af, tropical úmido. Possui precipitações anuais em torno de 2.300 mm e temperatura média de 22,5° C, não apresentando estação seca definida (Chada, 2001). A encosta estudada apresenta relevo forte ondulado e o solo foi classificado como Latossolo.

Os horizontes superficiais da área, em 1991, foram retirados e utilizados para aterro. A exposição do solo em associação ao clima local, levou ao desenvolvimento de um processo de erosão que culminou no aparecimento de profundos sulcos de erosão (Figura 1). Visando-se a restauração do sistema, a área foi revegetada em 1991, a partir do uso de mudas das leguminosas arbóreas *Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Mimosa caesalpinifolia*, e *Paraserianthes falcataria*, todas associadas a bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos arbusculares. As mudas foram preparadas de acordo com Franco et al. (1992), e plantadas com aproximadamente 30 cm de altura. Para o plantio foram abertas covas de 20 x 20 x 20 cm, em um espaçamento de 2 x 2 m. A adubação utilizada foi 1 litro de esterco de galinha por cova. A fim de evitar a continuação do processo de erosão, em associação ao plantio das mudas, foram instaladas paliçadas de bambu, colocados transversalmente aos sulcos de erosão, com o objetivo de diminuir a velocidade da água da chuva na encosta (Figura 1).



**Figura 1.** Visão da área após a remoção dos horizontes superficiais, logo após o plantio das mudas (foto cordialmente cedida pelos pesquisadores Avílio A. Franco e Eduardo F.C. Campello).

Em 2004, a área revegetada foi avaliada para se verificar a capacidade da técnica de recuperação de áreas degradadas em restabelecer a ciclagem de nutrientes do sistema (Figura 2). Para fins de comparação, foram utilizadas duas áreas como referência. Uma capoeira com mais de vinte anos, que devido aos sinais de presença humana, convencionou-se chamá-la de mata secundária (Figura 3), localizada na mesma cota e com o mesmo tipo do solo; e um outro local adjacente à área, dominada pela espécie *Panicum maximum*, chamado neste estudo de área desmatada (Figura 2). A adubação utilizada por cova foi: 100 g de fosfato de rocha, 10 g de FTEBR 12, 2L de esterco de frango e 50 g de calcário dolomítico.



**Figura 2.** Visão da área após 10 anos do plantio das mudas de leguminosas. Note a área desmatada colonizada por gramínea no detalhe em azul. (foto cordialmente cedida pelos pesquisadores Avílio A. Franco e Eduardo F.C. Campello)



**Figura 3.** Visão do interior da mata secundária adjacente à área em recuperação, em Angra dos Reis, RJ.

### 3.2.2 Análises de solo

As amostras foram coletadas no terço superior da encosta da área em recuperação. As concentrações de nutrientes, granulometria e densidade do solo foram avaliadas nas profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-60 cm. A densidade do solo foi determinada a partir da coleta de duas amostras indeformadas (Embrapa, 1997) por trincheira de 60 x 60 cm, com anéis volumétricos metálicos (88,4 cm<sup>3</sup>), perfazendo um total de quatro amostras por área. Para as demais análises de solo, foram coletadas três amostras (três repetições), sendo cada amostra uma formada por duas sub amostras.

Para a análise de granulometria e do teor de nutrientes, as amostras foram secas ao ar e passadas por uma peneira de 2 mm. A granulometria do solo foi avaliada segundo Embrapa (1997). Os nutrientes avaliados foram: N (semimicro - Kjeldahl), de acordo com Alves et al. (1994); pH em água (Embrapa, 1997), Al, Ca e Mg trocáveis segundo o método do KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (Embrapa, 1997), e P e K (Mehlich-1 de acordo com Embrapa, 1997). O C-total foi avaliado com o auxílio de um analisador elementar CHN-600, LECO, por combustão total. Os estoques de carbono e nitrogênio do solo foram calculados a partir do

teor de C e N encontrados nas diferentes profundidades avaliadas, multiplicados por suas respectivas densidades do solo e espessura da camada de solo. Foi feita a correção das massas de solo segundo Veldkamp (1994), evitando desta forma, uma super estimativa do estoque de C e N das áreas cujos solos estavam mais compactados.

### **3.2.3 Fracionamento da matéria orgânica do solo**

Para estas avaliações foram usadas amostras nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Neste caso, a profundidade estudada se limitou aos 30 cm superficiais por ser esta a região de maior atividade biológica. O método para o fracionamento densimétrico foi descrito por Sohi et al. (2001), com modificações (Freixo et al., 2002). A fração leve livre foi extraída do solo por meio de solução de NaI com densidade de  $1,80 \text{ g cm}^{-3}$ , na proporção de 5 g de terra fina seca ao ar para 40 ml de solução, com duas amostras por repetição. Uma vez adicionada a solução de NaI à amostra, o material foi submetido a leve agitação manual por 30 segundos e deixado em repouso por 48 h. Após este tempo, o sobrenadante foi succionado através de uma bomba de vácuo (Sistema Asséptico Sterefil, 47 mm – Milipore) com filtros de fibra de vidro (47 mm de diâmetro; 2 microns – Whatman tipo GF/A). O material retido no filtro, a fração leve livre, foi lavado com água destilada para a eliminação do NaI em excesso, seco em estufa a  $65^\circ \text{ C}$  durante 48 h, e pesado em balança analítica. Uma vez coletada a fração leve livre, o conteúdo do solo mais a solução de NaI restante, após uma ligeira agitação manual visando a homogeneização do material, foi submetida a sonificação por três minutos com pulsações de intervalo de um segundo, com energia de  $400 \text{ J ml}^{-1}$  (Branson Sonifer 250), para dispersão do solo e liberação da fração leve que se encontrava no interior dos agregados menores que 2 mm. Após 48 h de repouso, o sobrenadante foi succionado e passado por um filtro de fibra de vidro (2 microns – Whatman tipo GF/A). O material retido no filtro, agora a fração leve oclusa, foi lavado com água destilada e posteriormente seco em estufa a  $65^\circ \text{ C}$  por 48h, e pesado em balança analítica.

### **3.2.4 Serapilheira acumulada**

Foi avaliada a serapilheira acumulada na área em recuperação e de mata secundária e as suas respectivas concentrações de Ca, Mg, P, K, N e C. Cinco amostras por área foram coletadas nos períodos seco (setembro de 2004) e chuvoso (março de 2005). Usou-se quadrado de aço de  $0,25 \text{ m}^2$ . O material coletado foi seco em estufa de ventilação forçada a  $65^\circ \text{ C}$ , até peso constante e depois separado em galhos e casca, partes reprodutivas, folhas e refugo (porção em que a identificação da origem do material depositado já não era mais possível), pesados e moídos para as análises de nutrientes. Foram quantificadas as concentrações de N, segundo Embrapa (1997), pelo método da destilação a vapor (Kjeldhal), após mineralização com ácido sulfúrico; P, pelo método do ácido ascórbico (Braga & Defelipo, 1974); K por fotometria de chama, e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (Embrapa, 1997). Os estoques foram calculados multiplicando-se as concentrações de cada um dos elementos ( $\text{g kg}^{-1}$ ) com a massa de serapilheira.

### **3.2.5 Análises estatísticas**

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade (Lilliefors, 1%) e homogeneidade de variância dos erros (Cochran, 1%) de modo a verificar se os dados atendiam os pressupostos da análise de variância. Quando não atendidos, foram transformados com  $\text{Ln}(x)$ . Uma vez atendido, ou no mínimo, o de homogeneidade de variância dos erros (1%), fez-se a análise de variância (5%) seguido do teste t de Bonferroni (5%). No caso do não atendimento, utilizou-se o teste não paramétrico Wilcoxon, usado para comparação de duas médias. A análise de regressão foi utilizada para avaliar a correlação entre o incremento de C e N do solo.

### 3.3. Resultados e Discussão

#### 3.3.1 Densidade e granulometria

Os solos estudados parecem ligeiramente diferentes quanto à granulometria (Tabela 1), o que se deve à perda dos horizontes superficiais na área em recuperação, e em menor escala, na área desmatada. De um modo geral, os solos apresentaram textura média, de acordo manual de descrição e coleta de solo no campo (Santos et al. 2005).

**Tabela 1.** Densidade do solo e granulometria ao longo do perfil (0-60 cm) das áreas mata secundária, em recuperação, e desmatada em Angra dos Reis, RJ.

Áreas	Profundidade	Densidade do solo	areia	silte	argila
	-----cm-----	-----Mg m <sup>-3</sup> ----	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
Mata secundária	0-5	1,23	643	164	193
	5-10	1,19	501	226	273
	10-20	1,28	519	191	280
	20-30	1,51	545	182	273
	30-40	1,55	524	183	293
	40-60	1,59	546	174	280
Em recuperação	0-5	1,11	668	132	253
	5-10	1,34	591	122	287
	10-20	1,37	536	131	333
	20-30	1,35	539	114	347
	30-40	1,43	533	100	367
	40-60	1,52	523	84	393
Desmatada	0-5	1,21	509	151	340
	5-10	1,37	508	145	347
	10-20	1,35	509	138	353
	20-30	1,52	494	146	360
	30-40	1,55	469	177	353
	40-60	1,52	486	167	347

#### 3.3.2 Concentração e estoque de C e N do solo

A concentração de C assim como a de N na área em recuperação foi superior a da área desmatada e similar à encontrada na área de mata secundária (Tabela 2). Nesse sentido, as concentrações de C e N do solo indicam que o uso de leguminosas foi capaz de restabelecer os níveis destes elementos no solo, em 13 anos. Este aumento de C assim como o de N ao longo do tempo já foi observado por outros autores (Odum, 1969; Brown & Lugo, 1990a; Gleason & Tilman, 1990; Feldpaush et al., 2004), embora existam trabalhos que não observaram variação ao longo da sucessão (Hugues et al., 1999), ou mesmo, que observaram que após um aumento nos teores de C e N do solo nos primeiros anos de sucessão (e.g. 10 anos), havia uma ligeira diminuição (Ramakrishnam & Toky, 1981).

O incremento de N no solo é de grande importância em projetos de recuperação de áreas degradadas, uma vez que de acordo com Francis & Read (1994), confere uma maior capacidade do sistema em suportar uma comunidade mais complexa. Segundo alguns estudos, o aumento deste elemento ao longo da sucessão vegetal está relacionado com o aumento de espécies lenhosas no sistema (Francis & Read 1994). Davidson et al. (2004) observaram em um experimento em que N foi adicionado em áreas em processo inicial de sucessão, um incremento de biomassa resultante do maior desenvolvimento de indivíduos



lenhosos. Além disso, o tratamento com N reduziu a mortalidade das plantas estabelecidas durante o experimento (Davidson et al., 2004).

**Tabela 2.** Concentração de carbono, nitrogênio e relação C:N ao longo de um perfil de 0-60 cm das áreas em recuperação, de mata secundária e desmatada em Angra dos Reis, RJ.

Profundidade (cm)	Mata secundária	Em recuperaçãc	Desmatada
C (g kg <sup>-1</sup> )			
0-5	17,5ab ± 2,4	18,5a ± 0,4	11,0b ± 0,4
5-10	16,0 ± 1,6	15,0 ± 1,4	9,9 ± 0,1
10-20	16,1a ± 1,8	13,6ab ± 0,8	9,3b ± 0,3
20-30	10,5 ± 2,7	11,2 ± 1,7	6,8 ± 1,5
30-40	10,9 ± 2,9	9,6 ± 1,3	6,2 ± 1,9
40-60	10,2 ± 4,3	6,0 ± 0,8	6,2 ± 2,1
N (g kg <sup>-1</sup> )			
0-5	1,90a ± 0,12	1,68a ± 0,15	0,99b ± 0,17
5-10	1,69a ± 0,11	1,37a ± 0,14	0,76b ± 0,06
10-20	1,33a ± 0,10	1,22a ± 0,11	0,73b ± 0,05
20-30	1,04a ± 0,13	1,04a ± 0,11	0,61b ± 0,06
30-40	0,82 ± 0,14	0,69 ± 0,07	0,62 ± 0,01
40-60	0,76 ± 0,18	0,52 ± 0,04	0,65 ± 0,03
C:N			
0-5	9 ± 1,0	11 ± 0,8	12 ± 2,4
5-10	10 ± 0,3	11 ± 2,0	13 ± 0,8
10-20	12 ± 1,0	11 ± 1,6	12 ± 1,4
20-30	10 ± 3,5	10 ± 1,3	11 ± 3,0
30-40	14 ± 6,3	14 ± 2,3	13 ± 3,1
40-60	16 ± 9,1	13 ± 1,0	11 ± 3,1

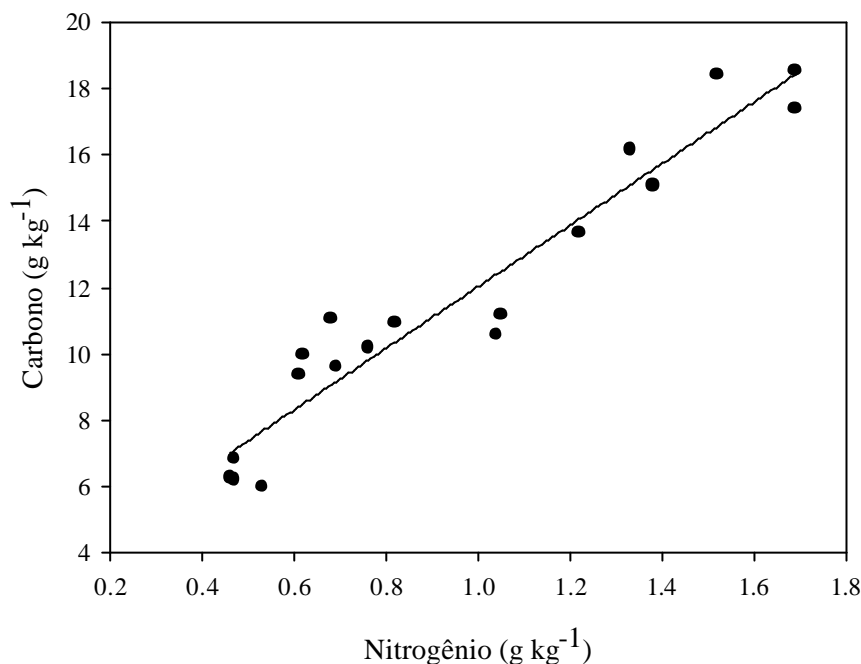
Em cada camada de solo, os valores seguidos da mesma letra, não diferem entre si segundo o teste Bonferroni,  $p < 0,05$ . ± = erro padrão da média.

A relação C:N do solo se manteve relativamente estável em todos os sítios estudados (Tabela 2), sendo desta maneira, menos responsiva aos manejos aos quais as áreas são submetidas. Assim como neste estudo, Brown & Lugo (1990) e Lugo & Sanchez (1986) não observaram variações nesta relação entre as áreas, incluindo as de diferentes idades e agrícolas.

O incremento de C no solo está intimamente relacionado com o aumento de N no solo, como mostrou a correlação de Pearson (Figura 4), o que corrobora aos resultados observados da relação C:N do solo, que é sempre em torno de 10. Outros autores também observaram esta relação, indicando que a matéria orgânica é uma reserva de nitrogênio no solo (Craswell & Lefroy, 2001). Por este motivo espécies de leguminosas vem sendo estudadas como fonte de N em diferentes sistemas tropicais, como pastagens (Macedo, 2003), plantio direto (Sisti, 2004), silvicultura (Balieiro, 2002), e sistemas agroflorestais (Handayanto et al., 1995). Estes visam não só a incorporação de N, mas a incorporação de matéria orgânica no solo.

Não houve diferença entre os estoques das áreas quando se comparou as mesmas por camada (Tabela 3). Mas quando se analisou o estoque total (0-60 cm), nota-se que a área em recuperação apresentou estoque de C total maior do que a desmatada, mas ainda menor do que a mata nativa. A diferença entre os estoques se deve, em parte, à incorporação de C em profundidade, visto que só foi observada diferença significativa entre as áreas quando se

comparou o estoque de C a 0-60 cm de profundidade. Existem trabalhos que já vêm relatando a importância do carbono contido nas camadas mais profundas, para o estoque de C do solo (Nepstad et al., 1994; Feldpausch et al., 2004;). Segundo Nepstad et al. (1994), em uma floresta na região amazônica, os valores de C em profundidade ultrapassam os estoques observados na biomassa vegetal e horizontes superficiais.



**Figura 4.** Correlação entre as concentrações de nitrogênio e de carbono observadas nas três áreas avaliadas no município de Angra dos Reis, RJ. (n=18; P = 0,000)

Houve um incremento de 1,76 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C na área em recuperação em relação à área desmatada, o que representa um aumento de 35,3 % no estoque de C, em 13 anos. Incremento similar foi observado por Feldpausch et al. (2004) em áreas com 12-14 anos de sucessão secundária na Amazônia, previamente utilizada como pastagens. Este aumento corrobora os resultados encontrados em outras regiões tropicais, em áreas em regeneração natural. Brown & Lugo (1990) observaram um incremento anual no estoque de carbono no solo de 1-2 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em regiões tropicais úmidas da Costa Rica. Silver et al. (2000) observaram incrementos anuais de C no solo de 1,3 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> nos primeiros vinte anos de sucessão em uma área localizada em Porto Rico, e Feldpausch et al. (2004) de 1,49 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> nos primeiros 12-14 anos de sucessão na Amazônia.

Cabe ressaltar que a incorporação de C ao solo tende a diminuir na medida em que as suas concentrações aumentam no solo devido à saturação deste elemento no solo (Six et al., 2002). No entanto, mesmo em florestas maduras como as estudadas por Zhou et al. (2006), com 400 anos de idades, incrementos anuais nos estoques de C foram observados. Segundo Silver et al. (2000), a taxa anual de incorporação de C ao solo foi reduzida para 0,20 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, durante os 80 anos subsequentes aos vinte anos iniciais.

Os estoques de N foram diferentes entre as áreas em algumas profundidades. A área em recuperação e de mata secundária foram similares entre si na profundidade de 0-30 cm, valor este maior do que o encontrado na área desmatada (Tabela 3). Assim como para o estoque de C na profundidade de 0-60 cm, o estoque de N foi superior ao da área desmatada, mas ainda ligeiramente inferior ao da mata secundária. Os resultados de estoque de N da área em recuperação indicam que houve uma incorporação de 130,9 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, o

que corresponde a um incremento de N de 28,4%, em 13 anos, quando comparados com os estoques de C e N da área desmatada.

**Tabela 3.** Estoque de carbono e nitrogênio ao longo do perfil (0-60 cm) das áreas em recuperação, mata secundária e desmatada em Angra dos Reis, RJ.

Profundidade (cm)	Mata secundária	Em recuperaçãc	Desmatada
Estoque de C (Mg ha <sup>-1</sup> )			
0-5	12,0 ± 1,5	10,9 ± 0,2	7,1 ± 0,3
5-10	10,9 ± 1,0	10,6 ± 1,0	7,2 ± 0,1
10-20	21,7 ± 2,5	19,7 ± 1,2	13,3 ± 0,5
20-30	16,8 ± 4,3	15,9 ± 2,4	11,0 ± 2,4
30-40	17,9 ± 4,8	14,4 ± 1,9	10,1 ± 3,0
40-60	34,1 ± 14,4	21,5 ± 2,7	19,8 ± 6,7
0-30	58,3 ± 7,7	54,8 ± 2,1	35,4 ± 1,7
0-60	107,7a ± 22,1	88,1ab ± 0,4	65,1b ± 11,2
Estoque de N* (Mg ha <sup>-1</sup> )			
0-5	1,17 ± 0,07	0,94 ± 0,08	0,59 ± 0,10
5-10	1,00 ± 0,06	0,92 ± 0,09	0,52 ± 0,04
10-20	1,70a ± 0,12	1,67a ± 0,15	0,99b ± 0,07
20-30	1,57a ± 0,18	1,41ab ± 0,14	0,94b ± 0,08
30-40	1,27 ± 0,21	0,98 ± 0,10	0,97 ± 0,02
40-60	2,54a ± 0,56	1,75b ± 0,12	1,96ab ± 0,09
0-30	5,4a ± 0,2	5,0a ± 0,4	3,0b ± 0,1
0-60	9,1a ± 0,9	7,7ab ± 0,3	6,0b ± 0,1

Em cada camada de solo, os valores seguidos da mesma letra, não diferem entre si segundo o teste Bonferroni,  $p < 0,05$ .  $\pm$  = erro padrão da média. \* = Dados transformados com Ln (x)

Apesar dos incrementos nos estoques de C e N estarem compatíveis com os observados na literatura, pode-se dizer que no caso da recuperação de áreas degradadas com leguminosas, este incremento foi relativamente mais rápido visto que, o quadro de degradação do solo era muito maior em Angra dos Reis, do que os das áreas estudadas na literatura (Brown & Lugo, 1990; Silver et al., 2000). De acordo com Silver et al. (2000) e Vitousek et al. (1989), dependendo do uso anteriormente dado ao solo antes do processo de recuperação da área ou regeneração natural, a incorporação de C e N ao solo poderia ser mais lenta ou mais rápida. Desse modo esperar-se-ia que no caso de áreas em que uma parte substancial do horizonte superficial foi removida, o incremento de C e N seria menor. Entretanto, o uso de leguminosas micorrizadas e noduladas foi capaz de incorporar C ao solo em uma taxa comparável com áreas que sofreram ações antrópicas menos impactantes como pastagens, por exemplo (Silver et al. 2000), o que destaca ainda mais o potencial das leguminosas em recuperar áreas degradadas, restabelecer os níveis de matéria orgânica e na mitigação aos problemas relacionados ao efeito estufa.

Estes incrementos anuais de C em solos tropicais são bem maiores do que os observados em regiões temperadas, como 0,58 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C em áreas em recuperação utilizando-se espécies decíduas e 0,85 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C utilizando espécies de coníferas (Paul et al., 2003), e 0,3-0,6 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C em solos de áreas agrícolas abandonadas na Europa (Freibauer et al., 2004). De modo que se pode destacar o papel das regiões tropicais em servir como dreno de C em curto prazo, especialmente quando se utiliza leguminosas fixadoras de nitrogênio para recuperar áreas degradadas.

Segundo estimativas, as áreas em regeneração poderiam funcionar como dreno de C por um tempo maior do que 50 anos (Silver et al., 2000; Zhou et al., 2006). Destaca-se aí a necessidade de se investigar melhor o papel de florestas secundárias em estádios mais avançados de sucessão como forma de se compreender melhor o papel destas florestas na mitigação dos problemas relacionados ao cenário de mudanças climáticas globais.

### 3.3.3 Fração leve livre e leve oclusa da matéria orgânica do solo

A fração leve livre foi diferente entre as áreas somente na profundidade de 0-5cm, onde a área em recuperação apresentou a maior concentração e a desmatada, a menor (Tabela 4). A concentração de fração leve oclusa foi maior na área em recuperação na camada de 0-5 cm. Já na camada de 5-10 cm, foi maior na área de mata secundária (Tabela 4). Não foi observada fração leve oclusa na área desmatada.

**Tabela 4.** Fração leve livre e fração leve oclusa ao longo de um perfil de 0-30 cm na área em recuperação, da mata nativa e desmatada localizadas no município de Angra dos Reis, RJ.

Profundidade	Mata secundária	Em recuperação	Desmatada
-----cm-----	-----Fração Leve Livre (g kg <sup>-1</sup> )-----		
0-5	12,7b ± 1,3	18,8a ± 1,4	6,8c ± 0,3
5-10	4,5 ± 0,5	6,1 ± 0,3	3,6 ± 0,8
10-20	4,1 ± 1,0	4,8 ± 0,9	2,9 ± 1,5
20-30	2,8 ± 1,6	3,3 ± 0,1	2,6 ± 1,0
-----cm-----	-----Fração Leve Oclusa (g kg <sup>-1</sup> )-----		
0-5	2,40b ± 0,35	5,22a ± 1,59	-
5-10	2,70a ± 1,47	1,60b ± 0,75	-
10-20	1,00 ± 0,53	1,39 ± 0,86	-
20-30	0,54 ± 0,30	0,75 ± 0,18	-

Em cada camada de solo, os valores seguidos da mesma letra, não diferem entre si segundo o teste Bonferroni, p<0,05. ± = erro padrão da média.

Nesse sentido, os resultados corroboram aos encontrados na literatura, que observaram que a fração leve livre é um indicador sensível às mudanças no manejo do solo em um curto espaço de tempo (Freixo et al. 2002; Bayer et al. 2004). Guggenberger & Zech (1999) observaram que a fração leve foi praticamente restabelecida após 12 anos de sucessão secundária, superando, ligeiramente, os valores encontrados na floresta secundária de 18 anos, e de floresta primária, como observado neste estudo (valores de fração leve livre da área em recuperação maiores do que os da área de mata, Tabela 4).

Por sua vez, como a fração leve livre e leve oclusa são produtos da constante adição e decomposição da serapilheira, estes resultados, em associação com os de estoque de serapilheira, C e N do solo, indicam que o uso de leguminosas na recuperação de áreas degradadas foi eficiente em restabelecer a ciclagem de nutrientes no sistema. Entretanto, deve-se destacar que apesar da grande variabilidade dos resultados que culminou na dificuldade de se observar respostas significativas, estas frações foram sensíveis às diferenças entre as áreas estudadas. Esta variação provavelmente se deve à heterogeneidade espacial em áreas florestais decorrente, especialmente, da diversidade florística, que influencia de forma pontual a taxa de deposição e decomposição da serapilheira, e, por conseguinte, na quantidade de fração leve livre e oclusa. Isto porque a abundância destas frações está relacionada com a deposição e decomposição da serapilheira, e justamente por este motivo, são consideradas eficientes em refletir os processos relacionados à dinâmica da matéria orgânica do solo (Christensen, 2000; Bremer, 1995).

### 3.3.4 Serapilheira acumulada

Não houve diferença entre os estoques de serapilheira das áreas de mata secundária e em recuperação em cada uma das épocas de avaliação (Tabela 5). Os estoques encontrados neste estudo, de 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> a 6,7 Mg ha<sup>-1</sup>, são similares ao estimado por Vital et al. (2004) em uma floresta estacional semidecidual em zona ripária (6,2 Mg ha<sup>-1</sup>), e inferiores ao observado por Arato et al. (2003) em um sistema agroflorestal estabelecido há 9-10 anos em uma área degradada (8,7 Mg ha<sup>-1</sup>). Martius et al. (2004) encontraram valores maiores do que os observados neste estudo, no qual o maior estoque foi encontrado na área de floresta secundária (24,7 Mg ha<sup>-1</sup>), valor este superior ao da área de floresta primária na região amazônica (12,0 Mg ha<sup>-1</sup>). Ewel (1976) observou que durante os primeiros vinte anos de sucessão havia um aumento no acúmulo de serapilheira que superava a da mata nativa. A massa acumulada (ou estoque) e a qualidade (composição nutricional) variam em função do solo, clima, composição, idade da comunidade vegetal (Martius et al., 2004) e tempo (Ewel, 1976).

**Tabela 5.** Estoque de serapilheira nos diferentes compartimentos das áreas em recuperação e de mata secundária localizadas no município de Angra dos Reis, RJ, coletadas na estação seca e chuvosa.

Área	Folhas		Galhos*		Refugo		Total	
	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----							
Mata secundária	1278	855	1419	1088	2312b	3809a	5009	5753
Em recuperação	1725a	543b	1463	1935	2765b	4308a	5954	6786
CV(%)	44,97		12,02		29,47		37,34	

Letras minúsculas diferentes, na linha, indicam diferença entre épocas em uma mesma área dentro de cada compartimento, segundo o teste t de Bonferroni P < 0,05. \*Dados transformados com Ln (x).

O estoque de serapilheira da área em recuperação variou entre as épocas seca e chuvosa (Tabela 5). Neste caso, os compartimentos folhas e refugo foram os mais sensíveis às variações no regime de chuvas da região. O compartimento refugo representou 46% do estoque total de serapilheira no período seco e 63-66% no período chuvoso. Este aumento de cerca de 20% no compartimento refugo na estação chuvosa se deve, provavelmente, a maior taxa de decomposição decorrente da maior disponibilidade de umidade e altas temperaturas desta estação, que repercutiu, também, em uma redução de 20% no estoque de folhas, especialmente na área em recuperação. Aliado, é claro, ao período de deposição das folhas, que em geral é no final da estação seca (final do inverno).

Os estoques de nutrientes observados nas duas épocas avaliadas foram diferentes (Tabela 6). No entanto, um padrão claro pode ser observado no estoque total de P, K, e N, onde os maiores estoques de P foram observados na estação seca, e de K e N na estação chuvosa. No caso do P, o menor estoque observado na estação chuvosa, possivelmente, se deve ao fato deste ser um período mais favorável à decomposição dos resíduos do que a estação seca. Por este ser um elemento limitante na maioria dos solos tropicais (Vitousek, 1984; Read & Lawrence, 2003), o P é rapidamente absorvido durante a estação chuvosa, pelas raízes, micorrizas e fauna edáfica, diminuindo a quantidade total de P contida na serapilheira. Por sua vez, essa rápida absorção do P da serapilheira pode ser um mecanismo eficiente de evitar que parte deste elemento seja fixado pelos óxidos de Fe e Al, abundantes em solos tropicais. O maior estoque total de N nesta estação se deve ao maior estoque no compartimento refugo.

**Tabela 6.** Estoque de nutrientes na serapilheira e em seus diferentes compartimentos nas áreas de mata secundária e em recuperação localizadas no município de Angra dos Reis, RJ, coletadas na estação seca e chuvosa.

Área	Folhas		Galhos		Refugo		Total	
	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
-----Ca (kg ha <sup>-1</sup> )-----								
Mata secundária	11,0a	6,4a	10,6	6,3	15,5b	27,2a	37,7	45,0
Em recuperação	14,0a	4,1b	10,9	10,9	12,2b	30,1a	41,1	40,7
CV (%)	61,1		80,64		26,2		36,7	
-----Mg (kg ha <sup>-1</sup> )-----								
Mata secundária	4,0a	3,0a	3,1	1,6	5,6b	12,3a	12,8	19,1
Em recuperação	4,8a	1,5b	2,8	3,0	4,0b	12,6a	12,1	14,2
CV (%)	68,1		83,6		36,1		40,8	
-----P (kg ha <sup>-1</sup> )-----								
Mata secundária	1,5a*	0,29b	1,5a	0,20b	2,7a	1,6b	6,0a	2,1b
Em recuperação	1,9a*	0,22b	2,0a	0,36b	2,9a	2,4a	7,3a	2,2b
CV (%)			85,7		34,9		7,6**	
-----K (kg ha <sup>-1</sup> )-----								
Mata secundária	0,21b	5,3a	1,5a*	3,2a	0,36b	20,8a	2,3b	33,4a
Em recuperação	0,33b	4,3a	1,6b*	8,5a	0,24b	20,8a	2,3b	32,3a
CV (%)	65,2				7,9**		6,6**	
-----N (kg ha <sup>-1</sup> )-----								
Mata secundária	13,2	14,4	11,6	11,9	21,7Ab*	72,0Aa	46,5b*	89,1a
Em recuperação	13,8	9,0	7,6	20,9	15,4Bb*	80,1Aa	39,4b*	104,08a
CV (%)	37,7		11,0**					

Letras maiúsculas diferentes, na coluna, indicam diferença entre áreas em uma mesma época segundo o teste t de Bonferroni  $p < 0,05$ . Letras minúsculas diferentes, na linha, indicam diferença entre épocas em uma mesma área, dentro de cada compartimento, segundo o teste t de Bonferroni  $P < 0,05$ . \*\*Dados transformados com  $\ln(x)$ . \*teste de comparação de duas médias não paramétrico Wilcoxon.

Dos compartimentos da serapilheira, o compartimento folhas apresentou um maior estoque de Ca durante a estação seca, e o compartimento refugo durante a estação chuvosa, em ambas as áreas. O estoque de Mg do compartimento folhas foi maior durante a estação seca na área em recuperação, e maior na estação chuvosa, no compartimento refugo nas duas áreas. O estoque destes nutrientes, especialmente de Ca, são partes constituintes do tecido estrutural da planta, de modo que têm mobilidade reduzida. Sendo assim, as folhas senescentes tendem a apresentar maiores concentrações de Ca e Mg, quando comparadas com as de N, P e K, que são translocados dentro da planta (Boerger et al., 2005), ou mesmo, lixiviados mais rapidamente. Feldpausch et al. (2004) observaram ao estudar áreas de diferentes idades, que havia grande imobilização de Ca pelos tecidos da vegetação no transcorrer dos anos. Mas nenhuma diferença nos estoques de Ca e Mg entre as áreas foi observada.

### 3.3.5 Fertilidade do solo

De um modo geral, os solos das áreas estudadas apresentaram baixa disponibilidade de nutrientes, uma vez que são altamente intemperizados, apresentando baixo pH, baixa disponibilidade de bases trocáveis, a alto teor de Al (Tabela 7).

Comparando-se os resultados de pH, nota-se que a área de mata secundária apresentou os menores valores corroborando com os teores de alumínio encontrados nesta mesma área, que por sua vez, foram maiores (Tabela 7). Segundo os níveis de pH observados, este pode ser considerado um solo fortemente ácido. Comparando-se os resultados de pH, nota-se que a área de mata secundária teve o menor valor corroborando aos maiores teores de alumínio encontrados nesta mesma área. Wisniewski (dados não

publicados citados por Boerger et al. 2005) observaram uma ligeira redução no pH do solo e um aumento na disponibilidade de alumínio na medida em que o processo de sucessão avançava, provavelmente associado à fixação das bases na biomassa (Feldpaush et al., 2004) e a um saldo negativo de prótons na rizosfera (Raven et al., 1990).

Em virtude dos teores de Ca e Mg terem sido muito baixos, estes não foram mostrados separadamente. Os teores de Ca+Mg só foram diferentes estatisticamente entre as áreas na camada de 0-5 cm, onde o maior valor observado foi na área em recuperação (Tabela 7). Os resultados de fósforo foram diferentes entre as áreas nas três primeiras profundidades avaliadas, ou seja, de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, onde os maiores valores observados foram na área de mata secundária e os menores na área desmatada (Tabela 7). Cabe ressaltar que estes valores foram baixos em todas as áreas e que a disponibilidade de fósforo provavelmente está associada à decomposição da serapilheira. Esta baixa disponibilidade de P em solos tropicais está relacionada com a abundância de minerais secundários como os óxidos de Fe e Al, com os quais interage, ficando indisponível para biota (Pereira, 1996).

O aumento da Ca, Mg e P na área em recuperação pode estar refletindo a adubação efetuada por ocasião no plantio das mudas no campo.

As análises de K não mostraram diferença entre a mata secundária e a área em recuperação nas duas primeiras camadas (0-5 cm e 5-10 cm) (Tabela 7). Já nas camadas subseqüentes, a disponibilidade deste elemento diminuiu, especialmente na área em recuperação, que ficou similar à da área desmatada (Tabela 7).

As baixas concentrações de Ca, Mg, P e K no solo e a maior abundância destes na serapilheira, corroboram com a idéia de que solos tropicais de baixa fertilidade são dependentes do aporte e decomposição da biomassa, possuindo uma ciclagem de nutrientes eficiente (Vitousek, 1984). Segundo Vitousek (1984) e Read & Lawrence (2003), o fósforo é um elemento claramente limitante nos ecossistemas tropicais estabelecidos sobre solos altamente intemperizados.

Por outro lado, estes teores de nutrientes ligeiramente maiores na área revegetada, quando comparada com a área desmatada, provavelmente é produto da adubação utilizada no plantio das mudas no campo, que retornam ao sistema através da deposição e decomposição da serapilheira. Além disso, a remoção dos horizontes mais superficiais do solo expôs as camadas de solo mais ricas em minerais primários, que associado ao clima e ao tempo, podem estar liberando parte das bases contidas neste solo.

**Tabela 7.** Fertilidade do solo ao longo do perfil (0-60 cm) das áreas mata secundária, em recuperação e desmatada em Angra dos Reis, RJ.

Profundidade		pH em água	
cm	Mata secundária	Em recuperaçãc	Desmatada
0-5	4,5b ± 0,06	4,8a ± 0,13	4,7ab ± 0,10
5-10	4,4b ± 0,03	4,6ab ± 0,09	4,7a ± 0,03
10-20	4,3b ± 0,07	4,6ab ± 0,06	4,7a ± 0,06
20-30	4,4b ± 0,03	4,6ab ± 0,06	4,7a ± 0,09
30-40	4,4b ± 0,03	4,6ab ± 0,06	4,8a ± 0,12
40-60	4,5 ± 0,07	4,5 ± 0,07	4,7 ± 0,15
Profundidade		Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
cm	Mata secundária	Em recuperaçãc	Desmatada
0-5	1,9a ± 0,38	0,7b ± 0,23	1,0b ± 0,03
5-10	2,1a ± 0,29	1,2b ± 0,12	1,1b ± 0,07
10-20	2,5a ± 0,29	1,1b ± 0,17	1,1b ± 0,06
20-30	2,2a ± 0,12	1,1b ± 0,13	0,9b ± 0,09
30-40	2,1a ± 0,17	1,1b ± 0,13	0,9b ± 0,19
40-60	1,7a ± 0,21	1,2ab ± 0,10	0,9b ± 0,15
Profundidade		Ca + Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
cm	Mata secundária	Em recuperaçãc	Desmatada
0-5	0,7b ± 0,12	1,9a ± 0,61	0,5b ± 0,06
5-10	0,5 ± 0,09	0,8 ± 0,22	0,5 ± 0,03
10-20	0,4 ± 0,03	0,6 ± 0,18	0,4 ± 0,03
20-30	0,4 ± 0,03	0,5 ± 0,15	0,3 ± 0,03
30-40	0,3 ± 0,03	0,4 ± 0,09	0,3 ± 0,00
40-60	0,4 ± 0,06	0,4 ± 0,09	0,3 ± 0,00
Profundidade		P (mg dm <sup>-3</sup> )	
cm	Mata secundária	Em recuperaçãc	Desmatada
0-5	2,3a ± 0,33	2,3a ± 0,33	0,6b ± 0,58
5-10	2,6a ± 0,88	1,3ab ± 0,33	1,0b ± 0,33
10-20	2,0a ± 0,58	1,3ab ± 0,33	0,3b ± 0,33
20-30	0,6 ± 0,33	0,6 ± 0,33	0,0
30-40	0,3 ± 0,33	0,3 ± 0,33	0,0
40-60	0,3 ± 0,33	0,0 ± 0,00	0,0
Profundidade		K (mg dm <sup>-3</sup> )	
cm	Mata secundária	Em recuperaçãc	Desmatada
0-5	66a ± 11,0	66a ± 2,6	21b ± 2,5
5-10	52a ± 3,2	43a ± 6,6	16b ± 2,3
10-20	38a ± 0,88	35ab ± 9,0	14b ± 1,5
20-30	28a ± 4,41	20ab ± 4,8	10b ± 1,7
30-40	19 ± 3,76	14 ± 2,3	7 ± 3,2
40-60	21 ± 1,67	7 ± 0,88	8 ± 5,0

Valores seguidos da mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si segundo o teste Bonferroni,  $p < 0,05$ .  $\pm$  = erro padrão da média.



### **3.4 Conclusões**

Nas condições estudadas, o uso de leguminosas arbóreas associadas a bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos arbusculares na recuperação de áreas degradadas foi eficiente em incrementar os estoques de C e N do solo. Este resultado em associação aos resultados de estoque de serapilheira e fração leve livre e leve oclusa indicam que a ciclagem de nutrientes foi restabelecida após 13 anos do plantio das mudas no campo.

A quantidade de nutrientes presentes no solo, quando comparados com a quantidade encontrada na serapilheira, sugerem que as comunidades vegetais estudadas dependem do aporte de serapilheira para o seu funcionamento e sustentabilidade.

A capacidade das leguminosas em aumentar o estoque de C do solo em uma taxa de indica que a recuperação de áreas degradadas pode ser utilizada como dreno de CO<sub>2</sub>, auxiliando na mitigação do efeito estufa.

## **4. CAPÍTULO II**

### **ESTUDO DE CASO II**

#### **ESTOQUE DE CARBONO, NITROGÊNIO E FERTILIDADE DO SOLO EM UMA ÁREA EM RECUPERAÇÃO HÁ 17 ANOS COM LEGUMINOSAS, SEROPÉDICA, RJ**

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de algumas espécies de leguminosas em restabelecer a ciclagem de nutrientes do sistema, os estoques de C e N e a fertilidade do solo em uma área de empréstimo. Para isso quantificou-se o estoque e a quantidade de nutrientes presentes na serapilheira nas estações seca e chuvosa, a concentração de Ca, Mg, P, K, C e N no solo, a fração leve livre e leve oclusa da matéria orgânica, e os estoques de C e N do solo. A área de estudo localiza-se no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, no município de Seropédica, RJ. No momento da implantação dos experimentos, há 17 anos atrás, esta se encontrava com o subsolo exposto devido a retirada dos horizontes superficiais para serem utilizados na construção de uma barragem. As áreas estudadas foram revegetadas, há 17 anos, com as espécies *Mimosa caesalpiniiifolia* e *Acacia auriculiformis*, separadamente, e há 13 anos, com a espécie *Albizia guachapelle*. Como áreas referência foram utilizadas um fragmento florestal em crescimento secundário, com pelo menos 20 anos de idade, e uma área de pastagem. De acordo com os resultados, as espécies de leguminosas foram capazes de incrementar os estoques de C e N do solo. Foi observado um incremento de 21,4 Mg ha<sup>-1</sup> de C e 1,9 Mg ha<sup>-1</sup> de N no solo na área plantada com a espécie *M. caesalpiniiifolia*, e de 2,6 Mg ha<sup>-1</sup> de C e 0,7 Mg ha de N na área plantada com espécie *A. auriculiformis*. Este aumento representa um incremento anual de 1,25 Mg ha<sup>-1</sup> de C e 111 kg ha<sup>-1</sup> de N na área com a espécie *M. caesalpiniiifolia* e de 0,15 Mg ha<sup>-1</sup> de C e 41,1 kg ha<sup>-1</sup> de N na área com a espécie *A. auriculiformis*. As maiores taxas de deposição de serapilheira foram observadas na área da espécie *A. auriculiformis*, e as menores na área de capoeira. *A. guachapele* apresentou um pico de deposição durante o período chuvoso, e as espécies *A. auriculiformis* e *M. caesalpiniiifolia* entre os meses de março e maio, transição entre o período chuvoso e o período seco. A área revegetada com a espécie *A. guachapele* foi a que apresentou maior taxa de decomposição, seguida de *M. caesalpiniiifolia* e *A. auriculiformis*. A área de capoeira apresentou a menor taxa de decomposição. A fertilidade do solo foi ligeiramente maior nas áreas revegetadas, provavelmente, devido à adubação utilizada no plantio das mudas no campo, que retornam ao sistema através da decomposição da serapilheira. Os resultados confirmam o potencial das leguminosas arbóreas em restabelecer a ciclagem de nutrientes em áreas de empréstimo, condicionando o ambiente de modo a possibilitar a entrada de novas espécies do sistema.

**Palavras-chave:** Leguminosas arbóreas. Fixação biológica de nitrogênio. Ciclagem de nutrientes. Áreas de empréstimo.

## ABSTRACT

This work aimed to evaluate the potential of some species of nodulated and mycorrhizal legume trees on re-establishing of nutrient cycling, C and N stocks and soil fertility in exposed subsoil. Litter stock and nutrient content in the rainy and dry season, the soil Ca, Mg, P, K, C and N concentrations, free and occluded light fractions of soil organic matter, and soil C and N stocks were determined. The study area is located in the experimental field of Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ. Before of seedlings planting, 17 years ago, the topsoil horizons were removed, to be used on the construction of an artificial lake. The study areas were vegetated with nodulated and mycorrhizal seedlings of *Mimosa caesalpinifolia* and *Acacia auriculiformis*, 17 years ago; and with *Albizia guachapele*, 13 years ago. As reference areas were used a secondary forest with, at least, 20 years old, and a grazing area. It was observed an improvement of 21.4 Mg ha<sup>-1</sup> of C and 1.9 Mg ha<sup>-1</sup> de N on soil from the *M. caesalpinifolia* area and of 2.6 Mg ha<sup>-1</sup> of C and 0.7 Mg ha of N on the *A. auriculiformis* area, respectively. This represent an improvement of 1.25 e 0.15 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of C, and 111 and 41.1 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of N, for *M. caesalpinifolia* and *A. auriculiformis*, respectively. The highest deposition rate was observed on area under *A. auriculiformis*, and the lowest, on secondary forest fragment. The *A. guachapele* showed a peak of deposition during the rainy season, and *A. auriculiformis* and *M. caesalpinifolia*, between the months of March and May, transition from rainy to dry season. The *A. guachapele* area showed the greatest decomposition rate, followed by *M. caesalpinifolia* and *A. auriculiformis*. The secondary forest fragment showed the lowest decomposition rate, 391 days. The soil fertility in the soil under the legumes was slightly higher, probably, because the fertilization used at planting of seedlings. The results showed the potential of nodulated and mycorrhizal legume trees on re-establish nutrient cycling, promoting a better environment condition for the establishment to new species.

**Key words:** Legume trees. Biological nitrogen fixation. Nutrient cycling. Exposed subsoil.

## 4.1 Introdução

A conservação da matéria orgânica do solo é de grande importância para o funcionamento biológico, químico e físico do solo tanto em regiões tropicais quanto em temperadas (Six et al., 2002). Nos trópicos apresenta papel de destaque, uma vez que na maior parte das vezes, os solos são altamente intemperizados, fortemente ácidos e com reduzida capacidade de troca catiônica (Bayer & Mielniczuk, 1999; Whittaker, 1975). Além do papel de promover o bom funcionamento do solo, representa o terceiro maior reservatório de carbono terrestre, com 1550 Pg de C (Lal, 2004). Estudos indicam que as florestas tropicais são capazes de armazenar quantidades substanciais de C na sua biomassa e no solo (Brown & Lugo, 1992; Pregitzer & Euskirchen, 2004). Entretanto, o papel das florestas e dos solos tropicais como fonte ou dreno dos gases do efeito estufa ainda tem sido fonte de discussões (Brown & Lugo, 1992; Hugues et al. 2002; Lal 2004; Bellamy et al. 2005; Keppler et al. 2006; Zhou et al., 2006).

O estoque de matéria orgânica do solo em qualquer ecossistema é obtido pela interação dos fatores que determinam a sua formação e aqueles que promovem a sua decomposição (Leite et al., 2003). Assim, o acúmulo de carbono no solo é dependente das práticas de manejo do solo, fatores edáficos, climáticos assim como da quantidade e qualidade do material vegetal depositado.

Nesse sentido, o uso de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio associadas a fungos micorrízicos arbusculares vem sendo preconizado para a recuperação de áreas degradadas (Franco et al., 1992; Franco & Faria, 1997). Estas espécies são capazes não só de se estabelecerem, como também produzirem uma grande quantidade de biomassa de baixa relação C:N (Andrade, 2000; Silva et al., 2004; Macedo et al., 2006), contribuindo para o incremento de matéria orgânica e nitrogênio no solo (Boddey et al., 2006). Isto porque em áreas com baixa capacidade produtiva ou mesmo de subsolo exposto, o crescimento satisfatório das plantas só é possível com a adição de grandes quantidades de composto orgânico ou adição freqüente de adubos nitrogenados (Resende et al., 2006), que eleva consideravelmente o custo (energético, ecológico e financeiro) de implantação e manutenção dos plantios.

As modificações promovidas pelo estabelecimento destas espécies vão possibilitar a entrada de novas espécies no sistema, dando curso ao processo de sucessão. Além disso, a camada de serapilheira formada por estas espécies, juntamente com a parte aérea e radicular das plantas, vai proteger o solo dos agentes erosivos (Andrade, 2000).

Desta forma, este trabalho visa avaliar a capacidade desta técnica em restabelecer a ciclagem de nutrientes e os estoques de C e N de uma área de empréstimo com o subsolo exposto em recuperação há 17 anos, localizada no município de Seropédica, RJ.

## 4.2 Material & Métodos

### 4.2.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, no município de Seropédica, Km 47 da antiga rodovia Rio - São Paulo, RJ, a 33 metros acima do nível do mar, nas coordenadas 22° 45' 00 "S e 43° 40' 11" W. O clima da região é do tipo Aw segundo a classificação de Köpen, tropical, com verões úmidos e invernos secos. A temperatura média anual é de 24,6°C, com temperaturas máximas de 30,4°C nos meses de dezembro e janeiro e mínimas de 20,6°C nos meses de junho e julho. A precipitação média anual é de 1.250 mm (Balieiro, 2002). As menores precipitações são observadas nos meses de julho e agosto. A cobertura vegetal natural da região é a Floresta Ombrófila Densa. O solo da área é um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, em relevo suavemente ondulado, sendo o material originário o gnaiss (Ramos et al., 1973).

A área foi revegetada com leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas há 17 anos, após ter sido utilizada como área de empréstimo para a construção de uma barragem. Com a retirada dos horizontes superficiais, o subsolo ficou exposto às intempéries do clima local (Figura 5). Para a recuperação dessa área foram estabelecidas diferentes espécies da família Leguminosae, associadas a bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos arbusculares. A adubação utilizada, por cova foi: 100g de fosfato de rocha, 10g de FTE e 1 litro de esterco de galinha (Franco et al., 1992). Após 17 anos (Figura 6), foi avaliada a capacidade destas espécies em restabelecer a ciclagem de nutrientes do sistema e incrementar os estoques de C e N do solo. Não foi adicionado Ca e Mg porque os níveis encontrados no solo não indicavam deficiência destes nutrientes.

Nas áreas estudadas foram plantadas, há 17 anos, as espécies *Mimosa caesalpiniiifolia* e *Acacia auriculiformis*, e há 13 anos, a espécie *Albizia guachapele*. Como área referência foram utilizados um fragmento florestal de vegetação secundária, com mais de 20 anos e uma área de pastagem, com pelo menos, 17 anos de idade.



**Figura 5.** Visão da área após ter sido utilizada como área de empréstimo, em 1989. (foto cordialmente cedida pelos pesquisadores Avílio A. Franco e Eduardo F.C. Campello)



**Figura 6.** Visão da área revegetada após 17 anos da intervenção. (foto cordialmente cedida pelos pesquisadores Avílio A. Franco e Eduardo F.C. Campello)

#### 4.2.2 Análises de solo

Como descrito em 3.2.2.

#### 4.2.3 Abundância Natural de $d^{13}C$

A abundância natural de  $d^{13}C$  foi avaliada com o objetivo de se estimar a camada de solo removida em cada uma das áreas, para que assim, se pudesse calcular a quantidade de C e N incorporado ao solo após a recuperação das áreas. Para isso, foi avaliada a abundância de  $d^{13}C$  nas áreas de pastagem, até a profundidade de 110 cm, e nas áreas revegetadas até a profundidade de 60 cm. Estas análises foram realizadas com o auxílio de um espectrômetro de massas Finnigan Matt Modelo Delta Plus.

A determinação de  $^{13}C$  no solo se dá através da comparação da relação molar entre os carbonos de peso molecular 13 e 12, e o resultado é comparado a um padrão internacional de rocha calcária chamada Pee Dee Belemnite (PDB), que são expressos em unidades de  $d^{13}C$  (Resende, 2003). Esta rocha calcária é utilizada como padrão em virtude das concentrações de  $^{13}C$  no ar serem muito variáveis. Assim, os valores negativos de  $d^{13}C$  se devem ao fato de que a relação molar de  $^{13}C/^{12}C$  das plantas ser inferior ao PDB, que, por definição, assume o valor de 0‰. Assim, a unidade de  $d^{13}C$  representa a variação de um átomo de  $^{13}C$  em mil átomos de C (‰). Os valores de  $d^{13}C$  foram estimados de acordo com a equação abaixo:

$$d^{13}C (\text{‰}) = \left( \frac{(^{13}C/^{12}C) \text{ amostra} - 1}{(^{13}C/^{12}C) \text{ padrão}} \right) \times 1000$$

#### 4.2.4 Fracionamento da matéria orgânica do solo

Como descrito em 3.2.3.

#### 4.2.5 Serapilheira acumulada

Como descrito em 3.2.4.

#### 4.2.6 Deposição e decomposição da serapilheira

Para a avaliação da deposição de serapilheira foram utilizados 26 coletores de formato circular, com 0,51 m<sup>2</sup> de área, e 30 cm de profundidade, confeccionados com malha de náilon de 1 mm, estabelecidos no campo a 10 cm de altura do solo. Destes, seis foram estabelecidos em cada uma das três áreas em recuperação com as três diferentes espécies de leguminosas (totalizando 18 coletores) e oito na área de capoeira. As coletas foram realizadas durante o período de um ano, de outubro de 2005 a setembro de 2006. Após cada coleta, o material foi seco em estufa de ventilação de ar forçado, a 65° C, até atingir peso constante, e pesado.

Para estimar a taxa de decomposição foram utilizadas as avaliações de deposição e estoque de serapilheira, conforme proposto por Olson (1963). Para isso, no início de cada estação, dentro do período de avaliação de deposição, foram coletadas cinco amostras de estoque de serapilheira em cada uma das áreas conforme descrito no item 5.2.5. A constante anual ou taxa instantânea de decomposição “K” proposta por Olson (1963) foi calculada pela relação entre a quantidade de serapilheira produzida anualmente (L; deposição anual) e a quantidade média de manta acumulada sobre o solo (X<sub>ss</sub>; média do estoque de serapilheira anual) ( $K = L/X_{ss}$ ). Para estimar o tempo médio para que ocorra a decomposição de 50% da serapilheira utilizou-se a equação:

$$T_{0,5} = -\ln(0,5) / K$$

#### 4.2.7 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de normalidade (Lilliefors, 1%) e homogeneidade de variância dos erros (Cochran, 1%) de modo a verificar se os dados atendiam os pressupostos da análise de variância. Quando não atendidos, foram transformados com Ln (x). Uma vez atendido os pressupostos, ou no mínimo, o de homogeneidade de variância dos erros (1%), fez-se a análise de variância (5%), seguida do teste Scott-Knott (5%). No caso do não atendimento dos pressupostos exigidos pela análise de variância mesmo com os dados transformados, utilizou-se o teste não paramétrico Kruskal-Wallis. A análise de regressão foi utilizada para avaliar a correlação entre o incremento de C e N do solo.



## 4.3 Resultados e Discussão

### 4.3.1 Densidade do solo

Os solos estudados parecem diferir ligeiramente quanto à densidade e granulometria (Tabela 8). Como se sabe, a textura está relacionada com a capacidade de um solo em estocar C (Moraes et al., 1995), onde os solos mais argilosos apresentam maior capacidade de conservar C (Hassink, 1997). De acordo com o triângulo de classes texturais do manual de descrição e coleta de solo no campo (Santos et al., 2005), os solos das áreas plantadas com *A. auriculiformis*, *M. caesalpinifolia* e *A. guachapele* enquadram-se na classe textural argilosa, enquanto que os da área de capoeira e pastagem apresentaram textura média. Assim, mesmo considerando a maior proporção de argila nos solos em recuperação, estes apresentaram estoques de C menores do que o da área de capoeira (vide Tabela 10). Estas diferenças refletem a remoção das camadas superficiais, mais arenosas, nas áreas em recuperação.

**Tabela 8.** Densidade do solo ao longo do perfil (0-60 cm) nas cinco áreas estudadas localizadas no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ.

Áreas	Profundidade	Densidade do solo			
		areia	silte	argila	
	-----cm-----	---Mg m <sup>-3</sup> --	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
<i>M. caesalpinifolia</i>	0-5	1,44	343	177	480
	5-10	1,56	327	159	513
	10-20	1,55	297	169	533
	20-30	1,71	277	169	553
	30-40	1,63	237	177	587
	40-60	1,63	233	201	567
<i>A. auriculiformis</i>	0-5	1,18	331	249	420
	5-10	1,48	324	209	467
	10-20	1,55	247	253	500
	20-30	1,52	237	256	507
	30-40	1,47	233	267	500
	40-60	1,44	240	253	507
<i>A. guachapele</i>	0-5	1,41	368	205	427
	5-10	1,56	377	189	433
	10-20	1,61	366	174	460
	20-30	1,62	353	174	473
	30-40	1,57	337	183	480
	40-60	1,65	341	165	493
Capoeira	0-5	1,27	609	171	220
	5-10	1,63	605	149	247
	10-20	1,63	561	159	280
	20-30	1,54	509	164	327
	30-40	1,56	502	158	340
	40-60	1,62	420	173	407
Pastagem	0-5	1,74	733	107	173
	5-10	1,82	687	127	187
	10-20	1,88	699	121	187
	20-30	1,84	687	120	193
	30-40	1,86	672	121	227
	40-60	1,78	598	115	313

### 4.3.2 Concentração e estoque de C e N no solo

Os teores de C foram maiores nas áreas em recuperação com leguminosas do que na área de pastagem, utilizada como área referência (Tabela 9), com exceção da área revegetada com a espécie *A. auriculiformis*, cujos teores foram similares aos da área de pastagem. Tal fato provavelmente se deve a menor taxa de decomposição da serapilheira desta espécie, menor do que a das demais leguminosas (Silva et al., 2008), que reflete numa menor taxa de incorporação de matéria orgânica no solo. Andrade (2000) observou que plantios de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade, em Seropédica, incrementaram os teores de C e N do solo em relação à área com vegetação espontânea.

Os teores de N foram similares entre as áreas nas camadas mais superficiais do solo (Tabela 9), embora os teores de N tenham se apresentado ligeiramente maiores nas áreas plantadas com leguminosas. A partir de 10 cm de profundidade, os teores de N das áreas em recuperação foram semelhantes aos da área de pastagem (Tabela 9), com exceção da área plantada com a espécie *A. guachapele*, cujos teores foram similares aos da área de capoeira, exceto na camada de 10-20 cm, que foi superior. É provável que isso seja fruto da menor quantidade de solo retirado na área revegetada com a espécie *A. guachapele* (Figura 7).

A relação C:N se manteve relativamente estável entre as áreas, exceto no solo da área de capoeira, profundidade de 0-5 cm, que foi maior. Lugo & Sanchez (1986), em diferentes áreas em regeneração e cultivadas na Costa Rica, observou que esta relação não variava entre os tratamentos, assim como Andrade (2000), em áreas com leguminosas e gramíneas. No entanto, foi observada uma maior relação C:N nas áreas de pousio de 18 e 33 anos, do estudo de caso III. Ramakrishnan & Toky também observaram maior relação C:N no horizonte mais superficial do solo na área há mais tempo sob sucessão secundária, 50 anos.

**Tabela 9.** Concentração de carbono, nitrogênio e relação C:N ao longo do perfil do solo (0-60 cm) nas cinco áreas estudadas localizadas no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, Seropédica - RJ.

	<i>M. caesalpinifolia</i>	<i>A. auriculiformis</i>	<i>A. guachapele</i>	Capoeira	Pastagem
Profundidade (cm)	C (g kg <sup>-1</sup> )				
0-5	30,1 ± 9,6	32,3 ± 15,2	26,9 ± 1,8	29,1 ± 4,5	10,5 ± 2,8
5-10	15,2a ± 2,3	11,1b ± 3,4	19,5a ± 1,8	15,8a ± 0,8	8,4b ± 1,9
10-20	10,0 ± 1,5	7,4 ± 2,1	14,8 ± 1,6	13,8 ± 0,5	7,8 ± 3,3
20-30	5,8b ± 0,4	5,9b ± 1,4	14,3a ± 0,7	11,3a ± 0,8	7,7b ± 2,1
30-40	4,8 ± 0,6	5,6 ± 1,4	11,7 ± 1,4	13,6 ± 2,7	7,3 ± 3,3
40-60	8,5 ± 2,2	5,1 ± 1,9	7,9 ± 0,7	11,0 ± 0,4	5,8 ± 0,8
Profundidade (cm)	N (g kg <sup>-1</sup> )				
0-5	2,15 ± 0,42	2,72 ± 1,18	2,23 ± 0,15	1,48 ± 0,20	0,86 ± 0,19
5-10	1,29 ± 0,21	1,03 ± 0,28	1,72 ± 0,08	1,31 ± 0,10	0,79 ± 0,18
10-20*	0,87c ± 0,10	0,66c ± 0,14	1,66a ± 0,05	1,21b ± 0,03	0,72c ± 0,17
20-30*	0,72b ± 0,05	0,59b ± 0,15	1,33a ± 0,13	1,08a ± 0,06	0,65b ± 0,17
30-40	0,60b ± 0,02	0,56b ± 0,13	1,23a ± 0,05	1,05a ± 0,07	0,60b ± 0,16
40-60	0,64 ± 0,10	0,53 ± 0,18	0,92 ± 0,04	0,93 ± 0,06	0,53 ± 0,11
Profundidade (cm)	C:N				
0-5	14b ± 0,6	12b ± 0,8	12b ± 2,2	20a ± 1,9	12b ± 1,5
5-10	12 ± 0,5	11 ± 1,1	12 ± 0,7	12 ± 1,0	11 ± 1,3
10-20	11 ± 0,8	10 ± 2,2	9 ± 0,6	11 ± 0,1	11 ± 1,5
20-30	8 ± 0,7	10 ± 0,5	11 ± 0,2	10 ± 0,7	12 ± 1,4
30-40	8 ± 0,5	10 ± 2,0	9 ± 1,1	13 ± 2,9	12 ± 1,4
40-60	13 ± 0,7	10 ± 1,4	9 ± 6,9	12 ± 0,4	11 ± 0,4

Em cada camada de solo, os valores seguidos da mesma letra, não diferem entre si segundo o teste Scott-Knott, p<0,05. ± = erro padrão da média. \* = Dados transformados para Ln (x).

Assim como observado nos teores, os estoques de C foram semelhantes entre as áreas quando comparados camada a camada, com exceção das profundidades de 5-10 cm e 20-30 cm (Tabela 10). Na camada de 5-10 cm, os menores estoques de C foram observados na área de pastagem e com a espécie *A. auriculiformis*, enquanto que na camada de 20-30 cm, os menores valores foram observados nas áreas de pastagem, *A. auriculiformis* e *M. caesalpiniiifolia*. Quando se comparou o estoque de C de 0-30 cm não foi observada nenhuma diferença entre as áreas. Já na profundidade de 0-60 cm, que os maiores estoques foram observados nas áreas de capoeira e plantada com *A. guachapele*, e os menores nas áreas com *M. caesalpiniiifolia*, *A. auriculiformis* e da pastagem. O fato do estoque de C da área plantada com *A. guachapele* ter se apresentado maior do que os das demais leguminosas possivelmente se deve à menor quantidade de solo retirado na área da primeira (Figura 7).

Considerando o estoque de C na área de pastagem similar ao da época anterior ao plantio, antes da remoção do solo, houve um incremento de 21,4 Mg ha<sup>-1</sup> de C no solo na área com a espécie *M. caesalpiniiifolia* e de 2,6 Mg ha<sup>-1</sup> de C na área com *A. auriculiformis*, o que representa um aumento de 1,25 e 0,15 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C, respectivamente. Este incremento anual está de acordo com os encontrados na literatura, que estão em torno de 1-2 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Brown & Lugo, 1990; Silver et al., 2000), embora o incremento anual de C observado na área com *A. auriculiformis* tenha se apresentado baixo. O incremento de C na área com *A. auriculiformis* foi menor do que os valores encontrados em áreas agrícolas e de pastagem (Boddey et al., 2006).

**Tabela 10.** Estoque de carbono e nitrogênio ao longo do perfil do solo (0-60 cm) nas cinco áreas estudadas localizadas no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ.

	<i>M. caesalpiniiifolia</i>	<i>A. auriculiformis</i>	<i>A. guachapele</i>	Capoeira	Pastagem
Profundidade (cm)	Estoque de C (Mg ha <sup>-1</sup> )				
0-5	21,6 ± 6,9	19,1 ± 9,0	18,9 ± 1,3	18,4 ± 2,8	9,1 ± 2,5
5-10	11,8a ± 1,8	8,1b ± 2,5	15,2a ± 1,4	12,9a ± 0,7	7,7b ± 1,7
10-20	15,5 ± 2,3	11,4 ± 3,3	23,8 ± 2,6	22,5 ± 0,9	14,5 ± 6,2
20-30	9,9b ± 0,6	8,9b ± 2,2	21,2a ± 1,6	17,4a ± 1,3	14,3b ± 3,9
30-40	7,8 ± 0,9	8,2 ± 2,0	18,4 ± 2,3	21,2 ± 4,1	13,5 ± 6,1
40-60	25,9 ± 6,8	18,0 ± 6,7	24,6 ± 2,2	35,7 ± 1,2	12,0 ± 1,7
0-30	58,8 ± 7,8	47,6 ± 7,6	79,1 ± 1,3	71,2 ± 2,5	45,6 ± 14,0
0-60	92,5b ± 7,6	73,7b ± 13,5	122,1a ± 5,4	128,1a ± 4,2	71,1b ± 21,7
Profundidade (cm)	Estoque de N (Mg ha <sup>-1</sup> )				
0-5	1,63 ± 0,31	1,70 ± 0,74	2,16 ± 0,21	0,99 ± 0,13	0,79 ± 0,17
5-10	1,06b ± 0,17	0,80b ± 0,21	1,71a ± 0,18	1,13b ± 0,08	0,76b ± 0,17
10-20*	1,42b ± 0,15	1,08b ± 0,22	2,71a ± 0,38	2,09a ± 0,05	1,44b ± 0,34
20-30*	1,30b ± 0,10	0,95b ± 0,25	2,35a ± 0,10	1,75a ± 0,10	1,27b ± 0,34
30-40	1,04b ± 0,03	0,87b ± 0,20	2,04a ± 0,22	1,73a ± 0,11	1,18b ± 0,32
40-60	2,06 ± 0,32	1,99 ± 0,68	2,60 ± 0,03	3,19 ± 0,20	1,17 ± 0,24
0-30	5,4b ± 0,43	4,5b ± 0,63	8,9a ± 0,54	5,9b ± 0,34	4,2b ± 1,01
0-60	8,5b ± 0,59	7,3b ± 1,30	13,5a ± 0,61	10,8a ± 0,63	6,6b ± 1,55

Em cada camada de solo, os valores seguidos da mesma letra, não diferem entre si segundo o teste Scott-Knott, p<0,05. ± = erro padrão da média. \* = Dados transformados para Ln (x).

Mas se estes cálculos forem baseados nos estoques de C de 0-20 cm de profundidade encontrado por Costa (1998) na mesma área, pode-se dizer que houve um incremento de 40,4 Mg ha<sup>-1</sup> de C na área plantada com a espécie *M. caesalpiniiifolia* e de 38,6 Mg ha<sup>-1</sup> de C na área com *A. auriculiformis* nesta camada, entre 1997 e 2004, representando um aumento de 5,7 e 5,5 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C, respectivamente. Estes valores são muito superiores ao encontrados na literatura e aos estimados a partir do estoque da área de

pastagem, uma vez que na literatura, o maior incremento observado foi de cerca de 4 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C, em Porto Rico (Lugo & Sánchez, 1986). Mesmo tendo iniciado com níveis menores de C devido a remoção dos horizontes superficiais, deve-se considerar o fato de não ter sido possível fazer a correção das massas neste trabalho, o que pode ter levado às altas taxas de incorporação de C no solo, observadas. Deste modo, estes valores são apenas indicativo de acúmulo de N no solo.

Dentre as três leguminosas, os maiores estoques de N foram observados na área da espécie *A. guachapele* (Tabela 10). O estoque de 0-60 cm de profundidade na área com *A. guachapele* foi similar ao da capoeira, que por sua vez, foram maiores do que os das demais áreas avaliadas. No caso da área com *A. guachapele*, é possível que tal fato se deva às características químicas das folhas desta espécie, que apresenta menor relação C:N e baixo teor de polifenóis (Silva et al., 2008), contribuindo para uma decomposição mais rápida e, por conseguinte, para uma maior incorporação de N no solo (Tabela 10). No entanto, considerando que na área com *A. guachapele* o solo foi removido em menor quantidade, este maior estoque de N pode ser explicado, pelo menos em parte, pelo maior teor inicial de N no solo (Figura 7). Cabe destacar que apesar da maior quantidade de areia observada no solo da área de capoeira, esta apresentou maior estoque de C e N.

Assim como feito para o C, o estoque de N da área de pastagem foi utilizado como base para se estimar o aumento no estoque deste elemento nas áreas em recuperação. Assim, pode-se dizer que houve um aumento de 1,9 Mg ha<sup>-1</sup> de N no solo na área plantada com a espécie *M. caesalpinifolia* e de 0,7 Mg ha de N na área com *A. auriculiformis*, o que representa um incremento de 111 e 41,1 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

De acordo com os estoques de N de 0-20 cm de profundidade encontrado por Costa (1998), pode-se dizer que houve um incremento de 2,40 Mg ha<sup>-1</sup> de N na área revegetada com a espécie *M. caesalpinifolia* e de 2,88 Mg ha<sup>-1</sup> de N na área com *A. auriculiformis* desde 1997 até o ano de 2004, representando um aumento de 0,34 e 0,41 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Estes valores parecem estar superestimados considerando que esta quantidade de N que está entrando no solo, é superior a encontrada na serapilheira depositada (Andrade, 2000 - 211 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; Balieiro, 2002 - 240 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). De forma que se esperaria que a taxa de incorporação deste elemento fosse menor já que deve-se considerar as perdas e imobilização durante o processo de decomposição da matéria orgânica. Deste modo, estes valores são apenas indicativo de acúmulo de N no solo.

A partir das avaliações de d<sup>13</sup>C (Figura 7a) nas áreas em recuperação (até 60 cm) e até a profundidade de 110 cm na área de pastagem, pode-se ter uma idéia de quanto de solo foi removido das áreas em recuperação (Figuras 7b). Em solos sob plantas com via fotossintética C<sub>3</sub>, serão observados valores de d<sup>13</sup>C mais negativos (-25 a -30‰), enquanto que em áreas dominadas por plantas C<sub>4</sub>, estes valores serão maiores (-8 a -18‰) (Cadish et al., 1996), indicando uma maior discriminação do <sup>13</sup>C pelas plantas com via fotossintética C<sub>3</sub>. Assim, esta discriminação possibilita estimar, através dos resultados de d<sup>13</sup>C, o histórico de uso das áreas.

Os valores de d<sup>13</sup>C observados na área de pastagem estão entre -15‰ nas camadas mais superficiais chegando a -19‰ nas camadas mais profundas, sendo estes mais baixos do que os observados por Cadish et al. (1996), em uma área de pastagem no sul da Bahia (0-2 cm -19,4‰ e 5-15 cm -22,5‰). Nos solos sob as espécies *M. caesalpinifolia* e *A. auriculiformis* os valores de d<sup>13</sup>C foram de -23 e -25‰, respectivamente, nas camadas mais superficiais, corroborando com resultados de Vitorello et al. (1989) que observaram um valor de d<sup>13</sup>C de -25‰ para uma área florestal na região de Piracicaba, São Paulo.

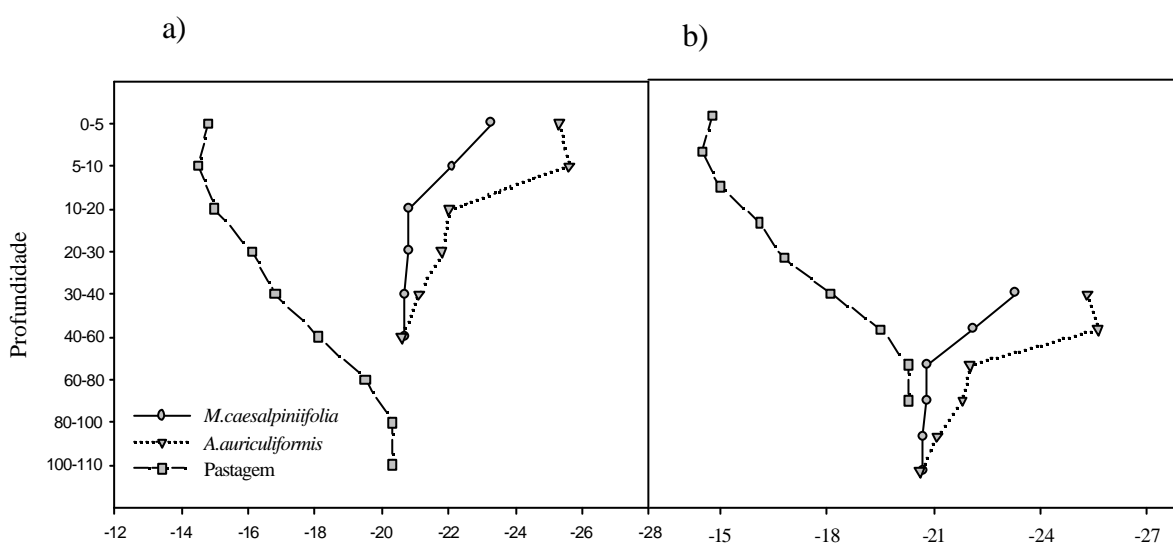
Baseando-se, então, no princípio de que a partir das análises de d<sup>13</sup>C pode-se observar o histórico das áreas, foi construído um segundo gráfico, apresentado na Figura 7b. Os maiores valores de d<sup>13</sup>C de 20-60 cm de profundidade encontrados nos solos sob

leguminosas assemelham-se aos observados na área de pastagem a 80-100 cm de profundidade, indicando que as áreas degradadas eram, antes da remoção dos seus horizontes superficiais, ocupadas por gramíneas ( $C_4$ ), o que permitiu a construção da Figura 7b.

De acordo com a Figura 7b, estima-se que houve uma remoção de cerca de 40 cm de solo nas áreas revegetadas com a espécie *M.caesalpinifolia* e *A.auriculiformis*, apesar de ter se observado no momento do plantio das mudas no campo, em 1987, que o solo foi retirado até uma profundidade superior a estas estimadas (Franco, comunicação pessoal).

Baseando-se neste resultado e no de C contido até a profundidade de 110 cm na área de pastagem, foi estimado o estoque de C nas áreas em recuperação antes do plantio das mudas no campo, em 1987. Para isso, a partir da estimativa do estoque de C até 110 cm de profundidade na área de pastagem, foi descontado deste o estoque de C encontrado até 40 cm de profundidade nas áreas com leguminosas. A diferença obtida entre o estoque de C na área de pastagem até 110 cm de profundidade e a 40 cm de profundidade nas áreas em recuperação, pode-se estimar o estoque de C até 60 cm de profundidade encontrado no solo de cada uma das áreas após a remoção dos seus horizontes superficiais, em 1987.

A partir destes cálculos, pode-se dizer que houve um incremento de  $55,2 \text{ Mg ha}^{-1}$  de C e de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na área plantada com a espécie *M. caesalpinifolia* e de  $36,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de C na área com a espécie *A. auriculiformis*, sendo o estoque inicial de 0-60 cm de  $37,32 \text{ Mg ha}^{-1}$  de C e de  $8,48 \text{ Mg ha}^{-1}$  de N. Isto representa um acúmulo de  $3,2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de C e de  $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de N na área plantada com a espécie *M. caesalpinifolia*, e de  $2,2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de C na área com a espécie *A. auriculiformis*. Não houve incremento nos níveis no estoque de N na área da espécie *A. auriculiformis*, tendo havido, na realidade, redução no



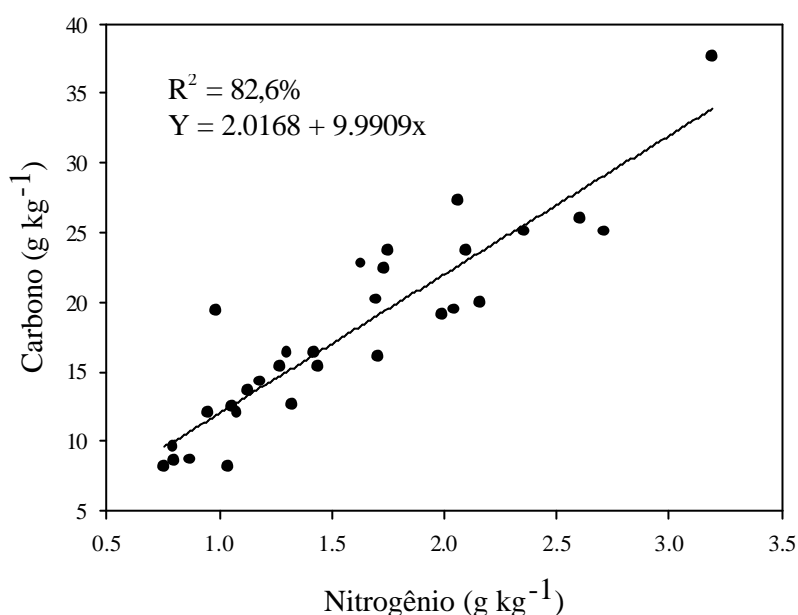
estoque de N durante estes 17 anos em que a área está em recuperação. Estes resultados são compatíveis com os observados na literatura (Brown & Lugo, 1990; Silver et al., 2000; Lal, 2004). No entanto, chama atenção a reduzida quantidade de nitrogênio que entrou no sistema durante estes 17 anos em que a área está em recuperação.

**Figura 7.** Resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  do solo sob as espécies *M. caesalpinifolia* e *A. auriculiformis*, e na área de pastagem, antes (a), nas profundidades coletadas no campo e depois (b) do ajuste, já estimando a camada de solo removida.

Das três estimativas de estoque de C, a mais compatível com os resultados da literatura foi a que utilizou como base para os cálculos, o estoque de C e N das áreas de

pastagens. Os estoques obtidos a partir das avaliações de  $d^{13}C$ , parecem subestimar os estoques, especialmente de N, na área plantada com a espécie *A. auriculiformis*, visto que são menores do que os encontrados em áreas agrícolas (Boddey et al., 2006) e do que em áreas temperadas plantadas espécies decíduas ( $0,58 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e com coníferas ( $0,85 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ; Paul et al., 2003) e em solos agrícolas em regeneração na Europa ( $0,3\text{-}0,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ; Freibauer et al., 2004). Sendo assim, mais estudos são necessários no que se refere à capacidade de cada uma das espécies de leguminosas em incrementar os estoques de C e N do solo quando estabelecidas em plantios solteiros e consorciados.

Na Figura 8 pode-se observar uma estreita relação entre o C e o N do solo. O aumento dos níveis de C do solo é favorecido quanto se tem disponibilidade de N, uma vez que durante o processo de decomposição da matéria orgânica, para cada dez moléculas de C é necessária uma de N. Christensen & Lal (2007) destacam a importância da adição de N associada à adição de serapilheira (palhada), para manter, e mesmo, incrementar o estoque de C do solo.



**Figura 8.** Análise de regressão entre as concentrações de nitrogênio e de carbono observadas nas áreas estudadas no município de Seropédica, RJ. (n= 30; P <0.0001)

#### 4.3.3 Fração leve livre e leve oclusa da matéria orgânica

Os resultados de concentração da fração leve livre e leve oclusa estão na Tabela 11. Não houve diferença entre as concentrações de fração leve livre das áreas, indicando que esta fração da matéria orgânica é restabelecida rapidamente, como observado no Capítulo I. Guggenberger & Zech (1999) observaram que a fração leve livre foi praticamente restabelecida após 12 anos de sucessão secundária. Contudo, cabe destacar que apesar dos teores de fração leve livre terem sido restabelecidos nas áreas recuperadas após 17 anos, o mesmo não foi observado para o estoque de carbono. E isto, provavelmente, se deve ao fato da fração leve livre, principalmente, ser mais sensível às mudanças no manejo do solo em um curto espaço de tempo do que a concentração e o estoque de C, como observado por outros autores (Freixo et al., 2002; Bayer et al., 2004).

Por outro lado, as áreas que não tiveram os seus horizontes superficiais (capoeira e pastagem) removidos apresentaram maior quantidade de fração leve oclusa, indicando que para a formação desta fração é necessário um tempo maior.

**Tabela 11.** Fração leve livre e fração leve oclusa ao longo de 0-30 cm nas cinco áreas estudadas no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ.

Profundidade	<i>M. caesalpiniiifolia</i>	<i>A. auriculiformis</i>	<i>A. guachapele</i>	Capoeira	Pastagem
cm	-----Fração leve livre (g kg <sup>-1</sup> )-----				
0-5*	12,3 ± 2,1	30,6 ± 12,1	12,4 ± 1,5	13,5 ± 0,4	14,8 ± 4,1
5-10	7,9 ± 4,1	6,6 ± 2,0	4,8 ± 0,9	4,9 ± 1,7	5,3 ± 1,1
10-20	3,4 ± 1,7	8,0 ± 3,7	10,1 ± 3,6	3,3 ± 0,5	2,4 ± 1,3
20-30	1,7 ± 1,0	4,5 ± 1,1	2,2 ± 0,0	3,8 ± 1,5	3,4 ± 0,9
cm	-----Fração leve oclusa (g kg <sup>-1</sup> )-----				
0-5**	4,1b ± 2,5	3,4b ± 1,0	1,5b ± 0,2	13,5a ± 0,4	7,9a ± 0,6
5-10	1,8b ± 1,5	1,2b ± 0,4	0,8b ± 0,1	4,9a ± 1,7	5,3a ± 1,1
10-20	0,4b ± 0,1	0,5b ± 0,3	1,0b ± 0,1	3,3a ± 0,5	2,4a ± 1,3
20-30	0,0b ± 0,0	0,6b ± 0,6	0,2b ± 0,1	3,8a ± 1,5	3,4a ± 0,9

Em cada camada de solo, os valores seguidos da mesma letra, não diferem entre si segundo o teste Scott-Knott,  $p < 0,05$ .  $\pm$  = erro padrão da média. \* = dados transformados polinomial inversa de 1ª ordem (x); \*\* = dados transformados para Ln(x);

Uma vez que a fração leve livre e leve oclusa são produtos da constante adição e decomposição da serapilheira, estes resultados, em associação com os valores de C e N do solo, indicam que o uso de leguminosas na recuperação de áreas degradadas foi eficiente em restabelecer a ciclagem de nutrientes no sistema.

#### 4.3.4 Massa e nutrientes no estoque de serapilheira

Os dados de estoque de serapilheira e seus compartimentos (folhas, ramos e refugo) em cada uma das áreas avaliadas estão na Tabela 12. A espécie *A. auriculiformis* promoveu maior acúmulo de serapilheira sobre o solo, principalmente na forma de folhas e refugo, o que refletiu no maior estoque total dentre as três leguminosas. Essa maior quantidade de refugo da espécie *A. auriculiformis* se deve a presença de estruturas reprodutivas que foi incluída neste compartimento, especialmente no inverno, quando Costa (1998) observou um pulso de deposição de frutos (Julho-Setembro). Esse acúmulo de serapilheira, possivelmente, está associado à qualidade do material produzido por esta espécie, que determina a sua degradabilidade, e pode ser influenciada por diversos fatores tais como relação C:N, polifenóis, lignina, dentre outros (Melillo et al., 1982; Aerts, 1997; Silva et al., 2008).

**Tabela 12.** Estoque de serapilheira e seus diferentes compartimentos nas áreas revegetadas e de capoeira no Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, RJ.

Espécie	Folhas		Galhos		Refugo		Total	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----							
Capoeira	596B	525AB	3972	1665B	4981B	4905AB	9550B	7096
<i>M. caesalpiniiifolia</i>	1030B	598AB	3280	5006A	4006B	2605B	8317B	8211
<i>A. auriculiformis</i>	2775Aa	983Ab	3455	3419AB	11244Aa	5976ABb	17475Aa	10379b
<i>A. guachapele</i>	491B	82B	2223b	5460ABa	4551B	2807B	7267B	8350
CV (%)	43,71		52,08		30,85		29,45	

Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si segundo o teste Scott-Knott,  $p < 0,05$ . Letras maiúsculas comparam as médias das áreas, na coluna, e minúsculas, em linha, comparando as épocas.

Pode-se dizer que houve influência das estações no estoque total de serapilheira da espécie *A. auriculiformis* e no de galhos da *P. guachapele*. Na área da espécie *A. auriculiformis*, a menor quantidade de refugo e serapilheira total na estação chuvosa (verão), pode ser explicada pela decomposição das folhas depositadas durante a estação seca associada a menor deposição de serapilheira durante a estação chuvosa (Figura 9). Este

maior acúmulo de serapilheira na área da *A. auriculiformis* não refletiu no estoque de C, que foi menor, justamente, na área desta espécie.

O fato do estoque total de serapilheira, de um modo geral, não variar entre as espécies *M. caesalpiniifolia* e *A. guachapele* corrobora aos resultados encontrados por Balieiro (2002). O autor observou em plantios puros de *Eucalyptus grandis* e *A. guachapele* e consorciados em outra área no mesmo município (Seropédica, RJ), que o estoque de serapilheira não variou ao longo do ano. Segundo este autor, apesar da maior deposição destas espécies ocorrer no verão, esta foi compensada pela maior taxa de decomposição do material ao passo que nos meses mais frios e secos (junho e julho), essa taxa de decomposição diminuiu, fazendo com que a massa da manta orgânica se tornasse ligeiramente maior nesses meses.

O estoque de nutrientes variou entre as épocas e entre as áreas é apresentado na (Tabela 13).

**Tabela 13.** Estoque de nutrientes na serapilheira e em seus diferentes compartimentos coletados na estação seca e chuvosa, nas áreas revegetadas e de capoeira no Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, RJ, coletadas na estação seca e chuvosa.

Área	Folhas		Galhos		Refugo		Total	
	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
-----Ca (kg ha <sup>-1</sup> )-----								
Capoeira	22,4Ba	3,3Ab	60,4Aa	28,4Ab	68,3Ba	15,6Ab	151,2Ba	47,4Ab
<i>M. caesalpiniifolia</i>	54,9Aa	6,9Ab	83,8Aa	18,8Aa	199,6Aa	38,2Ab	338,5Aa	64,0Ab
<i>A. auriculiformis</i>	12,8Ba	0,52Ab	41,1Aa	37,4Aa	80,0Ba	16,6Ab	133,9Ba	54,6Aa
<i>A. guachapele</i>	17,7Ba	4,0Ab	63,0Aa	15,0Ab	84,6Ba	67,2Aa	165,4Ba	86,2Aa
CV (%)	55		71		47		48	
-----Mg (kg ha <sup>-1</sup> )-----								
Capoeira	2,9Aa	1,0Ab	4,6Aa	9,8Ab	10,5Ba	4,5Ba	18,1Ba	15,3Aa
<i>M. caesalpiniifolia</i>	7,9Ba	1,3Ab	5,4Aa	2,0Ba	26,1Aa	7,0Bb	39,5Aa	10,4Ab
<i>A. auriculiformis</i>	1,5Aa	0,1Aa	4,7Aa	10,4Ab	10,4Ba	3,8Ba	16,7Ba	14,4Aa
<i>A. guachapele</i>	2,2Aa	1,1Aa	7,7Aa	3,6ABa	14,7Ba	13,2Aa	24,5Ba	18,0Aa
CV (%)	46		57		40		31	
-----P** (kg ha <sup>-1</sup> )-----								
Capoeira	1,8Ba	0,2Ab	4,7Aa	1,2Ab	6,3Ba	0,9Aa	12,9Ba	2,4Ab
<i>M. caesalpiniifolia</i>	4,8Aa	0,1Ab	4,6Aa	0,4Ab	18,9Aa	1,1Ab	28,3Aa	1,7Ab
<i>A. auriculiformis</i>	0,9Ba	0,0Aa	5,1Aa	1,8Ab	8,1Ba	0,3Ab	14,2Ba	2,1Ab
<i>A. guachapele</i>	0,1Ba	0,1Aa	0,2Ba	0,2Aa	1,5Ba	5,5Aa	1,9Ca	5,9Aa
CV (%)	38		42		44		46	
-----K (kg ha <sup>-1</sup> )-----								
Capoeira	0,0Ab**	1,5Aa	2,1Aa**	6,7Ba	0,5Ba**	1,8Aa	2,7Bb	10,1Aa
<i>M. caesalpiniifolia</i>	0,3Ab	1,6Aa	2,2Aa	3,7Ba	0,9Aba	4,5Aa	4,1Ab	9,8Aa
<i>A. auriculiformis</i>	0,0Aa	0,1Ba	2,7Ab	10,7Aa	0,9Aba	1,6Aa	3,7Bb	12,5Aa
<i>A. guachapele</i>	1,0Aa	0,4ABa	5,2Aa	2,3Ba	7,0Aa	5,8Aa	13,2Aa	8,5Aa
CV (%)	44		29		52		58	
-----N (kg ha <sup>-1</sup> )-----								
Capoeira	9Ba**	6Ba	39Aa**	15Ca	62Ba	72Ba	111Ba	94Aa
<i>M. caesalpiniifolia</i>	17Ba	8Ba	39Aa	56Ba	44Ba	40Ca	101Ba	106Aa
<i>A. auriculiformis</i>	44Aa	14Aa	43Aa	47Ba	170Ba	116Ab	258Aa	178Aa
<i>A. guachapele</i>	7Ba	2Ba	13Ab	88Aa	46Aa	54Ba	67Bb	145Ab
CV (%)	38		44		45		40	

Letras maiúsculas diferentes, na coluna, indicam diferença entre áreas em uma mesma época segundo o teste Scott-Knott  $p < 0,05$ . Letras minúsculas diferentes, na linha, indicam diferença entre épocas em uma mesma área segundo o teste Scott-Knott  $p < 0,05$ . \*\*teste não paramétrico Kruskal-wallis.

A espécie *M. caesalpiniifolia* proporcionou um estoque de serapilheira mais rico em Ca, Mg e P e *A. auriculiformis* apresentou o maior estoque de N, durante a estação seca. Isto se deve, em parte, ao fato de durante esta estação serem encontrados maiores estoques,



fruto da maior taxa de deposição e menor de decomposição promovida pela menor precipitação do período.

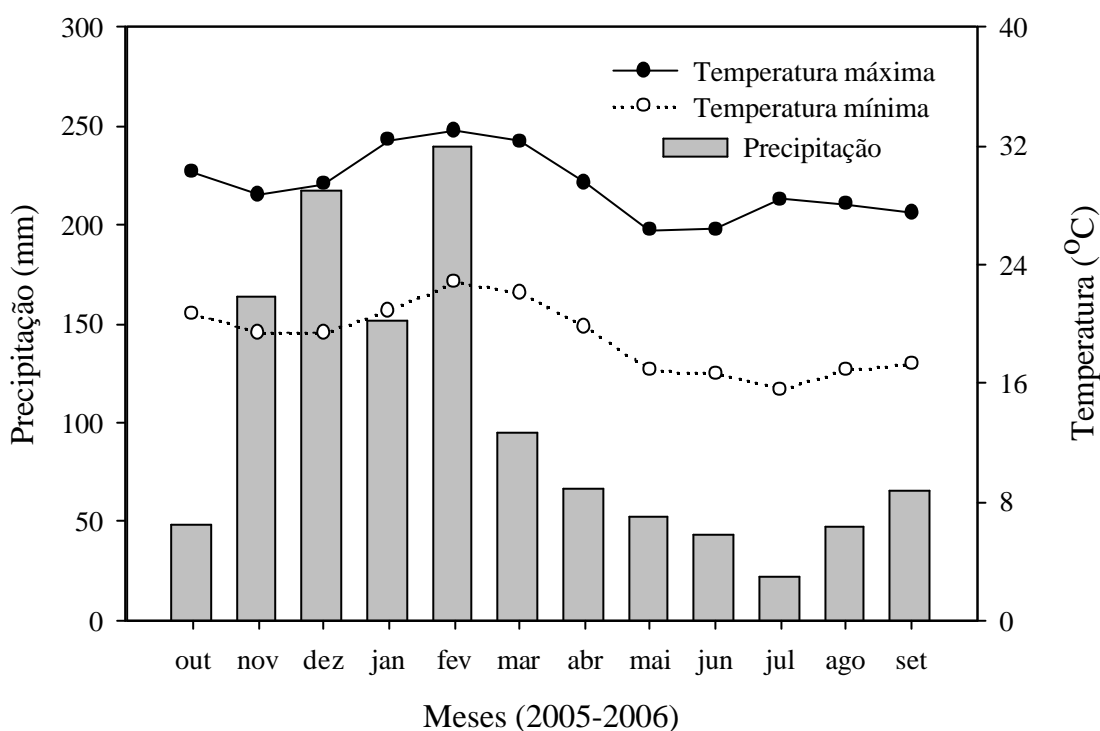
Andrade (2000), observou maiores teores de Mg e P na serapilheira de plantios de *M. caesalpinifolia* do no plantio de *Acacia mangium*, contudo, estes não refletiram em maiores estoques devido às diferenças na massa de serapilheira. A maior parte dos nutrientes estavam nas folhas e no refugo.

O pequeno estoque de fósforo na serapilheira talvez se deva ao fato da serapilheira decompor mais rapidamente quando comparada as demais (Tabela 13), de modo que este elemento, constantemente limitante em ambientes tropicais, seria rapidamente absorvido.

De um modo geral, os estoques de nutrientes foram próximos aos observados por Andrade (2000) em áreas plantadas com *A. mangium*, *A. holosericea* e *M. caesalpinifolia*, em Seropédica RJ, com quatro anos de idade.

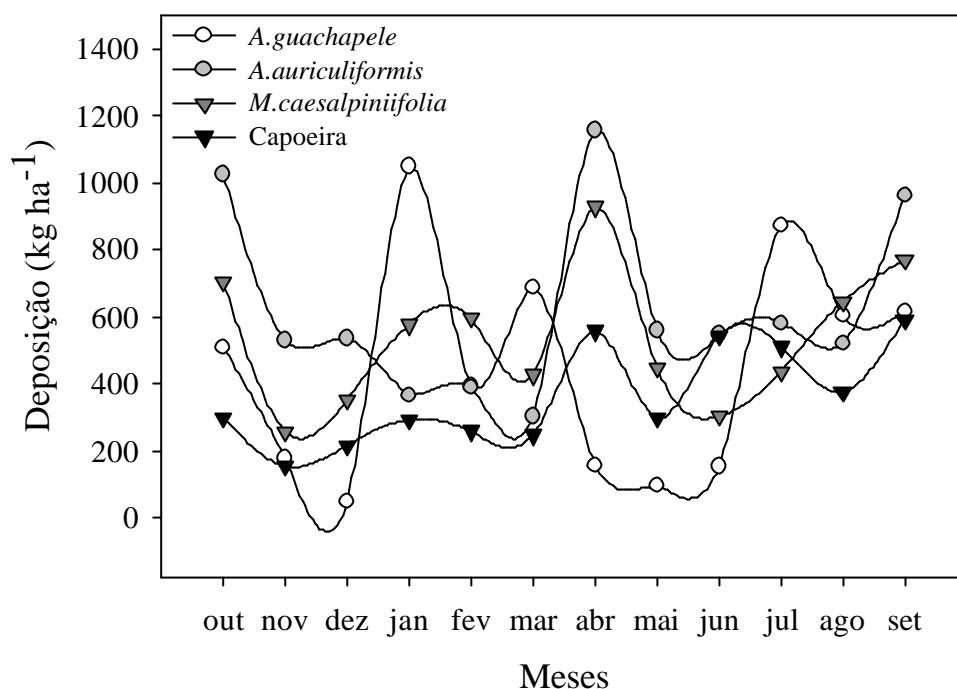
#### 4.3.5 Deposição e decomposição da serapilheira

Para uma melhor compreensão dos resultados de deposição, estão mostrados na Figura 9, dados referentes à temperatura máxima, mínima e precipitação na área em questão.



**Figura 9.** Temperatura máxima, mínima e precipitação observadas em Seropédica, RJ, durante o período de avaliação de deposição de serapilheira, que foi de outubro de 2005 a setembro de 2006.

A deposição anual de serapilheira foi ligeiramente maior na área da espécie *A. auriculiformis* do que na área da espécie *M. caesalpinifolia* (Figura 10). Por sua vez, a taxa de decomposição da serapilheira destas áreas foi similar (Tabela 14).



**Figura 10.** Deposição mensal de serapilheira no período de outubro de 2005 a setembro de 2006.

Nas áreas das espécies *A. auriculiformis* e *M. caesalpinifolia*, as maiores taxas de deposição foram observadas entre os meses de março e maio, transição do período chuvoso para o período seco (Figuras 9 e 10), corroborando com os resultados de Costa (1998), observados na mesma área há seis anos. Entretanto, na área destas espécies também foi observado um pico de deposição de serapilheira ao final da estação seca (Figura 10), durante os meses de setembro e outubro. É provável que o pico de serapilheira na área da *A. auriculiformis* observado entre esses meses se deva ao período de frutificação, que de acordo com Costa (1998), se dá entre os meses de julho e setembro. O mesmo pode-se dizer da espécie *M. caesalpinifolia*, cujo período de frutificação se encontra entre os meses de agosto e outubro, quando também foi observado um segundo pico de deposição.

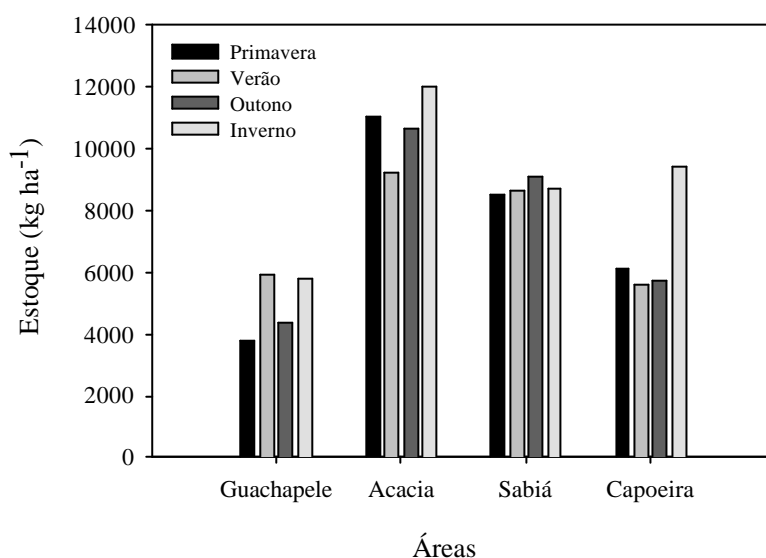
Ao contrário destas duas espécies, *A. guachapele* apresentou pico de deposição durante o período chuvoso, corroborando com os resultados encontrados por Balieiro et al. (2004), em Seropédica. Entretanto, um outro pico, ao final da estação seca também pode ser observado. Já na área de capoeira, a deposição de serapilheira foi relativamente constante ao longo do ano. Isto provavelmente se deve a maior diversidade florística da área que combina espécies com diferentes fenologias. Além disso, é possível que por esta área não ter tido o seu horizonte superficial removido, o solo apresente melhores condições de armazenamento de água, reduzindo o déficit hídrico da área nos meses de menor precipitação.

A diferença entre os períodos de deposição da serapilheira das espécies estudadas pode ser usada de forma estratégica em projetos de recuperação de áreas degradadas. Utilizando-se um reflorestamento misto, pode-se, então, adicionar continuamente materiais orgânicos sobre o solo durante o ano, diminuindo a ação da erosão através da manutenção de uma cobertura permanente sobre o solo, e mantendo os níveis de umidade do solo (Andrade, 2000).

A produção anual de serapilheira das áreas avaliadas foi de 6,44 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na área revegetada com a espécie *M. caesalpinifolia*, 7,47 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na área com *A.*

*auriculiformis*, 5,36 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na área com *A. guachapele* e 4,34 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na área de capoeira. A espécie *A. auriculiformis* depositou uma maior quantidade de material formador de serapilheira do que em 1997-1998, na mesma área, conforme observado por Costa (1998). Por outro lado, a *M. caesalpiniiifolia* apresentou menor taxa de deposição do que a observada por este autor, na mesma área, em 1997-1998. Andrade (2000) também observou maiores taxas de deposição em um plantio de 4 anos de *M. caesalpiniiifolia*, em um PLANOSSOLO. Balieiro (2002) observou uma taxa de deposição de 12,75 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em um plantio de *A. guachapele* com 7 anos de idade, em um PLANOSSOLO. Nesse sentido, deve-se considerar que as diferenças entre os resultados de deposição encontrados podem ser devido ao espaçamento entre plantas utilizado e a idade do plantio, podendo também variar de ano para ano dependendo das condições climáticas.

Os estoques de serapilheira avaliados nas quatro estações do ano para a avaliação da taxa de decomposição estão mostrados na Figura 19. Estes foram constantes ao longo do ano, exceto na área de capoeira, que apresentou um maior estoque no inverno. De acordo com o teste Scott-Knott, não houve diferença do estoque de serapilheira entre as estações do ano na área revegetada com a espécie *A. guachapele* (CV = 23,6%; p = 0,06), *A. auriculiformis* (CV = 19,7%; p = 0,36) e *M. caesalpiniiifolia* (CV = 22,0%; p = \*\*\*), com exceção da área de capoeira, que apresentou maior estoque de serapilheira no inverno (CV = 25,2%; p = 0,002).



**Figura 11.** Estoque de serapilheira avaliado no início de cada estação do ano, começando no início da primavera de 2005 e terminando no início do inverno de 2006.

Quanto aos dados de decomposição (Tabela 14), a serapilheira da *A. guachapele* é a que apresenta a maior velocidade de decomposição. Segundo Olson (1963), coeficientes de decomposição maiores do que 1 indicam uma rápida taxa de decomposição. As demais áreas apresentaram valores similares entre si, tendo, dentre as três, a área de capoeira apresentado a menor constante de decomposição, ou seja, uma decomposição mais lenta.

Os coeficientes de decomposição estimados são maiores do que as observadas por Andrade (2000), em uma área revegetada com a espécie *M. caesalpiniiifolia*, onde encontraram um coeficiente de decomposição de 1,22 por ano. É possível que tal fato se deva ao critério de inclusão do diâmetro dos galhos que foi de 2 cm, enquanto que neste trabalho, se considerou todos os galhos contidos dentro da amostra. Coeficientes maiores

foram observados por Silva et al. (2004), entretanto, obtidos através de avaliações usando *litterbags*, de modo que quando comparado com o método proposto por Olson (1963), que considera os galhos e frutos, pode superestimar a taxa de decomposição do sistema.

**Tabela 14.** Deposição, estoque, constante de decomposição (k) e tempo médio necessário para decompor 50% da serapilheira ( $T_{0,5}$ ) nas áreas do Campo Experimental, Seropédica, Rio de Janeiro

Área	Deposição anual -----kg ha <sup>-1</sup> -----	Estoque médio	k ----ano <sup>-1</sup> ---	T <sub>0,5</sub> -----dias-----
<i>A. guachapele</i>	5362	4952	1,08	234
<i>A. auriculiformis</i>	7476	10720	0,70	363
<i>M. caesalpiniiifolia</i>	6446	8742	0,74	343
Capoeira	4340	6710	0,65	391

Swift et al. (1979) citados por Andrade (2000), sugerem que o processo de decomposição é regulado por três grupos de variáveis: a natureza da comunidade decompositora, as características do material formador da serapilheira que determinam a sua degradabilidade e as condições físico-químicas do meio, que são governadas pelas características de solo e clima. De modo que sob as mesmas condições edafoclimáticas, a velocidade de decomposição irá variar em função da composição química do material formador da serapilheira.

#### 4.3.6 Fertilidade do solo

Os resultados de fertilidade do solo estão na Tabela 15.

**Tabela 15.** Fertilidade do solo ao longo do perfil (0-60 cm) dos cinco tratamentos avaliados no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ.

Profundidade (cm)	pH em água				
	<i>M. caesalpiniiifolia</i>	<i>A. auriculiformis</i>	<i>A. guachapele</i>	Capoeira	Pastagem
0-5	5,3	5,5	5,3	5,7	5,5
5-10	5,1	5,4	5,2	5,5	5,4
10-20	4,9	5,1	5,1	5,2	5,4
20-30	5,1	5,2	5,1	5,1	5,4
30-40 <sup>a</sup>	4,9	5,1	5,1	5,1	5,2
40-60	5,1	5,2	5,4	5,1	5,3
Profundidade (cm)	Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				
	<i>M. caesalpiniiifolia</i>	<i>A. auriculiformis</i>	<i>A. guachapele</i>	Capoeira	Pastagem
0-5	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03
5-10	0,07	0,20	0,03	0,17	0,03
10-20 <sup>*</sup>	0,17	0,37	0,07	0,57	0,10
20-30	0,23 b	0,40 b	0,07 b	1,13 a	0,10 b
30-40 <sup>*</sup>	0,23 b	0,50 b	0,10 b	1,50 a	0,17 b
40-60	0,20 b	0,53 b	0,00 b	2,03 a	0,20 b
Profundidade (cm)	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				
	<i>M. caesalpiniiifolia</i>	<i>A. auriculiformis</i>	<i>A. guachapele</i>	Capoeira	Pastagem
0-5	4,7	8,2	4,5	4,2	1,4
5-10	2,8	4,3	3,2	2,4	1,4
10-20	2,0	2,4	2,8	2,2	1,2
20-30	1,9	1,7	2,1	1,6	1,0
30-40	1,7	1,4	2,2	1,8	0,9
40-60	1,9	1,4	1,9	2,0	1,4

Valores seguidos da mesma letra na mesma profundidade de solo, não diferem entre si segundo o teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). \* = dados transformados para Ln (x).

O pH foi similar entre os sítios, variando de forte à moderadamente ácido, dependendo da profundidade. Os níveis de alumínio foram baixos até a profundidade de 20 cm, quando se tornaram maiores. A partir desta profundidade, os maiores teores foram observados na capoeira. Nenhuma diferença significativa entre os teores de Ca das áreas foi encontrada (Tabela 15).

Já os teores de Mg foram diferentes em três das seis profundidades avaliadas (Tabela 16), onde os maiores teores foram encontrados nos plantios de leguminosas e na capoeira.

Os valores de P não foram diferentes significativamente entre as áreas (Tabela 16), mas nas camadas de solo mais superficiais, os teores deste elemento foram ligeiramente maiores na área plantada com *A. auriculiformis*. Andrade (2000) observou maiores teores de P em plantios de *Acacia holosericea* quando comparados com plantios de *Acacia mangium* e *Mimosa caesapiniifolia*.

Os valores de potássio encontrados na camada de 0-5 cm nos plantios com leguminosas são considerados médios, e baixos nas camadas subseqüentes (Tabela 16). A área de capoeira apresentou maior teor de K na camada de 0-5cm. Já na camada de 30-40 cm, os maiores teores foram observados na área de capoeira e revegetada com a espécie *A. guachapele*.

**Tabela 16.** Fertilidade do solo ao longo do perfil (0-60 cm) dos cinco tratamentos estabelecidos no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ.

Profundidade (cm)	Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				
	<i>M. caesalpinifolia</i>	<i>A. auriculiformis</i>	<i>A. guachapele</i>	Capoeira	Pastagem
0-5	1,9	3,0	3,2	2,8	1,1
5-10	2,6 a	2,2 a	2,8 a	2,0 a	0,7 b
10-20	2,7 a	2,9 a	2,1 a	2,2 a	0,6 b
20-30	2,2 a	3,1 a	1,9 a	2,2 a	0,5 b
30-40	2,1	2,6	1,9	2,1	0,5
40-60	2,4	2,5	1,8	2,3	0,5
Profundidade (cm)	P (mg dm <sup>-3</sup> )				
	<i>M. caesalpinifolia</i>	<i>A. auriculiformis</i>	<i>A. guachapele</i>	Capoeira	Pastagem
0-5 *	1,7	9,3	1,7	1,7	1,3
5-10 *	0,7	5,3	1,0	0,7	1,0
10-20	0,0	1,0	0,7	0,7	1,0
20-30	0,3	0,7	1,0	0,7	1,0
30-40	0,3	1,0	1,0	0,3	1,0
40-60	0,3	0,7	0,7	0,7	1,0
Profundidade (cm)	K (mg dm <sup>-3</sup> )				
	<i>M. caesalpinifolia</i>	<i>A. auriculiformis</i>	<i>A. guachapele</i>	Capoeira	Pastagem
0-5	68 b	75 b	60 b	195 a	33 b
5-10	40	34	53	130	21
10-20	22	17	45	91	18
20-30	8	9	25	51	15
30-40	5 b	9 b	21 a	30 a	11 b
40-60 *	4	6	15	17	8

Valores seguidos da mesma letra na mesma profundidade de solo, não diferem entre si segundo o teste Scott-Knott, p<0,05. \* = Dados transformados para Ln.

#### 4.4 Conclusões

O uso de leguminosas na recuperação da área de empréstimo foi capaz de incrementar os estoques de C e N do solo, assim como a fração leve livre e o estoque de serapilheira. No entanto, a fração leve oclusa mostrou necessitar de um período maior para se restabelecer.

As maiores taxas de deposição de serapilheira foram observadas na área da espécie *A. auriculiformis*, o que por sua vez, não refletiu em um maior incremento no estoque de C e N.

*A. guachapele* apresentou um pico de deposição durante o período chuvoso e as espécies *A. auriculiformis* e *M. caesalpinifolia*, entre os meses de março e maio, transição do período chuvoso para o período seco. Um outro pico foi observado na área destas duas espécies, ao final da estação seca, durante os meses de setembro e outubro.

A área plantada com a espécie *A. guachapele* foi a que apresentou a maior constante de decomposição, seguida de *M. caesalpinifolia* e *A. auriculiformis*. A área de capoeira apresentou a menor taxa de decomposição.

Considerando os atributos do solo e serapilheira avaliados, pode-se dizer que vegetação de áreas de empréstimo com leguminosas noduladas e micorrizadas foi eficiente em restabelecer a ciclagem de nutrientes, condicionando o ambiente para o avanço da sucessão.

## **5. CAPÍTULO III**

### **ESTUDO DE CASO III**

#### **CARBONO, NITROGÊNIO E FERTILIDADE DO SOLO EM UMA ÁREA DE AGRICULTURA MIGRATÓRIA DE ALTA PRODUTIVIDADE LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE BOM JARDIM, RJ**

## RESUMO

A agricultura migratória ou itinerante é amplamente conhecida nos trópicos e se baseia no uso de ciclos de cultivo seguidos de um período em que o solo é deixado sob pousio, visando o restabelecimento da capacidade produtiva do solo. Este trabalho tem como objetivo entender como as práticas utilizadas em um sistema de agricultura itinerante de alta produtividade, influenciam nos estoques de C e N do solo, na fertilidade e outros indicadores de qualidade do solo durante o período de cultivo e de pousio, visando determinar o período de pousio mais adequado. A área de estudo localiza-se no município de Bom Jardim, 2º Distrito de Nova Friburgo, estado do Rio de Janeiro. Para o estudo, avaliou-se um gradiente de uso do solo: área cultivada há um ano, após ter permanecido em pousio durante seis anos; há três anos em rotação, sendo que no último ano foram plantadas bananeiras; área há 18 anos cultivada com bananas; área em pousio há cinco anos, após ter sido cultivada durante três anos; e outras duas em pousio há 18 e há 33 anos. Foram avaliados a densidade do solo, a granulometria, as concentrações e os estoques de C e N, a concentração de fração leve livre e leve oclusa da matéria orgânica do solo, o estoque de serapilheira e os seus respectivos estoques de nutrientes, e por fim, a fertilidade do solo. Após cinco anos de pousio, as concentrações e os estoques de C e N do solo foram superiores aos das áreas cultivadas e similares aos demais pousios e aos da área plantada com bananas. Não houve diferença na concentração da fração leve livre e leve oclusa entre as áreas e de estoque de serapilheira nos diferentes pousios. Quanto ao estoque de nutrientes da serapilheira, só o de P apresentou diferença entre as áreas. As análises de fertilidade do solo indicam um efeito residual temporário da calagem no pousio de cinco anos, onde foram observados os maiores valores de pH e Ca, e menores de Al. Já nos pousios de 18 e 33 anos, houve redução do pH, e nas concentrações de Ca assim como um aumento nos teores de Al. Houve uma migração do Ca para as camadas mais profundas, e um aumento do pH e redução nos teores de Al nesta região. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que o período de cinco anos de pousio foi o mais indicado para ser utilizado neste modelo de agricultura migratória na região. Além disso, o sistema de agricultura migratória praticado na região aumenta a disponibilidade de Ca e reduz a acidez, e a disponibilidade de Al nas camadas mais profundas do solo.

**Palavras-chave:** Agricultura derruba e queima. Adubação. Estoque de carbono do solo. Estoque de nitrogênio no solo. Pousio.



## ABSTRACT

Fallowing is a traditional practice for restoring soil productivity for migratory agriculture in the tropics. This may be performed for the land fertility restoration or aiming high yields, with fertilizer addition as it is used in Bom Jardim –RJ, for more than a generation. This study intended to determine the C and N accumulation and the soil fertility of areas under those practices, in order to indicate the best fallow period. The study area was located in Bom Jardim, 2<sup>o</sup> District of Friburgo, RJ. The study was conducted in six sites: 1) first year of cultivation after six years of fallow; 2) third year of cultivation, when banana was planted; 3) after 18 years under banana cultivation; 4) five years of fallow; 5) 18 of fallow, and 6) 33 years of fallow. They were evaluated: soil bulk density, texture, soil C and N concentrations and stocks, free and occluded light fraction concentrations of soil organic matter, litter stocks and nutrient contents, and soil fertility. After five years of fallow, the soil C and N concentrations and contents were restored to the 33 year old fallow level. There was no effect of sites on free and occluded light fraction, and the litter stocks were similar among fallow areas. For the litter nutrient stock, only P showed difference between sites, due to reduction of this nutrient with fallow age and its accumulation on plant parts. There was a residual effect of liming as indicated by high values of pH and Ca, and low values of Al with 5 years of fallow that were reversed latter on areas with 18 and 33 years of fallow. The lower layers of soil increased Ca concentration and pH, and they decreased Al concentrations at the old fallows. The data indicated that five years fallowing, as practiced by the farmers, would be recommended for the region. The type of following practice in the region increased Ca concentration and decreased pH and Al toxicity with depth.

**Key words:** Slash and burn agriculture. Fertilization. Soil carbon stock. Soil nitrogen stock. Fallow.

## 5.1 Introdução

As florestas tropicais por, em sua maioria, estarem estabelecidas sob solos muito intemperizados e de baixa fertilidade, têm na serapilheira a sua principal fonte de nutrientes (Raven et al., 2001). Sendo assim, a conversão de uma área florestal em uma área agrícola leva a redução dos estoques de nutrientes e de matéria orgânica do solo (Tiessen et al., 1994), decorrente da diminuição do aporte de serapilheira associado ao uso do solo. Este último contribui para a perda de nutrientes e matéria orgânica através da exposição do solo durante o período de cultivo que favorece a mineralização e a perda por erosão da matéria orgânica (Lal, 2004) e nutrientes, via lixiviação e remoção dos produtos agrícolas.

A redução dos estoques de nutrientes do solo, em especial do C, vem contribuindo para o aumento dos níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera, estando envolvida no cenário de mudanças climáticas globais. Estima-se que o desmatamento associado ao mau uso do solo tenha contribuído com  $1,6 \pm 0,8$  Pg por ano dos 7,6 Pg totais que foram emitidos anualmente durante a década de 90 (Lal 2004). Contudo, a real contribuição das florestas e do desmatamento no aumento da concentração atmosférica de carbono, assim como o seu papel no cenário de mudanças climáticas globais ainda tem sido fonte de discussões (Lal 2004; Kepler et al., 2006; Bellamy et al., 2005). Uma série de trabalhos vem sendo publicada visando avaliar a contribuição dos manejos agrícolas como fonte ou dreno de carbono do solo, dos quais pode-se citar os realizados em áreas de plantio direto (Sisti, 2004), agricultura convencional (Corazza et al., 1999; Leite et al.; 2003), agricultura migratória (Hughes et al. 2002) e plantações de eucalipto (Corazza et al. 1999; Balieiro, 2002).

Como alternativa à queda da produtividade após a conversão de uma área florestal em agrícola, a utilização de pousios vem sendo empregada há centenas de anos (Montaginini & Jordan, 2005), especialmente nos trópicos (Szott et al., 1999). Estes períodos de pousio consistem em excluir uma dada área do sistema produtivo permitindo que uma vegetação secundária se desenvolva. Durante o desenvolvimento desta vegetação, há incorporação de N da atmosfera ao solo via bactérias diazotróficas, e também a recuperação de nutrientes, especialmente de K, Ca e Mg das camadas mais profundas do solo, na sua biomassa. Assim, após um determinado período de pousio, esta vegetação é, então, cortada e queimada, para que os nutrientes contidos na sua biomassa sejam disponibilizados em um novo ciclo de cultivo. Os períodos de pousio normalmente variam de três a quinze anos, enquanto que os períodos de cultivo podem durar cerca de um a quatro anos (Szott et al., 1999).

A derrubada e queima da floresta disponibiliza os nutrientes contidos na biomassa para o consumo dos organismos, elevando o pH do solo, aumentando, ainda mais, a disponibilidade de nutrientes (Giardina et al., 2000). Além da queima disponibilizar os nutrientes retidos na biomassa vegetal, também disponibiliza os que estavam na matéria orgânica do solo, incluindo os imobilizados pelos microrganismos (Giardina et al., 2000). Entretanto, deve-se considerar que durante a queima da biomassa vegetal, parte dos nutrientes são perdidos via volatilização, lixiviação e vento. Nesse sentido, dependendo do ambiente, do período de pousio, a forma e a frequência a qual a área é queimada e o subsequente uso do solo, pode haver uma redução da atividade biológica e dos nutrientes, levando a uma queda na produtividade das culturas (Giardina et al., 2000), e mesmo, à degradação do solo.

Nos últimos anos vêm ocorrendo modificações nesse tipo de agricultura decorrentes, principalmente, do crescimento das populações humanas e necessidade de maior geração de renda através do aumento da produção. Nesse sentido, o período de pousio vem sendo reduzido, e a vegetação secundária que se desenvolve durante o período de pousio substituída por espécies de crescimento rápido, com tecido mais rico em nutrientes. Outras

modificações, como o uso de fertilizantes, também vêm sendo adotadas. Isto porque com a redução do período de pousio, os nutrientes que retornam ao solo após a derrubada e queima da vegetação podem não ser suficiente para promover um bom desenvolvimento das culturas, e aumentar os níveis de matéria orgânica do solo, que por sua vez está relacionada com um bom funcionamento do solo. Neste caso, a queima deveria ser minimizada, ou mesmo, eliminada.

Por sua vez, o uso de insumos associado à redução dos períodos de pousio gera uma necessidade de se reavaliar a dinâmica do sistema. Além disso, um aumento no período de cultivo devido à utilização de adubação, por exemplo, pode reduzir a velocidade de restabelecimento da comunidade vegetal durante o pousio devido a redução da viabilidade do banco de sementes assim como de rebrotos. Por outro lado, um aumento do período de cultivo sem o uso de adubação pode levar a um empobrecimento do solo dificultando o restabelecimento da vegetação secundária.

Estas modificações vêm gerando uma necessidade de se reavaliar a duração tanto do período de cultivo quanto do período de pousio como forma de se otimizar os benefícios promovidos pela adubação e pelo pousio na produção agrícola e na qualidade do solo. Além disso, em uma outra vertente, também se destaca a importância de se entender como a utilização de adubação interfere na dinâmica do restabelecimento desta vegetação secundária.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo entender como as práticas utilizadas em um sistema de agricultura itinerante, baseado na utilização de fertilizantes, influenciam na fertilidade e nos estoques de C e N do solo durante o período de cultivo e de pousio, além de buscar o período de pousio mais adequado. Para isso foi utilizado um gradiente de uso do solo incluindo áreas em pousio, e sob cultivo de espécies anuais e perenes.

## 5.2 Material e Métodos

### 5.2.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se no sítio Cachoeira, de propriedade do Sr. Antônio Isaltino Sandre, nas coordenadas geográficas 22° 09' 62" S e 42° 17' 14" W, a 900 m de altitude, no 4o distrito de Barra Alegre, município de Bom Jardim, RJ. Este se encontra na região de cabeceira do córrego do Pito Aceso, inserida na bacia do rio Paraíba do Sul. A região enquadra-se na unidade geomorfológica do reverso das colinas e maciços costeiros do planalto da Serra dos Órgãos (Reis, 2002).

Os tipos de rochas predominantes são o granito, gnaisse granitóide, migmatitos e associações, cuja litologia apresenta-se como metamórfica. O relevo local e regional é do tipo montanhoso. A área está sobre o domínio da Floresta Ombrófila Densa (Reis, 2002). O clima da região é do tipo Mesotérmico úmido, caracterizado por um calor bem distribuído ao longo do ano com pouco ou nenhum déficit hídrico (FAPERJ, 1980 citado por Reis, 2002). A precipitação média anual de acordo com a estação meteorológica de Friburgo é de 1400 mm, com maior intensidade no verão (Reis, 2002).

Segundo Freitas (1997) (citado por Reis, 2002), nesta região os solos são pouco profundos nas vertentes (litossolos e cambissolos), espessando-se no sentido descendente dos vales (latossolos) sendo estes compostos por depósitos coluviais. A classe de solo predominante na região é o CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico (Reis, 2002).

O manejo desta área, há mais de 50 anos, se dá através da divisão da propriedade em glebas, onde são cultivadas culturas anuais em rotação (inhame, milho, feijão, batata inglesa e mandioca) durante 3 anos, sendo depois deixada em pousio durante 4-6 anos. Entretanto, na área pode-se encontrar pousios com 18 e 33 anos de idade.

De acordo com o proprietário, com o objetivo de garantir o rápido restabelecimento da vegetação secundária durante o pousio, no segundo ano de cultivo, no momento da roça e capina, são deixados brotos de plantas nativas de quatro em quatro metros. A principal cultura é o inhame uma vez que esta tem se mostrado mais rentável e pode ser mantida no solo, a espera de preços melhores (Landi & Dubois, 2004). Uma outra cultura importante geradora de renda é a batata inglesa, mas devido a demanda por insumos devido a sua susceptibilidade à doenças e necessidade de forte adubação, a sua rentabilidade é menor (Landi & Dubois, 2004). O feijão e o milho, por sua vez, são utilizados, principalmente, no consumo familiar. Culturas perenes como banana e café também estão presentes na área.

Os sítios de estudo são: a) Área cultivada há um ano com inhame, após ter permanecido em pousio durante seis anos - Figura 5; b) Área cultivada há três anos em rotação com feijão e inhame, sendo que no último ano, foram plantadas bananeiras - Figura 6; c) Área há 18 anos cultivada com bananeiras - Figura 7; d) Área em pousio há cinco anos após ter sido cultivada durante três anos - Figura 8; e) Área em pousio há 18 anos - Figura 9; f) Área há 33 anos em pousio - Figura 10.



**Figura 5.** Área no primeiro ano de cultivo (com inhame na época).



**Figura 6.** Área no terceiro ano de cultivo (no início do estabelecimento de bananeiras).



**Figura 7.** Área há 18 anos cultivada com bananeiras.





**Figura 8.** Área há cinco anos em pousio.



**Figura 9.** Área há 18 anos em pousio.



**Figura 10.** Área há 33 anos em pousio.

### **5.2.2. Análises de solo**

Como descrito em 3.2.2

### **5.2.3 Fracionamento físico da matéria orgânica**

Como descrito em 3.2.3

### **5.2.4 Serapilheira acumulada**

Como descrito em 3.2.4

### **5.2.5 Análises estatísticas**

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade (Lilliefors, 1%) e homogeneidade de variância dos erros (Cochran, 1%) de modo a verificar se atendiam os pressupostos da análise de variância. Quando não atendidos, foram transformados com  $\ln(x)$ . Uma vez atendido os pressupostos, ou no mínimo, o de homogeneidade de variância dos erros (1%), fez-se a análise de variância (5%) seguido do teste de médias Scott-Knott (5%). No caso de comparação de três médias, como nas análises de serapilheira, foi utilizado o teste de comparação de médias Bonferroni (5%). No caso do não atendimento dos pressupostos exigidos pela análise de variância, utilizou-se o teste não paramétrico Kruskal-Wallis. A análise de regressão foi utilizada para avaliar a correlação entre o incremento de C e N do solo.

## 5.3 Resultados & Discussão

### 5.3.1 Densidade do solo

Para uma melhor caracterização do solo da área, e facilitação na interpretação dos resultados de estoque de C, os resultados de densidade do solo e granulometria estão mostrados na Tabela 8. De uma maneira geral, pode-se dizer que os solos apresentam textura média, segundo o diagrama triangular do manual de descrição e coleta de solo no campo (Santos et al., 2005).

**Tabela 8.** Densidade e granulometria do solo das seis áreas estudadas localizadas no município de Bom Jardim, RJ.

Áreas	Profundidade	Densidade	areia	silte	argila
	-----cm-----	--Mg m <sup>-3</sup> --	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
Pousio 5 anos	0-5	1,22	642	178	180
	5-10	1,25	598	189	213
	10-20	1,29	571	182	247
	20-30	1,38	527	200	273
	30-40	1,46	548	172	280
	40-60	1,42	533	167	300
Pousio 18 anos	0-5	0,99	416	351	233
	5-10	1,16	428	305	267
	10-20	1,22	435	258	307
	20-30	1,30	453	240	307
	30-40	1,29	470	223	307
	40-60	1,45	482	211	307
Pousio 33 anos	0-5	1,16	565	215	220
	5-10	1,35	568	199	233
	10-20	1,42	564	223	213
	20-30	1,52	563	210	227
	30-40	1,40	601	199	200
	40-60	1,41	607	193	200
Cultivo de 1 ano	0-5	1,34	602	211	187
	5-10	1,37	586	214	200
	10-20	1,58	598	195	207
	20-30	1,70	602	191	207
	30-40	1,76	616	184	200
	40-60	1,83	602	185	213
Cultivo de 3 anos	0-5	1,20	551	242	207
	5-10	1,33	548	239	213
	10-20	1,29	539	228	233
	20-30	1,32	549	218	233
	30-40	1,40	538	242	220
	40-60	1,62	581	172	247
Bananal de 18 anos	0-5	1,39	531	229	240
	5-10	1,49	538	209	253
	10-20	1,42	556	191	253
	20-30	1,54	634	133	233
	30-40	1,54	583	204	213
	40-60	1,51	564	203	233



### 5.3.2 Concentração e estoque de C e N do solo

A concentração de C só foi diferente entre as áreas na profundidade de 0-5 cm, o que se deve ao fato desta camada ser a mais susceptível às mudanças no manejo do solo (Tabela 9). Nesta camada, a concentração de C das áreas cultivadas foi menor do que as áreas em pousio há 18 e 33 anos em pousio e similar ao pousio de 5 anos. Essa ausência de diferença entre as concentrações de C das áreas sob pousio também foram observadas por Johnson et al. (2001).

Por outro lado, pode-se observar diferenças entre as áreas nas concentrações de N em, praticamente, todas as profundidades (Tabela 9). As concentrações de N foram maiores nas áreas há 5 e há 18 anos em pousio. Na profundidade de 0-5 cm, a área há 18 anos em pousio apresentou as maiores concentrações de N. Já nas profundidades seguintes, com exceção de 5-10 cm, os maiores valores observados foram nas áreas há 5 e 18 anos em pousio e há três anos cultivada.

**Tabela 9.** Teor de carbono, nitrogênio e relação C:N ao longo do perfil de 0-60 cm das áreas estudadas localizadas no município de Bom Jardim, RJ.

Profundidade (cm)	5 anos	Pousio 18 anos	33 anos	1º ano	Cultivo 3º ano	Bananal de 18 anos
C (g kg <sup>-1</sup> )						
0-5	25,8 c ± 3,2	47,6 a ± 5,5	33,1 b ± 4,6	14,9 c ± 3,3	18,2 c ± 2,4	20,3 c ± 6,2
5-10	21,5 ± 3,0	21,7 ± 2,2	21,0 ± 2,8	11,1 ± 1,5	14,6 ± 1,7	16,1 ± 3,6
10-20	17,9 ± 1,4	14,2 ± 2,1	13,6 ± 0,9	9,1 ± 1,4	11,7 ± 2,8	13,0 ± 1,8
20-30	12,4 ± 0,4	12,9 ± 1,4	8,7 ± 1,1	5,8 ± 2,0	10,9 ± 2,2	11,7 ± 1,4
30-40	11,4 ± 0,5	8,2 ± 1,5	6,8 ± 0,5	4,5 ± 0,9	8,0 ± 1,3	9,9 ± 0,9
40-6	9,1 ± 0,1	6,0 ± 0,6	7,0 ± 1,7	2,4 ± 0,3	5,8 ± 0,5	8,4 ± 1,9
N (g kg <sup>-1</sup> )						
0-5	2,3 b ± 0,2	3,5 a ± 0,3	2,0 b ± 0,1	1,7 b ± 0,2	1,8 b ± 0,2	1,6 b ± 0,5
5-10	2,0 ± 0,1	2,2 ± 0,3	1,4 ± 0,1	1,6 ± 0,3	1,6 ± 0,2	1,3 ± 0,4
10-20	1,9 a ± 0,1	1,7 a ± 0,1	1,2 b ± 0,2	1,1 b ± 0,1	1,5 a ± 0,2	1,2 b ± 0,2
20-30	1,8 a ± 0,2	1,4 a ± 0,1	0,9 b ± 0,2	0,8 b ± 0,1	1,5 a ± 0,2	1,1 b ± 0,1
30-40	1,4 a ± 0,1	1,0 a ± 0,1	0,8 b ± 0,2	0,6 b ± 0,1	1,0 a ± 0,2	1,0 a ± 0,1
40-60	1,5 a ± 0,2	0,7 b ± 0,0	0,6 b ± 0,1	0,4 b ± 0,0	0,8 b ± 0,1	1,0 b ± 0,2
C:N						
0-5	10 b ± 0,6	13 a ± 1,6	16 a ± 2,3	9 b ± 1,8	10 b ± 0,6	13 a ± 0,3
5-10	10 b ± 1,2	10 b ± 1,1	15 a ± 2,2	7 b ± 1,2	9 b ± 0,5	14 a ± 2,9
10-20	9 ± 0,1	8 ± 0,6	11 ± 2,8	8 ± 0,6	7 ± 0,9	11 ± 1,3
20-30	7 ± 1,2	9 ± 0,8	9 ± 3,4	7 ± 1,5	7 ± 0,8	10 ± 0,6
30-40	8 ± 0,6	8 ± 1,3	9 ± 3,3	7 ± 0,9	7 ± 0,5	9 ± 0,7
40-60	6 ± 1,0	8 ± 0,6	11 ± 2,5	6 ± 0,7	7 ± 0,6	8 ± 2,7

Em cada camada de solo, os valores seguidos da mesma letra, não diferem entre si segundo o teste Scott-Knott, p<0,05. ± = erro padrão da média.

A relação C:N se apresentou diferente somente nas camadas mais superficiais do solo. As áreas há 18 e 33 anos em pousio apresentaram os maiores valores de relação CN na camada de 0-5 cm e a área há 33 anos em pousio, os maiores na camada de 5-10 cm. Estes resultados são diferentes dos observados por Brown & Lugo (1990), os quais não observaram diferença na relação C:N, considerando áreas agrícolas e em processo secundário de sucessão com diferentes idades. Nenhuma diferença nesta relação foi observada no capítulo anterior, entre uma área desmatada, de floresta secundária e em recuperação. Entretanto, Ramakrishnan & Toky (1981) observaram maior relação C:N em uma área há 50 anos sob sucessão secundária, na camada de 0-7 cm, quando comparou áreas com diferentes idades de pousio.

Ao contrário dos resultados da concentração de C, os estoques de C foram diferentes entre as áreas (Tabela 10). Os menores estoques de C foram observados nas áreas cultivadas. O fato do C do solo diminuir somente nas áreas de cultivo talvez se deva à redução no aporte de matéria orgânica, que associada a adição de adubação nitrogenada, pode estar promovendo a mineralização da matéria orgânica presente no solo. Alvarez (2005) e Christopher & Lal (2007), em uma revisão, destacam a importância de se ter uma fonte de matéria orgânica ao se utilizar adubação nitrogenada, como forma de manter, ou mesmo, incrementar o estoque de C do solo.

Já os estoques de N foram similares entre os sítios estudados, com exceção da área há cinco anos em pousio, que apresentou maior estoque de N a 30 e 60 cm de profundidade (Tabela 10). Esta similaridade entre os estoques de N das áreas, com exceção do pousio de cinco anos, talvez se deva à adubação utilizada durante o período de cultivo, visto que esperar-se-ia uma redução destes estoques durante o período de cultivo, acompanhando a redução nos estoques de C (vide Figura 11).

**Tabela 10.** Estoque de carbono e nitrogênio do solo ao longo do perfil (0-60 cm) das áreas estudadas localizadas no município de Bom Jardim, RJ.

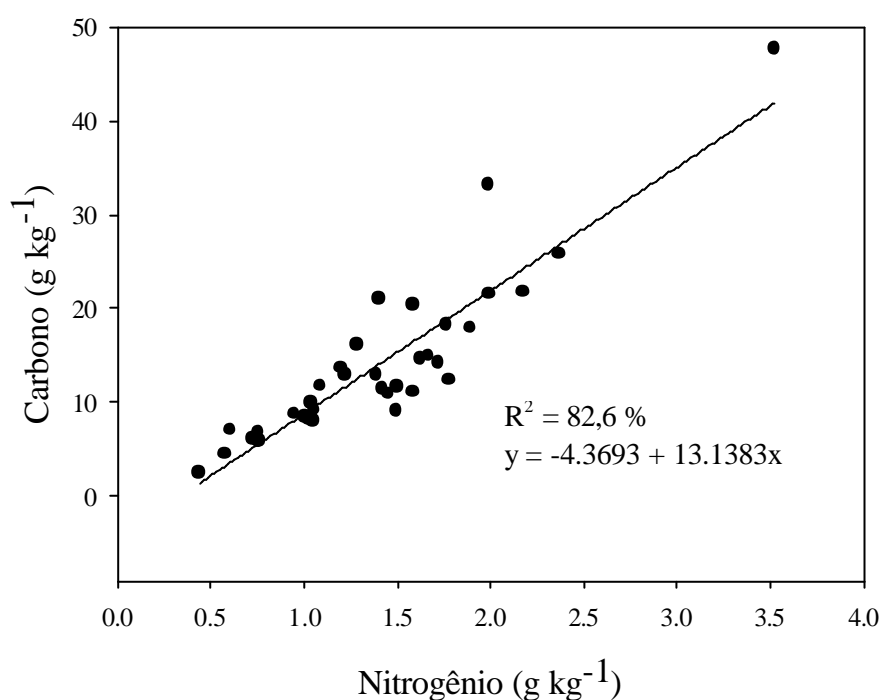
Profundidade (cm)	Pousio		33 anos	1º ano	Cultivo 3º ano	Bananal de 18 anos
	5 anos	18 anos				
Estoque de C (Mg ha <sup>-1</sup> )						
0-5	15,6 b ± 1,9	23,5 a ± 2,7	19,2 a ± 2,6	10,3 b ± 2,2	10,9 b ± 1,4	13,6 b ± 4,3
5-10	13,4 ± 1,9	11,6 ± 1,3	14,7 ± 1,9	8,2 ± 1,1	9,7 ± 1,1	11,0 ± 2,4
10-20	23,1 ± 1,8	17,3 ± 2,5	19,4 ± 1,3	12,9 ± 2,0	15,1 ± 3,5	20,4 ± 2,8
20-30	17,1 ± 0,6	16,8 ± 1,8	13,2 ± 1,6	8,9 ± 3,1	14,4 ± 2,9	19,9 ± 2,4
30-40	16,1 a ± 0,6	10,6 b ± 1,9	9,6 b ± 0,6	6,8 c ± 1,3	11,2 b ± 1,8	17,3 ± 1,5 a
40-60	28,2 a ± 0,5	21,4 a ± 1,9	19,8 a ± 4,7	6,2 b ± 0,8	18,3 a ± 1,5	17,1 a ± 3,8
0-30	69,4 a ± 4,6	70,3 a ± 6,4	66,0 a ± 4,2	40,4 b ± 4,9	50,2 b ± 7,4	65,0 a ± 10,6
0-60	113,8 a ± 4,7	102,4 a ± 9,5	95,6 a ± 7,6	53,6 b ± 5,9	79,8 b ± 10,8	99,5 a ± 13,9
Estoque de N (Mg ha <sup>-1</sup> )						
0-5	1,4 ± 0,1	1,7 ± 0,1	1,1 ± 0,0	1,1 ± 0,1	1,0 ± 0,0	1,0 ± 0,3
5-10	1,2 ± 0,0	1,2 ± 0,1	0,9 ± 0,1	1,1 ± 0,2	1,0 ± 0,1	0,8 ± 0,2
10-20	2,4 ± 0,1	2,0 ± 0,1	1,7 ± 0,2	1,4 ± 0,1	1,9 ± 0,2	1,9 ± 0,3
20-30	2,4 ± 0,3	1,8 ± 0,1	1,4 ± 0,3	1,1 ± 0,1	1,9 ± 0,2	1,8 ± 0,1
30-40	1,9 a ± 0,1	1,3 b ± 0,0	1,0 b ± 0,2	0,8 b ± 0,1	1,4 b ± 0,2	1,8 a ± 0,1
40-60	4,6 a ± 0,6	2,5 b ± 0,0	1,6 b ± 0,2	1,0 b ± 0,0	2,4 b ± 0,3	2,0 b ± 0,3
0-30	8,4 ± 0,6	6,9 ± 0,5	5,2 ± 0,7	4,9 ± 0,5	5,9 ± 0,6	5,7 ± 1,1
0-60	14,2 a ± 1,3	10,7 b ± 0,6	7,9 b ± 1,1	6,9 b ± 0,6	9,9 b ± 1,2	9,5 b ± 1,1

Em cada camada de solo, os valores seguidos da mesma letra, não diferem entre si segundo o Scott-Knott,  $p < 0,05$ . () erro padrão da média..

Diferentes resultados vêm sendo observados em áreas de pousio no que se refere à velocidade de incorporação de C e N ao longo tempo. O restabelecimento mais rápido dos estoques de N do que os de C já foram relatados em outros trabalhos como os de Brown & Lugo (1990) e Walker & Desanker (2004), o que no caso de pousios inseridos no contexto agrícola leva a um questionamento quanto ao período de pousio mais indicado quando considerados estes dois elementos. Mas este comportamento nem sempre é uma regra. Ramakrishnan & Toky (1981), em um estudo desenvolvido na Índia, observaram um ligeiro aumento dos estoques de C e N em áreas com até 10 anos de pousio (estabelecidas sobre Latossolo), seguido de uma pequena diminuição após este período. Contrariamente, Wadsworth et al. (1990) observaram uma queda nos níveis de C do solo durante os 10 primeiros anos de pousio, quando a partir de então se verificou o aumento na medida em que o tempo de pousio aumentava (até 50 anos), em áreas localizadas no México, sobre

Argissolos. Johnson et al. (2001), por outro lado, observaram um aumento crescente nos estoques de C e N ao longo de um gradiente de idade de floresta secundária em direção a uma área referência de mata clímax na Amazônia. Como se pode notar, não existe um consenso, uma vez que a incorporação destes nutrientes é influenciada pela vegetação, classe de solo, relevo, material de origem (Anjos et al., 1999), uso pretérito (Tilman, 1985; Vitousek et al. 1989; Davidson et al., 2004), e teor inicial de C no solo (Christopher & Lal, 2007).

A Figura 11 mostra a importância da presença de nitrogênio para o aumento dos níveis de matéria orgânica no solo, como já relatado na literatura (Christopher & Lal, 2007). Cabe destacar que as freqüentes adubações com NPK realizadas pelo agricultor durante o período de cultivo, não foram capazes de manter os níveis de matéria orgânica no solo, o que mostra a importância do pousio para aumentar a matéria orgânica do solo. De acordo com Christopher & Lal (2007), em áreas agrícolas nas regiões temperadas, áridas e tropicais da América do Norte, foi observado um aumento dos níveis de matéria orgânica associado ao uso de adubação nitrogenada. Entretanto, essa capacidade da adubação nitrogenada em aumentar o estoque de C do solo depende da quantidade de resíduos vegetais depositados sobre o solo como fonte de C para os organismos (Christopher & Lal, 2007).



**Figura 11.** Análise de regressão entre os teores de carbono e nitrogênio observados em Bom Jardim, RJ. (n = 36 ; P <0.0001).

### 5.3.3 Fração leve livre e leve oclusa da matéria orgânica do solo

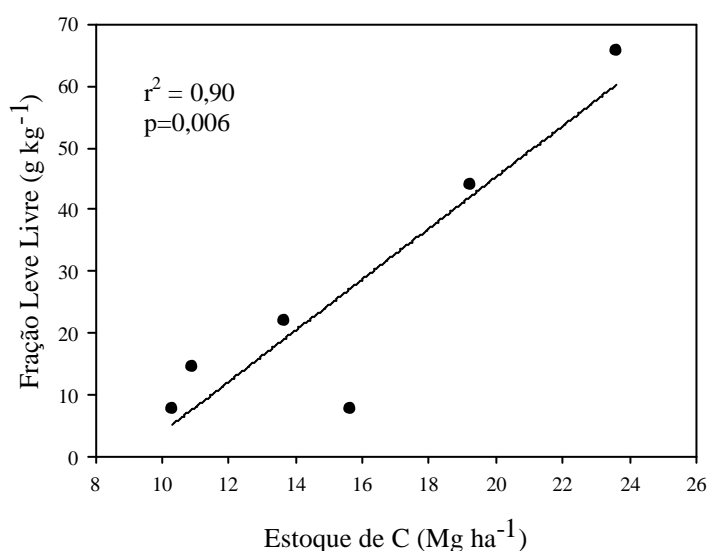
As concentrações de fração leve livre e leve oclusa da matéria orgânica do solo não foram significativamente diferentes entre as áreas (Tabela 11). Tal fato provavelmente se deve à variação dos resultados obtidos, produto da heterogeneidade espacial das áreas florestais, indicando a necessidade de se utilizar um maior número de repetições nestes estudos. Nestas análises, altos coeficientes foram observados (e.g. 85%). No entanto, pode-se dizer que esta variabilidade dos resultados, em parte, é inerente à metodologia.

**Tabela 11.** Fração leve livre e fração leve oclusa ao longo de um perfil de 0-30 cm das áreas estudadas localizadas no município de em Bom Jardim, RJ.

Profundidade	5 anos	Pousio 18 anos	33 anos	1º ano	Cultivo 3º ano	Bananal de 18 anos
cm	Fração leve livre (g kg <sup>-1</sup> )					
0-5 <sup>a</sup>	7,9 ± 4,3	65,5 ± 31,1	44,0 ± 13,9	14,4 ± 4,4	7,6 ± 1,6	21,9 ± 10,0
5-10 <sup>a</sup>	3,5 ± 2,2	20,0 ± 7,6	11,1 ± 2,8	29,8 ± 20,8	2,9 ± 0,5	8,1 ± 2,2
10-20	3,6 ± 0,8	10,3 ± 3,6	5,9 ± 2,6	5,0 ± 3,1	3,6 ± 0,8	5,1 ± 1,5
20-30 <sup>b</sup>	2,7 ± 0,9	7,5 ± 1,6	6,0 ± 3,8	2,2 ± 1,3	1,6 ±	2,7 ± 0,3
cm	Fração leve oclusa (g kg <sup>-1</sup> )					
0-5 <sup>a</sup>	0,8 ± 0,4	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	1,8 ± 1,5	0,4 ± 0,2	0,4 ± 0,1
5-10	0,5 ± 0,0	0,5 ± 0,2	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,2	0,3 ± 0,1
10-20	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,4	0,1 ± 0,0	0,2 ± 0,0
20-30	0,9 ± 0,5	0,5 ± 0,4	0,2 ± 0,1	0,0 ± 0,0	0,1 ± 0,1	0,2 ± 0,1

± = erro padrão da média. <sup>a</sup> = dados transformados para Ln (x+1). <sup>b</sup> = dados transformados para Raiz (x).

Pode-se observar uma tendência no aumento da concentração de fração leve livre durante o período de pousio, especialmente, na camada de 0-5 cm. Os resultados de fração leve livre, aparentemente, corroboram com os resultados de concentração e estoque de C desta camada, onde os maiores valores foram observados no pousio de 18 anos e os menores nas áreas há cinco anos em pousio, três e um ano sob cultivo. Inclusive, na Figura 12, pode-se notar que estes atributos encontram-se correlacionados significativamente (Figura 12) quando avaliados através das médias, devido à variação dos dados individuais. Também é possível que a menor quantidade de fração leve livre encontrada em superfície se deva aos maiores teores de N, que favorecem a mineralização dessa fração da matéria orgânica uma vez que há reduzido aporte de resíduos vegetais sobre o solo.



**Figura 12.** Correlação das médias do Estoque de C e da fração leve livre da matéria orgânica do solo das áreas na camada de 0-5 cm de profundidade.

### 5.3.4 Estoque de serapilheira

O estoque de serapilheira sobre o solo e seus respectivos compartimentos coletados no período chuvoso (verão) e no período seco (inverno) (Tabela 12) se manteve constante ao longo do ano, exceto para folhas no pousio de 18 e 33 anos, provavelmente reflexo do calor bem distribuído ao longo do ano com pouco ou nenhum déficit hídrico (FAPERJ, 1980, citado por Reis, 2002).

Não houve diferença entre os estoques de serapilheira entre os pousios (5, 18 e 33 anos; Tabela 12). Oliveira et al. (1995), estudando áreas em diferentes estádios de sucessão (3, 10, 25, 50 e 150 anos) na Ilha Grande, no estado do Rio de Janeiro, também não observaram diferenças entre os estoques de serapilheira das áreas. Estes resultados indicam que este é rapidamente restabelecido durante o processo de sucessão. O compartimento folhas foi o único que diferiu entre as áreas, onde o menor estoque de folha da serapilheira foi encontrado no pousio de cinco anos e o maior no de 33 anos (Tabela 12). Dos compartimentos avaliados, o que mais contribuiu para o estoque total foi o refugo (Tabela 12), que por sua vez, é reflexo da decomposição da serapilheira.

**Tabela 12.** Estoque de serapilheira e distribuição entre seus componentes nas estações chuvosa e seca em áreas agrícolas com diferentes períodos de pousio, no município de Bom Jardim, RJ.

Pousio	Folhas <sup>a</sup>		Galhos		Refugo		Total	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	seca	Chuvosa	Seca
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----							
5 anos	92 Ba	108 a	2617	2265	2928	3852	5637	6225
18 anos	758 Aa	46 b	2291	3032	4565	3686	7614	6764
33 anos	1572 Aa	93 b	2295	2266	3388	3991	7256	6350
CV (%)	12,42		35,53		41,84		30,75	

Letras maiúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença entre áreas em uma mesma época segundo o teste t de Bonferroni  $p < 0,05$ . Letras minúsculas diferentes, na mesma linha, indicam diferença entre épocas em uma mesma área segundo o teste t de Bonferroni  $P < 0,05$ . <sup>a</sup> = dados transformados para (ln).

Os valores de estoque total da serapilheira nos pousios foram menores do que em áreas florestais e agroflorestais na Amazônia (11,9 – 24,7 Mg ha<sup>-1</sup>; Martius et al., 2004) e próximos, aos encontrados em um sistema agroflorestal estabelecido há 10 anos sobre uma área degradada, no município de Viçosa, MG (8,7 Mg ha<sup>-1</sup>; Arato et al., 2003); e ligeiramente maiores do que o observado em uma área de floresta estacional decidual (6,7 Mg ha<sup>-1</sup>; Cunha et al., 1993) e em diversos estádios sucessionais na Ilha Grande (5,0 Mg ha<sup>-1</sup>; Oliveira et al., 1995). No entanto, as variações nos resultados encontrados por diversos autores, dificultam a comparação entre áreas, e se deve ao fato do aporte e do estoque de serapilheira variarem não só em função da idade, mas também em função do solo, clima, composição, idade da comunidade vegetal (Ewel, 1976; Martius et al., 2004).

Os estoques de nutrientes, de uma maneira geral, foram similares entre as áreas (Tabela 13). Estes resultados são corroborados pelos observados por Oliveira et al. (1995), que não encontraram diferença entre os estoques de nutriente da serapilheira provenientes de áreas em diferentes estádios de sucessão. No entanto, foram observados maiores estoques totais de P e o menor de Mg no pousio de 5 anos. Este maior estoque de P na serapilheira do pousio de 5 anos possivelmente se deve a maior quantidade de P presente no solo na época em que o solo cultivado foi convertido em pousio, e a sua menor retenção pela biomassa quando comparado com os pousios mais velhos. Foi observado maior conteúdo de Ca, Mg e N no compartimento folhas, nos pousios mais antigos, de 18 e 33 anos. Szott & Palm (1996), estudando florestas secundárias com diferentes idades, observaram que o conteúdo de Ca e Mg aumentavam na biomassa vegetal na medida em que o processo sucessional

avançava, enquanto que a disponibilidade destes no solo diminuía. Contudo, este padrão não ficou claro no presente estudo.

A redução no estoque de P na serapilheira com o aumento do período de pousio se deve, provavelmente, à redução na disponibilidade deste elemento no solo, ao mesmo tempo em que vai sendo imobilizado pela biomassa vegetal (Szott & Palm, 1996). O fato do estoque de K ter sido baixo é reflexo da sua mobilidade que permite que este seja rapidamente lixiviado da serapilheira para o solo, onde foi encontrado em maiores concentrações (Vide 4.3.5). Entretanto, a contribuição da serapilheira durante o período de cultivo poderia ser maior se durante o processo de conversão da área de pousio em cultivo, o material vegetal sobre o solo não fosse queimado. Estudos sugerem perdas significativas de Ca, Mg, K, P e, principalmente, de nitrogênio e enxofre (Resende et al., 2004), através de processos de volatilização, lixiviação e por vento.

**Tabela 13.** Estoque de nutrientes na serapilheira e em seus diferentes compartimentos na estação chuvosa e seca, nas áreas estudadas no município de Bom Jardim, RJ.

Área	Folhas		Galhos		Refugo		Total	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
<b>Ca (kg ha<sup>-1</sup>)</b>								
Pousio de 5 anos	2,8B	2,4	47,6	30,3	62,4	78,1	112,0	112,9
Pousio de 18 anos	11,7Ba	0,9b	33,6	34,8	76,8	48,2	122,2	83,8
Pousio de 33 anos	23,7Aa	1,1b	31,3	22,6	51,9	42,9	106,9	66,5
CV (%)	75		41		36		29	
<b>Mg (kg ha<sup>-1</sup>)</b>								
Pousio de 5 anos	0,1B	0,2	4,8	2,6B	7,8B	8,5	12,8B	11,3
Pousio de 18 anos	2,6Aa	0,1b	6,2	6,7A	19,5A	11,5	28,4Aa	18,3b
Pousio de 33 anos	4,7A	0,2	4,7	3,1B	9,6B	8,2	19AB	11,6
CV (%)	*		33		42		32	
<b>P (kg ha<sup>-1</sup>)</b>								
Pousio de 5 anos	0,1	0,1	1,5	1,1	3,4Aa	5,4Aa	5,2A	6,7A
Pousio de 18 anos	0,2a	0,0b	0,3	1,0	2,3ABa	1,6Ba	2,9AB	2,6B
Pousio de 33 anos	0,4a	0,0b	0,3	1,2	1,3Ba	1,8Ba	2,1B	3,0B
CV (%)	*		72		35		34	
<b>K (kg ha<sup>-1</sup>)</b>								
Pousio de 5 anos	0,7B	0,4A	4,9	5,0AB	8,1	14,3	13,9	19,8
Pousio de 18 anos	1,1AB	0,1A	3,1b	7,6Aa	15,6	11,1	19,9	18,9
Pousio de 33 anos	4,3A	0,4A	3,2	2,2B	8,6	8,9	16,9	11,9
CV (%)	*		63		53		50	
<b>N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>								
Pousio de 5 anos	1,4B	2,3	31,2	30,1	41,0	75,0	73,7	107,4
Pousio de 18 anos	11,0Ba	0,9b	25,4	34,6	83,8	76,0	120,3	110,6
Pousio de 33 anos	22,0Aa	1,7b	20,4	17,6	47,2	60,6	89,7	79,9
CV (%)	83		47		40		33	

Letras maiúsculas diferentes, na coluna, indicam diferença entre áreas em uma mesma época segundo o teste t de Bonferroni  $p < 0,05$ . Letras minúsculas diferentes, na linha, indicam diferença entre épocas em uma mesma área segundo o teste t de Bonferroni  $P < 0,05$ . \* teste não paramétrico Kruskal-wallis

### 5.3.5 Fertilidade do solo

Houve um aumento no pH do solo na medida em que se aumentou o tempo de cultivo, e uma redução na medida em que aumentou o período de pousio (Tabela 14), conseqüência da calagem realizada nas áreas em cultivo. Por outro lado, o teor de alumínio aumentou com o tempo de pousio e reduziu com o de cultivo (Tabela 14). Tal fato se deve ao consumo das bases pela vegetação secundária, que promove um aumento relativo da disponibilidade de Al. Nesse sentido, destacam-se as menores concentrações de Ca e Mg do

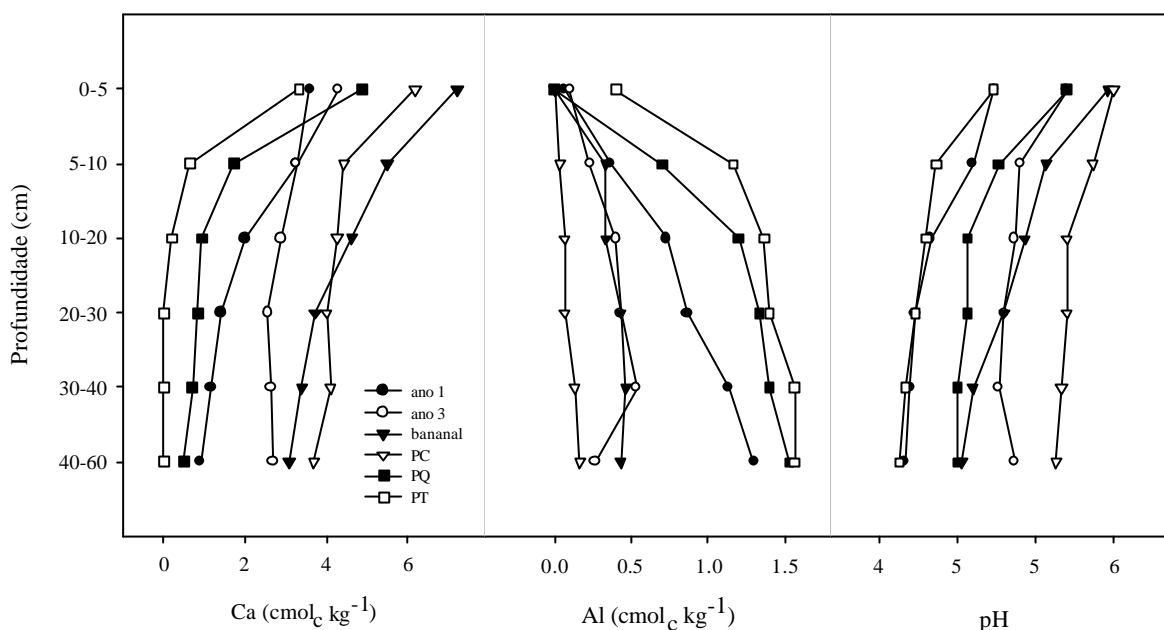
solo observadas nos pousios de 18 e 33 anos (Tabela 14 e 15). Essa redução na disponibilidade, especialmente de Ca, nos horizontes mais superficiais se deve a sua absorção e fixação pela comunidade vegetal conforme observado por Szott & Palm (1996) e Feldspaush et al. (2001).

**Tabela 14.** Fertilidade do solo ao longo do perfil (0-60 cm) nos seis tratamentos avaliados na área de agricultura migratória localizada no município, de Bom Jardim, RJ.

Profundidade	Pousio			Cultivo		
	5 anos	18 anos	33 anos	1º ano	3º ano	Bananal
cm	pH em água					
0-5	6,0 a	5,7 a	5,2 b	5,2 b	5,7 a	6,0 a
5-10	5,9	5,3	4,9	5,1	5,4	5,6
10-20	5,7	5,1	4,8	4,8	5,4	5,4
20-30	5,7 a	5,0 b	4,7 b	4,7 b	5,3 a	5,3 a
30-40	5,7 a	5,0 c	4,7 d	4,7 d	5,2 b	5,1 c
40-60	5,6 a	5,0 b	4,6 c	4,6 c	5,3 a	5,0 b
Profundidade	Pousio			Cultivo		
	5 anos	18 anos	33 anos	1º ano	3º ano	Bananal
cm	Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					
0-5	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1	0,0
5-10	0,0	0,7	1,2	0,4	0,2	0,3
10-20	0,1 b	1,2 a	1,4 a	0,7 b	0,4 b	0,3 b
20-30 <sup>a</sup>	0,1 b	1,3 a	1,4 a	0,9 a	0,4 b	0,4 b
30-40	0,1 b	1,4 a	1,5 a	1,1 a	0,5 b	0,4 b
40-60 <sup>b</sup>	0,2 b	1,5 a	1,6 a	1,3 a	0,3 b	0,4 b
Profundidade	Pousio			Cultivo		
	5 anos	18 anos	33 anos	1º ano	3º ano	Bananal
cm	Ca+Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					
0-5	7,6	7,1	4,8	4,6	5,4	9,0
5-10	6,1	3,3	1,5	4,3	4,4	6,9
10-20	5,6	2,5	0,8	3,1	3,8	5,5
20-30	5,0 a	1,6 b	0,6 b	2,1 b	3,5 a	4,7 a
30-40	5,0 a	1,4 b	0,5 b	1,8 b	3,3 a	4,3 a
40-60 <sup>b</sup>	2,1 a	1,06	0,73 b	1,2	1,8	1,9
Profundidade	Pousio			Cultivo		
	5 anos	18 anos	33 anos	1º ano	3º ano	Bananal
cm	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					
0-5	6,2	4,9	3,3	3,6	4,3	7,2
5-10	4,4	1,7	0,6	3,3	3,3	5,5
10-20	4,3 a	0,9 b	0,2 b	2,0 b	2,9 a	4,6 a
20-30	4,0 a	0,8 b	0,0 b	1,4 b	2,5 a	3,7 a
30-40	4,1 a	0,7 b	0,0 b	1,1 b	2,6 a	3,4 a
40-60	3,7 a	0,5 b	0,0 b	0,9 b	2,7 a	3,1 a

Valores seguidos da mesma letra, na linha, não diferem entre si segundo o Scott-Knott  $p < 0,05$ . ns = não significativo. <sup>a</sup>= dados transformados por Ln (x+1). <sup>b</sup>= análise não paramétrica Kruskal-Wallis.

Um outro ponto interessante foi o aumento do valor de pH e da concentração de Ca em profundidade (Figura 13), também observado por Sanchez et al. (1983), tendo como consequência a redução da disponibilidade de Al nesta região (Figura 13), o que pode favorecer o desenvolvimento de culturas com o sistema radicular mais profundo (Sanchez et al., 1983).



**Figura 13.** Teor de Ca (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), Al (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) e pH (H<sub>2</sub>O) ao longo do perfil nas seis áreas estudadas no município de Bom Jardim, RJ. (ano 1 = cultivo de um ano; ano 3 = cultivo de três anos; Bananal = plantação de bananas com 18 anos; PC = pousio de cinco anos; PQ = pousio de quinze anos; PT = pousio de trinta anos)

A quantidade de Ca presente no solo da área em pousio há cinco anos (Tabela 14 e Figura 13) se deve ao efeito residual da calagem realizada pelo agricultor durante o período de cultivo, também observado por Reis (2002), na mesma área. Nesse sentido, considerando o pH, a concentração de Al e Ca, seria interessante empregar o uso de pousios de cinco anos de idade uma vez que se observa que nos pousios mais antigos, este elemento tende a diminuir no solo e a se concentrar na biomassa, que quando cortada e queimada perderá grande parte deste elemento através retirada de troncos para lenha e do processo de lixiviação e ação do vento. Cabe destacar que há uma redução dos teores de Ca na área no primeiro ano de cultivo em relação ao pousio de cinco anos (Tabela 14 e Figura 13). Esta maior diferença se deu nas profundidades maiores do que 10 cm, o que se deve a redução da sua entrada o solo via serapilheira associada à queima (que reduz em torno de 35% o estoque deste nutriente; Resende et al., 2006b), que poderia estar diminuindo a concentração de Ca nas camadas mais superficiais.

Não houve diferença entre os teores de Mg, P e K das áreas (Tabela 15). Apesar dos teores de P não terem sido diferentes, cabe destacar que os pousios de 18 e 33 anos apresentaram os menores teores até a profundidade de 20 cm, enquanto que os teores observados no pousio de cinco anos nesta profundidade, encontram-se próximos aos das áreas sob cultivo. Estes resultados de P corroboram com a idéia de que o período de pousio mais indicado quando se visa a fertilidade do solo é o de cinco anos. De acordo com Szott & Palm (1996), Johnson et al. (2001) e Feldpaush et al. (2004) essa diminuição dos teores de P no solo se dá através da sua imobilização pela biomassa vegetal durante o desenvolvimento da comunidade, que geralmente tem grande parte removida para limpeza do terreno.

A disponibilidade de K não variou entre as áreas. As concentrações observadas variaram de média a muito alta, principalmente nos primeiros centímetros do solo. Cabe



destacar que apesar deste ser um elemento muito móvel, a sua concentração pareceu se manter estável no tempo, independentemente do manejo. É provável que, além das adubações freqüentes durante o período de cultivo, esta disponibilidade esteja relacionada com o K proveniente do intemperismo do solo. Estudos em outras áreas indicam que após a queima, a disponibilidade de K no solo aumenta por um curto período, retornando a níveis mais baixos logo em seguida (Sanchez et al., 1983; Diez et al., 1991). De acordo com Resende et al. (2006), que estimaram as perdas de nutrientes da serapilheira quando queimadas, 63% do K da serapilheira se perde após a queima.

**Tabela 15.** Fertilidade do solo ao longo do perfil (0-60 cm) nos seis tratamentos avaliados na área de agricultura migratória localizada no município, de Bom Jardim, RJ.

Profundidade	5 anos	Pousio 18 anos	33 anos	1º ano	Cultivo 3º ano	Bananal de 18 anos
cm	Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					
0-5	1,4	2,2	1,5	1,0	1,1	1,8
5-10	1,6	1,6	0,6	1,1	1,1	1,4
10-20	1,3	1,2	0,2	1,1	0,9	0,9
20-30	1,0 a	0,6 b	0,0 b	0,7 b	0,9 a	0,9 a
30-40*	0,9 a	0,6 a	0,0 b	0,7 a	0,9 a	0,9 a
40-60	0,9	0,4	0,0	0,4	0,6	0,7

Profundidade	5 anos	Pousio 18 anos	33 anos	1º ano	Cultivo 3º ano	Bananal de 18 anos
cm	P (mg dm <sup>-3</sup> )					
0-5	32	7	4	56	33	37
5-10	21	4	3	38	13	18
10-20	15	3	2	16	13	16
20-30	7	2	1	7	5	7
30-40	3	2	1	2	3	5
40-60	2 b	1 b	1 b	1 b	1 b	4 a

Profundidade	5 anos	Pousio 18 anos	33 anos	1º ano	Cultivo 3º ano	Bananal de 18 anos
cm	K (mg dm <sup>-3</sup> )					
0-5	195	212	178	153	168	165
5-10	158	113	139	106	88	73
10-20	123	71	88	92	108	62
20-30	104	56	38	71	69	64
30-40	78	40	33	53	50	53
40-60	61	24	26	53	32	38

Valores seguidos da mesma letra, na linha, não diferem entre si segundo o teste Scott-Knott  $p < 0,05$ . ns = não significativo. \* = dados transformados por  $\ln(x+1)$ .

## 5.4 Conclusões

Considerando a fertilidade do solo, incluindo o nitrogênio, e o estoque de C, o período de pousio mais indicado é de cinco anos. Não foi possível observar diferenças significativas entre as concentrações de fração leve livre e leve oclusa das áreas, provavelmente, devido à variabilidade dos dados. No entanto, puderam-se observar maiores concentrações de fração leve livre no pousio de 18 e 33 anos na camada de 0 a 5 cm, correlacionando-se, inclusive, com o teor e o estoque de C do solo desta camada. O estoque de serapilheira e de nutrientes não diferiram entre as áreas, nem entre as épocas, com exceção do P que foi maior e do K, que foi menor no pousio de 5 anos. Dos compartimentos da serapilheira, o de folhas aumentou com o tempo de pousio, e o refugo se mostrou o mais representativo dos três (folhas, galhos e refugo).

Houve um efeito residual da calagem realizada pelo agricultor no pousio de cinco anos, o que permite o seu reaproveitamento na conversão deste em área produtiva. Este efeito residual da calagem pode ser observado, principalmente, nas camadas mais profundas do solo. Também se pôde observar um efeito residual da adubação fosfatada neste pousio, apesar de não se ter detectado diferença significativa entre as áreas. Estes efeitos residuais da adubação no pousio de cinco anos sugerem que, dentre os três pousios, este seria o mais indicado para este sistema de agricultura itinerante estudado.

## 6. CONCLUSÕES GERAIS

O uso de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas foi capaz de incrementar os estoques de C e N no solo, a concentração de fração leve livre da matéria orgânica, e o estoque de serapilheira, indicando a sua eficiência em restabelecer a ciclagem de nutrientes do sistema.

Dentre as duas frações da matéria orgânica avaliadas, a fração leve livre foi a que foi restabelecida mais rapidamente nas áreas, de modo que pode ser considerada como um indicador precoce do aumento ou diminuição dos níveis de matéria orgânica no solo.

O incremento de C no solo das áreas em recuperação mostraram que a recuperação de áreas degradadas pode ser utilizada como coadjuvante na mitigação dos problemas relacionados ao efeito estufa.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estoque de serapilheira foi rapidamente restabelecido em todas as áreas, incluindo a área há cinco anos em pousio. No entanto, nem sempre maiores estoques de serapilheira irão refletir em um maior estoque de C, visto que o acúmulo de serapilheira pode estar indicando uma baixa taxa de decomposição e incorporação desta, ao solo.

O uso de leguminosas noduladas e micorrizadas foi capaz de incrementar os estoques de C e N do solo. Esta contribuição seria ainda maior se fosse considerada a biomassa acumulada no tronco e nas raízes das árvores. No entanto, alguns dos poucos estudos em plantios de leguminosas observaram altas taxas de emissão de óxido nitroso nestas áreas, um potente gás de efeito estufa. Nesse sentido, um estudo em uma concepção mais ampla, avaliando a relação fonte-dreno de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O é importante, no que se refere ao entendimento do papel da recuperação de áreas degradadas na mitigação do efeito estufa.

Por outro lado, o potencial da recuperação de áreas degradadas com leguminosas em incrementar o estoque de C do solo irá contribuir na tomada de decisões, visto que as estimativas realizadas pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas Globais (IPCC) ainda se baseia em estudos realizados pelos países desenvolvidos, não refletindo, em essência, a realidade brasileira. Nesse sentido, mais estudos sobre o papel da recuperação de áreas degradadas nos países em desenvolvimento em diferentes condições edafoclimáticas são necessários para se obter estimativas mais precisas e um melhor entendimento de como esta pode contribuir na mitigação do efeito estufa em nível de território brasileiro e mundial.

No entanto, para que estes estudos de C sejam precisos, é necessário que sejam realizados sob condições edáficas semelhantes, visto que solos de classes diferentes possuem dinâmicas distintas. Uma forma de se avaliar a consistência dos resultados de incorporação de C e N do solo, é avaliar a relação C:N do incremento anual destes elementos no solo. A partir dessa premissa pôde-se constatar que no capítulo II houve algumas inconsistências no que se refere a escolha da área referência, e assim, nos resultados de incorporação anual de C e N ao solo, o que mostra como é imprescindível se conhecer a classe de solo de forma mais aprofundada, para uma melhor compreensão dos resultados, visto que solos de classes diferentes possuem uma dinâmica de nutrientes e água bastante distintas.

Os resultados de fertilidade do solo sugerem que estes ecossistemas têm como principal fonte de nutrientes, a serapilheira depositada. Por outro lado, é possível que microrganismos estejam envolvidos na disponibilização de nutrientes, aparentemente, pouco disponíveis, como os microrganismos solubilizadores de fosfato, na disponibilidade do fósforo. Nesse sentido, mais estudos são necessários.

Na área de agricultura itinerante, em Bom Jardim, seria interessante avaliar áreas com períodos de pousio entre três e 18 anos, para verificar se haveria um período mais adequado de pousio do que o de cinco anos. Além disso, para se poder falar de forma mais precisa sobre o impacto do manejo da agricultura itinerante utilizado em Bom Jardim, seria interessante utilizar os resultados desta tese como tempo zero para, a partir de então, avaliar as modificações nos atributos do solo com o manejo, considerando que existe variação entre as condições edáficas da área.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISCOT, T.M. Entropy and sustainability. *European Journal of Soil Science*, 46: 161-168, 1992.
- AERTS, R. Climate, leaf chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos*, 79: 449-449, 1997.
- ALVAREZ, R. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management* 21: 38-52, 2005.
- ALVES, B.J.R.; SANTOS, J.F.C. dos; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Métodos de determinação de nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M; ARAUJO, R.S., (Ed). *Manual de métodos empregados em estudo de microbiologia agrícola*. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. P.449-509. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 46).
- ANDRADE, G.A. Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para a revegetação de solos degradados e estabilização de encostas. Tese de Doutorado UFRRJ. 2000
- ANJOS, L.H.C.; PAREIRA, M.G.; RAMOS, D.P. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, 1999.p 91-118.
- ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S., 2003. Produção de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em viçosa, MG. *Revista Árvore*, 27 (5): 715-721.
- BALIEIRO, F.B. Dinâmica de nutrientes e da água em plantios puros e consorciado de *Pseudosamanea guachapele* Harm (Kunth) e *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. Tese de Doutorado, UFRRJ, 2002. 122p.
- BALIEIRO, F.C., FRANCO, A.A., PEREIRA, M.G., CAMPELLO, E.F.C., DIAS, L.E., FARIA, S.M., ALVES, B.J.R.. Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39: 597-601, 2004
- BASHKIN, M.A. & BINKLEY, D. Changes in soil carbon flowing afforestation in Hawaii. *Ecology*, 79(3): 828-833, 1998.
- BATJES, N.H. Organic carbon stocks in the soils of Brazil. *Soil Use and Management* 21: 22-24, 2005.
- BAYER, C., MARTIN-NETO, L., MIELNICZUK, J., PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa. Agropecuária Brasileira*, 39: 677-683, 2004.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da material orgânica. In: SANTOS, G.A. AND CAMARGO, F.A.O. (Eds.), *Fundamentos da matéria orgânica: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Genesis Press, Porto Alegre, RS, Brazil, pp.9-26. 1999
- BELLAMY, P.H., LOVELAND, P.J., BRADLEY, R.I., MURRAY LARK, R., KIRK, G.J.D. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978 – 2003. *Nature*, 437: 245-248, 2005.

- BODDEY, R.M., JANTALIA, C.P., MACEDO, M.O., OLIVEIRA, O.C., RESENDE, A.S., ALVES, B.J.R., URQUIAGA, S. Potential of carbon sequestration in soils of the Atlantic Forest region of Brazil. In: LAL, R., CERRI, C.C., BERNOUX, M., ETCHEVERS, J., CERRI, E. (Eds.), Carbon sequestration in soils of American Latin. Food Products Press, New York, pp. 305-319. 2006
- BOERGER, M.R.T., WISNIEWSKI, C., REISSMANN, C.B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de floresta ombrófila densa no sul do Brasil. *Acta Botânica Brasiliensis*, 19: 167-181, 2005
- BRAGA, J.M., DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica do fósforo em extrato de solo e planta. *Revista Ceres*, 21: 73-85, 1974.
- BREMER, E., ELLERT, B.H., JANZEN, H.H. Total and light fraction carbon dynamics during four decades after cropping changes. *Soil Science of American Journal*, 59: 1398-1403, 1995.
- BROWN, S. & LUGO, A.E. Effects of clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and U.S. Virgin Islands. *Plant and Soil*, 124: 53-64, 1990.
- BROWN, S., LUGO, A.E. Tropical forest as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management*, 54: 239-255, 1992.
- BUDOWSKI, G. Distribution of tropical American rain forest species in light of successional process. *Turrialba* 15(1): 408, 1965.
- CADISH, G.; IMHOF, H.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; GILLER, K.E. Carbon turnover ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen mineralization potential of particulate light soil organic matter after rainforest clearing. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(12): 1555-1567, 1996.
- CADISH, G.; MUTUO, P.; MERCADO, A.; HAIRIAH, K.; NYAMUGAFATA, P.; BOYE, A.; ALBRECHT, A. Organic matter management in tropical agroforest systems: soil quality, soil C storage and soil atmosphere exchange. Ed. GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; FREITAS, M.S.M.; VIANA, A.P.; JASMIN, J.M.; MARCIANO, C.R.; CARNEIRO, J.G.A. In: *Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável*. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. p 275-290. 2006.
- CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A.; GUERRA, J.G.M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, 1999.p 27-40.
- CAMPELLO, E.F.C.; SILVA, G.T.A.; NÓBREGA, P.O.; VIEIRA, A.L.M.; FRANCO, A.A.A.; RESENDE, A.S. Implantação e Manejo de SAF's na Mata Atlântica: a experiência da Embrapa Agrobiologia. Ed. GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; FREITAS, M.S.M.; VIANA, A.P.; JASMIN, J.M.; MARCIANO, C.R.; CARNEIRO, J.G.A. In: *Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável*. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. p 33-42. 2006.
- CHADA, S.S. Sucessão vegetal em uma encosta florestada com leguminosas arbóreas em Angra dos Reis - RJ. Tese de mestrado, UFRRJ, 2001. 105p.
- COSTA, G.S.; FRANCO, A.A.; DAMASCENO, R.N.; FARIA, S.M. Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 28: 919-927, 2004.
- COSTA, G.S. Ciclagem de nutrientes em uma área degradada revegetada com leguminosas arbóreas e em um fragmento florestal em crescimento secundário. Mestrado (geociências). Niterói. 87p. 1998.

COSTA, P. Recuperação de áreas degradadas e restauração florestal em Roraima, iniciativas promissoras. site: [www.cpafrf.embrapa.br](http://www.cpafrf.embrapa.br). acessado em julho de 2007.

CRASWELL, E.T., LEFROY, R.D.B. The role and function of organic matter in tropical soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61: 7-18, 2001

CRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advanced in Soil Science*, vol 20, 1-90, 1992.

CHRISTENSEN, B.T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tjele: DIAS. 2000. 95p. (DIAS Report. Plant Production. 30).

CHRISTOPHER, S.F.; LAL, R. Nitrogen Management affects carbon sequestration in north American cropland soils. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 26: 45-64, 2007.

CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação do cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23: 425-432, 1999.

CUNHA, G.C.; GRENDENE, L.A.; DURLO, M.A.; BRESSAN, D.A. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da decomposição da serapilheira. *Ciência Florestal*, 3(1): 35-64, 1993.

DAVIDSON, E.A., CARVALHO, C.J.R., VIEIRA, I.C.G., FIGUEIREDO, R.O., MOUTINHO, P., ISHIDA, R.Y., SANTOS, M.T.P., GUERRERO, J.B., KALIF, K., SABÁ, R.T., Nitrogen and phosphorus limitation of biomass growth in a tropical secondary forest. *Ecological Applications*, 14 (supplement): 150-163, 2004.

DIEZ, J.A.; POLO, A.; CERRI, C.C.; ANDREUX, F. Influência do pousio e da pastagem sobre a dinâmica de nutrientes em oxissolos recentemente desflorestados na Amazônia Oriental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 26: 77-83, 1991.

DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 505-517, 2004.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Centro nacional de pesquisa de solos, Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EWEL, J.J., 1976. Litterfall and leaf decomposition in a tropical Forest succession in eastern Guatemala. *J. Ecol.* 64, 293-308.

FARIA, S.M., 1995. Occurrence and rhizobial selection for legumes adapted to acid soils. In: *Nitrogen Fixing Trees for Acid Soils. Nitrogen Fixing tree research reports. Special Issue.* 295-300.

FARIA, S.M., LIMA, H.C., FRANCO, A.A., SPRENT, J.I., 1987. Nodulation legumes from the southeast of Brazil. *Plant Soil* 99, 347-356.

FARIA, S.M., FRANCO, A.A., JESUS, R.M., BAITILO, J., MENANDRO, M.S., MUCCI, E.S.F., DOBEREINER, J., SPRENT, J.F., 1984. New nodulation legumes from the southeast of Brazil. *Phytopatologist* 98, 317-326.

FELDPAUSCH, T.R., RONDON, M.A., FERNANDES, E.C., RIHA, S.J., WANDELL, E., 2004. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazônia. *Ecol. Applic.* 14, S164-S176.

- FRANCIS, R. & READ, D.J. The contributions of mycorrhizal fungi to the determination of plant community structure. *Plant and Soil*, 159: 11-25, 1994.
- FRANCO, A.A. & FARIA, S.M. DE. The contribution of N<sub>2</sub>-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(5/6), 897-903, 1997.
- FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; SILVA, E.M.R.; FARIA, S.M. de. Revegetação dos solos degradados. Comunicado técnico No. 9, 9p. EMBRAPA-CNPAB, Rio de Janeiro, 1992.
- FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; SILVA, E.M.R.; FARIA, S.M. de. Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida do solo: um modelo tecnológico. *Ecologia Brasiliensis*, UFRJ, Rio de Janeiro, 616p.
- FREIBAUER, A.; ROUNSEVELL, M.D.A.; SMITH, P.; VERHAGEN, J. Carbon sequestration in the agricultural soil of Europe. *Geoderma*, 122: 1-23, 2004.
- FREIXO, A.A., MACHADO, P.L.O.A., GUIMARÃES, C.M., SILVA, C.A., FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 26, 425-434, 2002.
- GIARDINA, C.P.; SANFORD, R.L.; DOCKERMITH, I.C.; JARAMILLO, V.J. The effects of slash burning on ecosystems nutrients during the land preparation phase of shifting cultivation. *Plant and Soil*, 220: 247-260, 2000.
- GLEASON, S.K., TILMAN, D., 1990. Allocation and transient dynamics of succession on poor soils. *Ecology* 71, 1144-1155.
- GUARIGUATA, M.R., OSTERTAG, R. Neotropical secondary Forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 148, 185-206, 2001.
- GUGGENBERGER, G., ZECH, W. Soil organic matter under primary forest. pasture. and secondary forest succession. Región Huetar Norte. Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 124, 93-104, 1999.
- HANDAYATO, E., CADISH, G., GILLER, K.E. Manipulation of quality and mineralization of tropical legume tree pruning by varying nitrogen supply. *Plant and Soil* 176, 149-160, 1995.
- HASSINK, J. & WHITMORE, A.P. A model of the physical protection of organic matter in soils. *Soil Science of American Journal*, 61: 131-139, 1997.
- HASSINK, J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil*, 191: 77-87, 1997.
- HOLL, K.D. Factors limiting tropical rains forest regeneration in abandoned pasture: seed rain. seed germination. microclimate and soil. *Biotropica* 31, 229-242, 1999.
- HUGUES, R.F., KAUFFMAN, J.B., CUMMINGS, D.L. Dynamics of aboveground and soil carbon and nitrogen stocks and cycling of available nitrogen along a land-use gradient in Rondônia. Brazil. *Ecosystems* 5, 244-259, 2002
- HUGUES, R.F., KAUFFMAN, J.B., JARAMILLO, V.J. Biomass, Carbon, and nutrient dynamics of secondary forest in a humid tropical region of Mexico. *Ecology* 80, 1892-1905, 1999.



KEPPLER, F., HAMILTON, J.T.G., BRASS, M., ROCKMANN, T. Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. *Nature* 439, 187-191, 2006.

LAL, R. Agricultural activities and the global carbon cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70, 103-116, 2004.

LANDI, M.P.M.; DUBOIS, J.C. Aspectos econômicos da agricultura migratória na comunidade rural de Barra Alegre – Bom Jardim, RJ. Ed. SILVA, A.S.; CAMPELLO, E.F.C. In: Seminário sobre agricultura migratória na região serrana do Rio de Janeiro. *Cadernos de Ecologia, Série especial*, 2004. p 22-31.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A.; GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 821-832, 2003.

LUGO, A.E. & SANCHÉZ, M.J. Land use and organic carbon content of some subtropical soils. *Plant and Soil*, 96: 185-196, 1986.

MACEDO, R.O., 2003. Impacto da introdução das leguminosas *Arachis pintoi* e *Stylosanthes guianensis* na Ciclagem de Nitrogênio em Pastagens de *Brachiaria decumbens* no Cerrado. Tese de Doutorado em Agronomia (PhD Thesis) - Ciência do solo. UFRRJ, Seropédica, 112 p.

MACEDO, M.O., Campello, E.F.C., Andrade, A.G., Faria, S.M. de, 2006. Establishment of legume trees on heaps of blast furnace slag. *Floresta Ambiente* 13, 20–25.

MADDOCK, J.E.L., SANTOS M.B.P. DE & PRATA K.R. Nitrous oxide emission from soil of the Mata Atlântica, Rio de Janeiro state, Brazil. *Journal of Geophysical Research* 106: 23055-23060, 2001.

MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23: 257-263, 1999.

MARTIUS, C., HÖFER, H., GARCIA, M.V.B., RÖMBKE, J., HANAGARTH, W. Litterfall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforest sites in central Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 68, 137-154, 2004.

MELILLO, J.M.; ABER, J.D.; MURATORE, J.F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*, 63(3): 621-626, 1982.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A. AND CAMARGO, F.A.O. (Eds.), *Fundamentos da matéria orgânica: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Genesis Press, Porto Alegre, RS, Brazil, pp.1-8. 1999.

MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. *Geoderma*, 70: 63-81, 1996.

MONTAGNINI, F.; JORDAN, C.F. *Tropical Forest Ecology: The basis for conservation and Management*. Springer. Netherlands. 295p. 2005.

MONTEIRO, E.M.S., 1990. Resposta de Leguminosas arbóreas à inoculação com rizóbio e fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em solo ácido. Tese de Doutorado em Agronomia (*PhD Thesis*) – Ciência do solo. UFRRJ. Seropédica. 221p.

- MORAES, J.F.L.; CERRI, C.C.; MELILO, J.M.; KICKLIGHTER, D.; NEILL, C.; SKOLE, D.L.; STEUDLER, P.A. Soil carbon stocks of Brazilian Amazon basin. *Soil Science Society of American Journal*, 59: 244-247, 1995.
- MUTO, P.K.; CADISH, G.; ALBRECHT, A.; PALM, C.A.; VERCHOT, L. Potential of agroforest for carbon concentration and mitigation of greenhouse gas emissions from soil in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71: 43-54, 2005.
- NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties – Agronomy Monograph No 9. Ed., 2o Ed. 539-579, 1982.*
- NEPSTAD, D.C., UHL, C., SERRÃO, E.A.S., 1991. Recuperation of degraded amazonian landscape: Forest recovery and agricultural restoration. *Ambio* 20, 248-255.
- NEPSTAD, D.C.; CARVALHO, C.R.; DAVIDSON, E.A.; JIPP, P.H.; LEFEBVRE, P.A.; NEGREIROS, G.H.; SILVA, E.D.; STONE, T.A.; TRUMBORE, S.E.; VIEIRA, S. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature* 372: 666-669, 1994.
- ODUM, E.P. The strategy of ecosystem development. *Science* 164(3877): 262-270, 1969.
- OLIVEIRA, R.R.; LIMA, D.F.; SAMPAIO, P.D.; SILVA, R.F.; TOFFOLI, D.G. Roça caçara, um sistema “primitivo” auto-sustentável. *Ciência hoje*, 18(104) 44-51, 1995.
- OLSON, J.S. Energy storage and balance decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44: 322-331, 1963.
- PAUL, E.A.; MORRIS, S.J.; SIX, J.; PAUSTIAN, K.; GREGORICH, G.O. Interpretation of soil carbon and nitrogen dynamics in agricultural and afforested soils. *Soil Science Society of American Journal*, 67: 1620-1629, 2003.
- PEREIRA, M.G., 1996. Formas de Fe, Al e Mn como Índices de Pedogênese e Adsorção de Fósforo em Solos do Estado do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado em Agronomia– Ciência do Solo. UFRRJ. Seropédica. 239p.
- PREGITZER, K.S. & EUSKIRCHEN, E.S. Carbon cycle and storage in world forest: biome patterns related to forest age. *Global Change Biology*, 10: 2052-2077, 2004.
- RAMAKRISHNAN, P.S.; TOKY, O.P. Soil nutrients status of hill agro-ecosystems and recovery pattern after slash and burn agriculture (jhum) in north eastern India. *Plant and Soil*, 60: 41-64, 1981.
- RAMOS, D.P.; CASTRO, A.F.; CAMARGO, M.N. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 8:1-27, 1973.
- RAVE, J.; FRANCO, A.A.; JESUS, E.L.; JACOB NETO, J. H<sup>+</sup> extrusion and organic acid synthesis N<sub>2</sub> fixing symbiosis involving vascular plants. *New Phytologist* 114: 369-389, 1990.
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. *Biologia Vegetal*. 6a edição. Guanabara Koogan. 906p. 2001.
- READ, L., LAWRENCE, D. Litter nutrient dynamics during succession in dry tropical forest of the Yucatan: Regional and seasonal effects. *Ecosystems* 6, 747-761, 2003.
- REIS, L.L. Sistema de agricultura migratória na região do estado do Rio de Janeiro: avaliação de indicadores de sustentabilidade. Tese de mestrado, UFRRJ, 2002. 128p.

- RESENDE, A.S.; CAMPELLO, E.F.C.; SILVA, G.T.A.; FRANCO, A.A. Avaliação do estoque de nutrientes nas cinzas e na serapilheira em um sistema de agricultura migratória. Ed. SILVA, A.S.; CAMPELLO, E.F.C. In: Seminário sobre agricultura migratória na região serrana do Rio de Janeiro. Cadernos de Ecologia, Série especial, 2004. p 80-92.
- RESENDE, A.S.; MACEDO, M.O.; CAMPELLO, E.F.C.; FRANCO, A.A. Recuperação de Áreas Degradadas através da Reengenharia Ecológica. Ed. Vozes. In: Dimensões Humanas de Biodiversidade, , p 315-340, 2006.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Embrapa Dourados, 2002. 88p.
- SANCHEZ, P.A.; VILLACHICA, J.H.; BANDY, D.E. Soil fertility after clearing a tropical rainforest in Peru. *Soil Science of American Journal*, 47: 1171-1178, 1983.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5ª ed. Revista e ampliada. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 92 p.
- SEGNINI, A.; SILVA, W.T.L.; SANTOS, L.M.; MILORI, D.M.B.P.; MARTIN-NETO, L. Determinação de carbono e matéria orgânica em Latossolos por diferentes métodos. VI Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas. Rio de Janeiro, 16-18 de novembro de 2005. 168-170, 2005.
- SILVA, G.T.A.; RESENDE, A.S.; CAMPELLO, E.F.C.; DIAS, P.F.; FRANCO, A.A. Importância da fixação biológica de nitrogênio na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. Ed. GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; FREITAS, M.S.M.; VIANA, A.P.; JASMIN, J.M.; MARCIANO, C.R.; CARNEIRO, J.G.A. In: Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. p 257-274. 2006a.
- SILVA, G.T.A.; MATOS, L.V.; NÓBREGA, P.O.; CAMPELLO, E.F.C.; RESENDE, A.S.; Chemical composition and decomposition rate of plants used as green manure. *Scientia Agricola*, 65: 3, 298 – 305p. 2008.
- SILVER, W.L., OSTERTAG, R., LUGO, A.E.. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. *Restoration Ecology* 8, 394-407, 2000.
- SISTI, C. P. J., SANTOS, H. P., KOHHANN, R., ALVES, B. J. R., URQUIAGA, S., BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 76, 39-58, 2004.
- SIX, J., CONANT, R.T., PAUL, E.A., PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241, 155-176 , 2002b.
- SIX, J., FELLER, C., DENEFF, K., OGLE, S.M., MORAES-SÁ, J.C., ALBRECHT, A. Soil organic matter. biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of no-tillage. *Agronomie* 22, 755-775, 2002a.
- SIX, J.; ELLIOT, E.T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 2099-2103, 2000.
- SOHI, S.P., MAHIEU, N., ARAH, J.R.M., POWLSON, D.S., MADARI, B., GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Science Society of American Journal* 65, 1121-1128, 2001.

- SNEDAKER, S.C. Sucessional immobilization of nutrients and biologically mediated recycling in tropical forest. 16-22, 1980.
- SZOTT, L.T.; PALM, C.A. Nutrient stocks in managed and natural humid tropical fallows. *Plant and Soil*, 186: 293-309, 1996.
- SZOTT, L.T.; PALM, C.A.; BURESH, R.J. Ecosystems fertility and fallow function in the humid and subhumid tropics. *Agroforestry Systems*, 47: 163-196, 1999.
- TERRASTAT 2000. [www.fao.org/ag/agl/agll/terrastat/](http://www.fao.org/ag/agl/agll/terrastat/) (20/11/2006)
- TIESSEN, H., CUEVAS E., CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature* 371, 783-785, 1994.
- TILMAN, D., 1985. The resource-ratio hypothesis of plant succession. *Am. Nat.* 125, 439-464.
- VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soil after deforestation. *Soil Science Society of American Journal*, 58: 175-180, 1994.
- VERCHOT, L.V.; DAVIDSON, E.A.; CATTÂNIO, J.H.; ACKERMAN, I.L. Land use change and biogeochemical controls of methane fluxes in soil eastern Amazonia. *Ecosystems* 3:41-56 2000.
- VITAL, A.R.T., GUERRINI, T.A., FRANKEN, W.K., FONSECA, R.C.B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. *Rev. Árvore* 28, 793-800, 2004.
- VITOUSEK, P.M., 1984. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65, 285-298, 1984.
- VITOUSEK, P.M., MATSON, P.A., CLEVE, K.V. Nitrogen availability and nitrification during succession: primary. Secondary and old field series. *Plant and Soil* 115, 229-239, 1989.
- VITTORELLO, V.A.; CERRI, C.C.; ADREUX, F.; FELLER, C.; VICTÓRIA, R.L. Organic Matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated Oxisols. *Soil Science Society American Journal*, 53: 773-778, 1989.
- ZHOU, G.; LIU, S.; ZHANG, D.; TANG, X.; ZHOU, C.; YAN, J.; MO, J. Old-growth forest can accumulate carbon in soils. *Science* 314: 1417, 2006.
- WADSWORTH, G.; REISENAUER, H.M. GORDON, D.R.; SINGER, M.J. Effects of length of forest fallow on fertility dynamics in a Mexican Ultisol. *Plant and Soil*, 122: 151-156, 1990.
- WALKER, S.M.; DESANKER, P.V. The impact of land use on soil carbon in Miombo woodlands of Malawi. *Forest Ecology and Management*, 203: 345-360, 2004.
- WHITTAKER, R.H., 1975. *Communities and ecosystems*. MacMillan Press, New York, New York, USA.