



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU



MESTRADO

ENGENHARIA AMBIENTAL E CIVIL

ANA CECILIA ARROYO SANTOS

**TEORES DE CARBONO E NITROGÊNIO DOS SOLOS DE
DUAS MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS COM
DIFERENTES USOS DA TERRA NO MUNICÍPIO DE
IBIÚNA-SP.**

Bauru/SP

2012



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU



***TEORES DE CARBONO E NITROGÊNIO DOS SOLOS DE
DUAS MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS COM
DIFERENTES USOS DA TERRA NO MUNICÍPIO DE
IBIÚNA-SP.***

ANA CECILIA ARROYO SANTOS

Dissertação apresentada ao PPG
Engenharia Civil e Ambiental, da Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", com
parte dos pré-requisitos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva.

Apoio Financeiro: CAPES.

Bauru/SP

2012



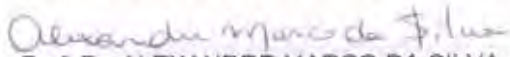
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU

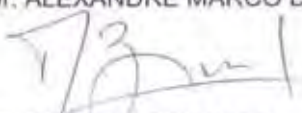


ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE ANA CECILIA ARROYO SANTOS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 23 dias do mês de fevereiro do ano de 2012, às 09:00 horas, no(a) SALA DE VIDEOCONFERÊNCIA - UNESP SOROCABA, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA do(a) Departamento de Engenharia Ambiental - Câmpus Experimental de Sorocaba - UNESP, Prof. Dr. MICHEL BROSSARD do(a) Laboratoire Du Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie Des Sols / Institut de Recherche Pour Le Développement - France, Prof. Dr. CLAYTON ALCARDE ALVARES do(a) Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais / IPEF Piracicaba, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de ANA CECILIA ARROYO SANTOS, intitulada "MUDANÇAS NA COBERTURA DA TERRA E IMPLICAÇÕES NOS TEORES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS, MUNICÍPIO DE IBIÚNA-SP". Após a exposição, a discente foi argüida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA


Prof. Dr. MICHEL BROSSARD


Prof. Dr. CLAYTON ALCARDE ALVARES

Santos, Ana Cecília Arroyo.

Teores de carbono e nitrogênio dos solos de duas microbacias hidrográficas com diferentes usos da terra no município de Ibiúna-SP / Ana Cecília Arroyo Santos, 2012

74 f.

Orientador: Alexandre Marco da Silva

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2012

DEDICO E OFEREÇO

Aos mesmos a quem dedico minha VIDA:

Aos membros da minha família, por todo o apoio e coisas que fazem por mim, pelo carinho e amor eterno e por garantirem a minha sobrevivência.

A Leandro Delfín Arroyo, mi padre, que considera la educación como la mayor herencia de un hijo, por el tiempo de alfabetizarme y de despertar en mí el gusto constante de aprender.

A Luz Santos de Arroyo, mi madre, mujer inigualable, guerrera e fuerte, que desde temprana edad, me enseñó a luchar por mis sueños y priorizar mis estudios, así como aprender como vivir.

AGRADECIMENTOS

Ao bondoso Deus, que colocou cada uma destas pessoas no caminho de nossa vida, e que todos os dias nos presenteia com novos aprendizados e saberes que fazem de nós pessoas melhores, minha gratidão.

À Republica Federativa do Brasil, por me dar a oportunidade de estudar em seu território, e a gente que amavelmente ajudou-me com sua paciência em me entender.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio Filho Mesquita”, Campus Experimental de Sorocaba, juntamente com seus professores, pela formação acadêmica e pela oportunidade de ensino e pesquisa.

Agradeço à CAPES, pela concessão da bolsa que viabilizou a execução do projeto e a elaboração desta dissertação.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva, pela orientação, paciência, apoio e dedicação durante estes 2 anos de trabalho.

Ao Prof. Sandro Mancini Donnini, pelo apoio econômico, sem o qual não haveria suporte prático nos análises das amostras deste trabalho e de muitos outros mais.

À Karen Castelli pela ajuda na revisão da Língua Portuguesa, e por sua amizade sincera.

À Talita Monteiro e Anahí Sobral, por me permitir compartilhar momentos juntas no desenvolvimento das análises e por sua amizade.

TEORES DE CARBONO E NITROGÊNIO DOS SOLOS DE DUAS MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS COM DIFERENTES USOS DA TERRA NO MUNICÍPIO DE IBÍUNA-SP.

Candidata: Ana Cecilia Arroyo Santos.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva.

RESUMO. Estudar a qualidade do solo é um instrumento que apóia o conhecimento das consequências causadas do uso dos solos, dando suporte à tomada de decisões no planejamento do desenvolvimento futuro das regiões. O objetivo deste estudo foi determinar os teores de carbono (C) e nitrogênio (N), assim como dos isótopos $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de áreas com diferentes usos do solo. A área de estudo está localizada em Ibiúna – SP e compreende duas microbacias: do Rio Paiol e do Rio Sorocabuçu. São áreas que registram atividade agrícola, tanto agricultura convencional (Sorocabuçu) como a agricultura orgânica (Paiol). Usando 100 amostras de solo, previamente coletadas em áreas com diferentes tipos de cobertura (Vegetação Natural Remanescente (VNR), pastagem, reflorestamento, agricultura), foram medidos os teores de C e N e a relação isotópica $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ e $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$, no laboratório do CENA-USP. No laboratório da UNESP, do Campus Sorocaba, quantificou-se o C lábil através da oxidação por Dicromato de Potássio. Os maiores teores de C e N nas duas bacias ocorreram para a classe VNR. Para as outras classes de cobertura, a ordem de concentração, em termos decrescentes, tanto para o C como o N foi: reflorestamento > pastagem > agricultura, para ambas as microbacias. Os dados de $\delta^{13}\text{C}$ indicaram valores médios de -26,22‰ e -26,95‰, respectivamente para as microbacias Sorocabuçu e Paiol. Os dados sobre $\delta^{15}\text{N}$ mostram maiores valores, em ambas as bacias, para solos manejados para agricultura ou silvicultura (8,25‰ para a microbacia Paiol e 8,75‰ para microbacia Sorocabuçu) em relação aos solos cobertos com VNR (6,50‰ e 6,21‰ respectivamente, para as microbacias Paiol e Sorocabuçu). O C lábil apresentou valores maiores para VNR, com 1,65% e 2,00% para as microbacias Paiol e Sorocabuçu respectivamente, em comparação com os valores obtidos para os outros usos do solo, destacando-se a atividade de pastagem nas duas microbacias. Houve distinção significativa entre as classes de cobertura para ambas as microbacias para quase todas as variáveis estudadas, com exceção da variável estoque de C. Por outro lado, os resultados mostraram que não houve distinção clara em os métodos de agricultura (convencional e orgânico).

PALAVRAS-CHAVE: C e N do solo, isótopos $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, estoque de C, C lábil no solo.

LEVELS OF CARBON AND NITROGEN IN SOILS FROM TWO WATERSHEDS WITH DISTINCTS LAND USES AT IBIUNA-SP.

Candidate: Ana Cecilia Arroyo Santos.

Advisor: Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva.

ABSTRACT. Studying the soil quality is a tool that helps the knowledge concerning the consequences of the land cover change over the soil. This supports the decisions making for many regions. The goal of this research was to determine the levels of carbon (C) and nitrogen (N), as well as, the concentration of the isotopes $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of soils from areas with different land cover classes. The study area is located in Ibiuna – SP and encompasses two watersheds: Paiol and Sorocabuçu. In such watersheds occurs the agriculture, conventional (Paiol) and organic (Sorocabuçu). Using 100 previously collected soil samples from areas covered with Natural Remnant Vegetation (NRV), pasture, reforesting or agriculture, we measured the concentration of C and N, as well as the isotopic signature ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$), in laboratory of the CENA-USP. In the Unesp laboratory, we determined the C lability, through the oxidation by Potassium Dichromate. The highest C and N concentration for both watersheds were to the VNR. For other land cover classes, the C and N concentration followed the decreasing sorting, for the two watersheds: reforestation > pasture > agriculture. $\delta^{13}\text{C}$ values ranged from -26.22‰ and -26.95‰, respectively, for the Sorocabuçu and Paiol waterheds. $\delta^{15}\text{N}$ isotopes showed greatest values, in both waterhsed, for soils managed for agriculture or reforestation (8.25‰ for the Paiol and 8.75‰ for Sorocabuçu) in relation to land covered with NRV (6.50‰ and 6.21‰ respectively, for Sorocabuçu and Paiol). The labile C presented greatest values for VNR class, with 1.65% and 2.00% for Paiol and Sorocabuçu watersheds, respectively, compared with those obtained for other land uses, especially pasture in the two waterheds. We identified statistically significant difference among the land cover classes for both watersheds for almost all studied variables, with exception to C stock. On the other hand, the results showed that there was not clear distinction among the agricultural methods (conventional and organic).

KEY WORDS: Soil C and N, $\delta^{13}\text{C}$ $\delta^{15}\text{N}$ isotopes, C stock, Soil C labile.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Influência do uso e cobertura do solo de retro-alimentação (feedback) no processo cíclico existente entre os ecossistemas e os sistemas naturais e humanos.....	5
Figura 3.2. Modelo conceptual dos fatores que podem influenciar os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica do solo.....	16
Figura 3.3. Esquema generalizado descrevendo a transformação do N em sistemas relacionados com o solo. Principais passos de fraccionamento isotópico possíveis são indicados por as setas fechadas.....	17
Figura 4.1. Localização do município de Ibiúna no estado de São Paulo (centro) e das microbacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu.....	20
Figura 4.2. Mapa de solos do estado de São Paulo referente à região de Ibiuna –SP.....	22
Figura 4.3. Mapa da Cobertura do Solo na microbacia hidrográfica do rio Paiol.....	23
Figura 4.4. Mapa da Cobertura do Solo na microbacia hidrográfica do rio Sorocabuçu.....	24
Figura 4.5. Usos de Coberturas e seus respectivos porcentagens nas microbacias hidrográficas Paiol e Sorocabuçu.....	25
Figura 4.6. Distribuição dos pontos de amostragem nas microbacias hidrográficas Paiol e Sorocabuçu.....	27
Figura 5.1. Relação entre estoques e concentração de C na microbacia Paiol.....	38
Figura 5.2. Relação entre estoques de C e densidade aparente na microbacia Paiol.....	38
Figura 5.3. Relação entre estoques e concentração de C na microbacia Sorocabuçu.....	39
Figura 5.4. Relação entre estoques de C e densidade aparente na microbacia Sorocabuçu.....	39
Figura 5.5. Relação entre os teores de C e N para a Microbacia Paiol (esquerda) e para a Microbacia Sorocabuçu (direta).....	40
Figura 5.6. Box Plot dos valores de C lábil, com seus respectivos limites (superior e inferior) da microbacia Paiol.....	42
Figura 5.7. Box Plot dos valores de C lábil, com seus respectivos limites (superior e inferior) da microbacia Sorocabuçu.....	43

LISTAS DE TABELAS

Tabela 3.1. Abundância, razão isotópica e padrão aceito internacionalmente para os isótopos de C e N.....	15
Tabela 4.1. Valores de densidade aparente (em g.cm ⁻³) para os solos da microbacia do Paiol.....	30
Tabela 4.2. Valores de densidade aparente (em g.cm ⁻³) para os solos da microbacia do Sorocabuçu.....	30
Tabela 5.1. Valores médios do teor de C e respectivos coeficientes de variação (CV) no solo conforme o tipo de cobertura do solo. Todos em %.....	34
Tabela 5.2. Valores médios do teor de N e respectivos coeficientes de variação (CV) no solo conforme o tipo de cobertura do solo. Todos em %.....	34
Tabela 5.3. Valores médios dos estoques de C (em Mg de C ha ⁻¹) e respectivos coeficientes de variação (CV) em % no solo conforme a classe de cobertura do solo.....	36
Tabela 5.4. Valores médios da relação C/N e respectivos coeficientes de variação (CV em %) no solo conforme o tipo de cobertura do solo.....	41
Tabela 5.5. Valores médios do C lábil e respectivos coeficientes de variação (CV) no solo conforme o tipo de cobertura do solo. Todos os valores em %.....	41
Tabela 5.6. Índice de compartimento de carbono (ICC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC), na profundidade de 0-20 cm da Microbacia Paiol.....	43
Tabela 5.7. Índice de compartimento de carbono (ICC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC), na profundidade de 0-20 cm da Microbacia Sorocabuçu....	44
Tabela 5.8. Valores médios da composição isotópica do $\delta^{13}\text{C}$ (em %) e respectivos coeficientes de variação (CV em %) no solo conforme o tipo de cobertura do solo.....	45
Tabela 5.9. Valores médios da composição isotópica do $\delta^{15}\text{N}$ (em %) e respectivos coeficientes de variação (CV em %) no solo conforme o tipo de cobertura do solo.....	46
Tabela 5.10. Quantidades de C remanescente (%) conforme as classes de cobertura usando os valores da abundancia isotópica $\delta^{13}\text{C}$ para a microbacia Paiol.....	47
Tabela 5.11. Quantidades de C remanescente (%) conforme as classes de cobertura usando os valores da abundancia isotópica $\delta^{13}\text{C}$ para a microbacia Sorocabuçu.....	47

Tabela 5.12. Quantidades de C remanescente (%) dos diferentes usos dos solos usando os valores da abundancia isotópica $\delta^{15}\text{N}$	48
Tabela 5.13. Análise estatística de distintas variáveis na Microbacia Paiol.....	49
Tabela 5.14. Análise estatística de distintas variáveis na Microbacia Sorocabuçu.....	49
Tabela 5.15. Diferenças entre valores médios mostrados segundo as classes de cobertura.....	50
Tabela 5.16. Valores de t para diferentes Variáveis para as ambas Microbacias.....	51

SUMARIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
Lista de Figuras.....	iii
Lista de Tabelas.....	v
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Cobertura da terra.....	4
3.2. Matéria orgânica do solo.....	6
3.3. Carbono e nitrogênio nos solos.....	7
3.4. Relação entre C e N na Matéria orgânica do solo.....	10
3.5. Carbono Lábil.....	10
3.6 Índices de Manejo de Carbono (IMC).....	12
3.7. Isótopos estáveis de Carbono e Nitrogênio.....	13
3.8. Diluição isotópica do C e do N no solo.....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4.1. Localização e caracterização ambiental da área de estudo.....	20
4.1.1. Localização da área do estudo.....	20
4.1.2. Caracterização da área de estudo.....	21
4.2. Procedimentos de amostragem.....	26
4.3 Procedimentos analíticos.....	26
4.3.1 Procedimentos analíticos para os Teores de C e N determinação da assinatura isotópica.....	27
4.3.2. Procedimentos analíticos para determinação do C lábil.....	28
4.4. Estoques de Carbono.....	29
4.5. Análise Estatística.....	30
4.5.1. Teste de Kruskal-Wallis.....	31
4.5.2. Teste T de Student.....	32

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1. Teores de Carbono e Nitrogênio.....	33
5.2. Densidade aparente do solo e estoques de carbono.....	35
5.3. Relação entre teores de C e N.....	40
5.4. Carbono lábil.....	41
5.5. Índice de Manejo de Carbono (IMC).....	43
5.6 Isótopos de Carbono e Nitrogênio.....	44
5.7. Diluição Isotópica.....	46
5.8. Análise estatística.....	48
5.8.1. Teste de Kruskal-Wallis.....	48
5.8.2. Teste t de Student.....	50
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
8. ANEXOS A- Fotos.....	68

1. INTRODUÇÃO.

O solo é uma parte fundamental dos ecossistemas terrestres. Ele contém água e nutrientes que os seres vivos precisam para seu crescimento. Portanto, o solo é a base do desenvolvimento de todo o ecossistema.

É um componente crucial da biosfera. Seu papel ecológico na biosfera não é apenas atuar como parte do sistema agrícola, mas também agir na manutenção da qualidade ambiental, com efeitos em uma escala local, regional e planetária. Por sua vez, a matéria orgânica tem múltiplas funções no solo, especialmente sob condições de climas tropicais e subtropicais.

A substituição de áreas com vegetação natural por áreas com culturas agrícolas, vem levando a um desbalanço de carbono (C) no solo, bem como uma alteração na qualidade da matéria orgânica ali existente, caracterizando uma alteração ambiental notória (TRUMBORE, CZIMCZIK, 2008).

Um dos mais importantes papéis que desempenha a matéria orgânica é sobre a manutenção da estabilidade dos agregados do solo, melhoria da infiltração e de retenção de água. Atua também na melhoria da resistência do solo contra a erosão, aumenta a capacidade de troca catiônica e aeração do solo, favorecendo o desenvolvimento da biomassa microbiana (PRIMAVESI, 1987).

A quantidade e a qualidade da matéria orgânica em um solo coberto por vegetação nativa são aproximadamente constantes, mas são altamente sensíveis ao tipo e nível de manejo em um determinado solo. Devido a esta sensibilidade, o revolvimento dos solos produz uma redução expressiva na quantidade de matéria orgânica. Em consequência, diminui a agregação das partículas e também a capacidade de troca de cátions, promovendo uma perda na qualidade do solo (LOPES, 1994).

As fontes de C e nitrogênio (N) nesses ecossistemas foram analisadas através da variação da relação isotópica $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ e $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$, chamado, respectivamente, de enriquecimento isotópico relativo de C^{13} ($\delta^{13}\text{C}$) e N^{15} ($\delta^{15}\text{N}$). A relação da composição isotópica nas plantas é devida ao fracionamento isotópico que ocorre de acordo com algumas características fisiológicas das plantas, a limitação da difusão dos gases localizados dentro do tecido vegetal e a relação entre a pressão estomática interna e a pressão atmosférica (FARQUHAR *et al.*, 1989). Este método é

baseado na existência da mudança na composição isotópica do C do solo, quando a vegetação nativa constituída predominantemente por plantas de metabolismo C₃ é substituída por plantas C₄ (FERNANDES *et al.*, 2007).

O estoque de C no solo é considerado indicador de qualidade ambiental, porque está relacionado com o desempenho de muitas funções e processo sobre o solo. Correlaciona-se com propriedades físicas, químicas e biológicas (BERNOUX *et al.*, 1999).

No que se refere ao N, a entrada no sistema ocorre por meio da adubação e fixação biológica. Por sua vez, as perdas estão relacionadas a fenômenos de erosão, lixiviação, desnitrificação e remoção pelas colheitas, sendo primordial um balanço positivo de N no sistema para que haja acúmulo desse nutriente e, por conseguinte, de matéria orgânica (SISTI *et al.*, 2004; DIEKOW *et al.*, 2005).

A importância de estudar os estoques e isótopos de C e N nas microbacias em Ibiúna é um instrumento que subsidia o conhecimento de como a mudança de uso da terra nesse município está causando alterações ambientais e apóia a tomada de decisões no planejamento de desenvolvimento futuro da região.

2. OBJETIVOS.

2.1 OBJETIVO GERAL.

- Avaliar o efeito da mudança no uso e cobertura da terra sobre os teores de C e N, bem como na composição isotópica do $\delta^{13}\text{C}$ e do $\delta^{15}\text{N}$ em solos de duas microbacias hidrográficas localizadas em Ibiúna-SP.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Estimar os teores de C e N no horizonte superficial do solo (0- 20 cm) e a relação C/N de áreas com diferentes usos da terra no município de Ibiúna.
- Determinar o enriquecimento relativo (δ) dos isótopos estáveis de C e N, mediante análise da relação isotópica do solo sob pastagens, agricultura e florestas primárias.
- Determinar o C lábil e o Índice de Manejo de Carbono mediante processos analíticos e matemáticos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

O solo é formado por subsistemas abertos representados pelas plantas, microrganismos e matéria mineral e orgânica, os quais são relacionados e estão em constante troca de matéria e energia entre si. Os fatores que interferem nos subsistemas aumentam ou diminuem os fluxos de matéria e energia no solo, refletindo diretamente a quantidade de C orgânico estocada no solo e no nível de organização deste sistema (VEZZANI, 2001).

3.1. Cobertura da terra.

O aumento da população humana e a conversão dos habitats naturais em ambientes antropizados constituem, atualmente, as principais causas da perda de biodiversidade biológica, de funções ecológicas, bem como de alterações dos ciclos hidrológicos ao longo do planeta.

O conceito de cobertura de terra ou solo se refere ao tipo de elemento físico que é efetivamente observado sobre a superfície terrestre, podendo ser categorizado de acordo com o interesse e/ou tipologias de diversas áreas técnicas. Assim sendo, pode-se classificar tipos de vegetação (fitofisionomias ou formações fitoflorísticas), tipos de terreno (desertos, geleiras), tipos de corpos hídricos (lagos, rios), infra-estrutura (estradas, edificações), dentre outros (JONATHAN, 2005).

Em contraste, o conceito de uso da terra ou uso do solo propriamente dito faz referência à atividade humana ou função econômica desempenhada em cada região (LILLESAND, KIEFFER, 2000).

Doran, Parkin (1994) deram um conceito de qualidade do solo. Para estes autores, qualidade do solo constitui a capacidade de um solo poder funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, conseguindo sustentar a produtividade de plantas e de animais, mantendo ou aumentando a qualidade do ar e da água e promovendo a saúde das plantas, dos animais e do homem. Neste sentido, Doran, Zeiss (2000) identificaram a qualidade do solo como a base para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável e para a qualidade do ambiente.

A complexidade dos padrões de uso do solo surge da grande variabilidade dos fatores sócio-econômicos e da natureza diversa do meio biofísico que atuam como vetores condicionantes da dinâmica de ocupação e uso do solo. Por sua vez, a pressão sobre a base de

recursos naturais e as mudanças de estado, associada às alterações nos serviços ecossistêmicos, geram impactos tanto nos sistemas naturais como humanos. Esta situação gera um processo dinâmico de retroalimentação (*feedback*), com novas pressões de mudança de uso do solo (VITOUSEK *et al.*, 1997). O esquema da Figura 3.1 representa este modelo conceitual.

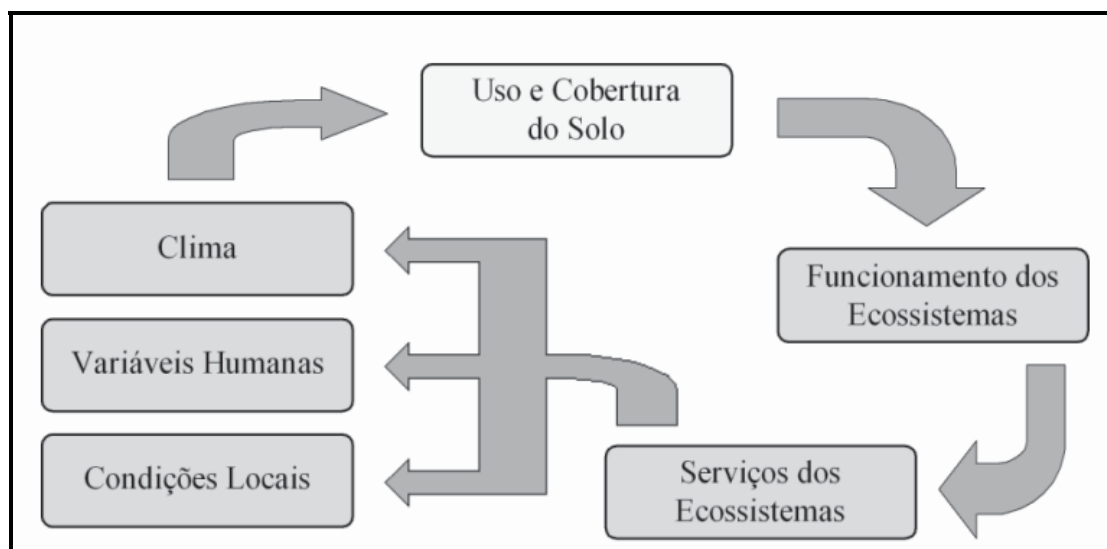


Figura 3.1. Influência do uso e cobertura da terra de retro-alimentação (*feedback*) no processo cíclico existente entre os ecossistemas e os sistemas naturais e humanos (JONATHAN, 2005).

Araújo, Goedert e Lacerda (2007) avaliaram a qualidade do solo em área de Cerrado nativo e em áreas sob diferentes usos. Foram amostradas camadas de Latossolo Vermelho-Amarelo sob quatro tipos de cobertura: pastagem natural, pastagem cultivada, cultivo convencional com culturas anuais e reflorestamento de *Pinus* sp. Analisaram as variáveis: densidade do solo, resistência mecânica à penetração, taxa de infiltração de água, teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, C total da biomassa microbiana e respiração basal. Os autores observaram relação estreita e inversa entre a qualidade do solo e a intensidade de uso a que as áreas foram submetidas. Estes resultados indicam a maior suscetibilidade à erosão em áreas de cultivo, pois os parâmetros porosidade, resistência mecânica à penetração, C orgânico e infiltração demonstram a baixa qualidade dos solos dessas áreas.

Cavenage *et al.* (1999) analisaram as alterações das propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Escuro, sob diferentes culturas e sua capacidade de recuperação. As amostras foram coletadas em solos sob cultivo de milho, plantações de *Pinus* sp., *Eucaliptus* sp., pastagem, mata

ciliar (10 anos após intervenções de recuperação) e cerrado (condição natural). Para todos os tipos de cobertura foram tomadas amostras em três profundidades (0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m), em áreas pertencentes à Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, localizada no município de Selvíria, MS. As variáveis estudadas nesse trabalho foram: macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, análise granulométrica e resistência à penetração. Os autores observaram alterações nas propriedades físicas do solo conforme os usos. As áreas com mata ciliar e reflorestamento com *Pinus* sp. foram as que mais se aproximaram das condições naturais. Porém, apresentaram compactação na camada superficial. As áreas apresentaram maior alteração na profundidade de 0,00-0,10 m, com exceção da área com milho. Desta forma, mostra-se, mais uma vez, a maior suscetibilidade da mudança da qualidade dos solos sob diferentes usos do solo, em especial em áreas de cultivo.

3.2. Matéria Orgânica do Solo.

A matéria orgânica do solo (MOS) é um elemento chave nos ecossistemas terrestres, em termos de concentração e distribuição. Seu conteúdo e qualidade têm um importante efeito nos processos que ocorrem dentro dos ecossistemas. O equilíbrio entre as frações é dinâmico e conceitualmente definido pelos ganhos e perdas. Dependendo das práticas agrícolas e do sistema do manejo adotado, o solo atua como fonte ou sumidouro de CO₂ atmosférico (BRUCE *et al.*, 1999).

Em sistemas com perda de matéria orgânica superior a taxa de reposição, há a ruptura do equilíbrio e o solo pode agir como uma fonte constante de CO₂ para a atmosfera. Isto resulta em perdas significativas do conteúdo original da MOS. Por outro lado, o revolvimento minimizado do solo, associado à contribuição de resíduos de culturas, resulta em perdas reduzidas de C e contribui na manutenção do estoque de C nos primeiros centímetros do perfil do solo (KERN, JOHNSON, 1993; BAYER *et al.*, 2000; SÁ *et al.*, 2001).

Em solos sob vegetação natural, a conservação da matéria orgânica tende a ser máxima, pois o revolvimento do solo é mínimo. O aporte de C nas florestas é mais elevado do que em áreas cultivadas. Em áreas cultivadas, o teor de matéria orgânica, via de regra, diminui, uma vez que as frações orgânicas são mais expostas ao ataque de microrganismos, em função do maior revolvimento e desestruturação do solo (PAULA, VALLE, 2007).

O equilíbrio estável, ou "estado estacionário" de reservatório de C do solo, é o equilíbrio entre os ganhos (resíduos agrícolas e adubos orgânicos) e perdas (decomposição e mineralização da matéria orgânica e intemperismo).

Vários modelos foram estudados para descrever as mudanças que ocorrem no tempo. A complexidade dos modelos varia a partir de uma abordagem simplificada e partilhada, ou ainda para modelo com mais de um compartimento, como o que foi proposto por Jenkinson, Rainer (1977) e Parton *et al.* (1987).

Apesar da importância dos solos para o ciclo global do C e o destino do CO₂ antropogênico, a MOS permanece relativamente pouco entendida. O teor de MOS está ultimamente relacionado ao manejo adotado, incluindo adubação, preparo do solo, método de controle de invasoras, etc. (FREIRE, 2006).

A diversidade de critérios utilizados na separação das frações da MOS induz à definição de compartimentos que são operacionalmente (métodos químicos e físicos) e funcionalmente diferentes (tempo de permanência no solo). A separação do solo em frações de acordo com a função e a estrutura (fracionamento físico) permite um detalhamento maior quanto às alterações promovidas pelo manejo do solo na qualidade do C orgânico do solo (ZANATTA, 2006).

3.3. Carbono e Nitrogênio nos solos.

O C é o principal componente da matéria orgânica e, portanto, um fator determinante da qualidade do solo. Participa em diversos processos químicos, físicos e biológicos do solo, os quais regulam a produtividade das culturas e influenciam na qualidade do ambiente e do solo (BAYER, MIELNICZUK, 1997; LAL, 1997; AMADO *et al.*, 2001).

As mudanças de conteúdos ou estoque de C dos solos mostram se o solo está atuando como fonte (perda) ou sumidouro (ganho) (ANDRIULO *et al.*, 2001). Um dos fatores que está sendo enfatizado como o mais importante nos processos de sequestro do C no solo é a agregação do solo. Esta é realizada pela ação de fungos e substâncias orgânicas proveniente das raízes (KIEHL, 1979).

O sequestro de C no solo tem um importante papel ambiental, uma vez que os ambientes terrestres vêm sendo apontados como alternativas para medidas mitigadoras de mudanças climáticas (ASSIS *et al.*, 2006). Dentre esses ambientes, o solo é apontado como o maior compartimento de C.

Porém, devido à susceptibilidade a perdas, tanto a curto como em longo prazo, o C orgânico do solo deve ser preservado para minimizar os impactos negativos das mudanças climáticas (MACHADO, 2005). Além disso, as perdas de C também comprometem a ciclagem e retenção de nutrientes, a agregação do solo, a dinâmica hídrica do solo, a atividade biológica, ocasionando desequilíbrios no sistema e intensificando o processo de degradação ambiental (RANGEL *et al.*, 2008).

A qualidade do C da vegetação depende muito do clima (principalmente temperatura do ar e chuvas), do tipo de vegetação e da fertilidade do solo (solos férteis resultam em plantas maiores que contêm mais C a ser depositado no solo) (LEITE *et al.*, 2003). Devido a isto, o estoque de C no sistema solo-planta em fragmentos de florestas naturais também pode indicar o potencial dessas coberturas em sequestrar C da atmosfera (ALEGRE *et al.*, 2004). Este processo ecológico constitui um serviço ecológico promotor da mitigação de mudanças climáticas por gases de efeito estufa, em especial o CO₂ (FERNANDES, 2006).

Geralmente efetua-se a análise em área com vegetação natural remanescente sem impacto, a qual é considerada e nomeada “área de referência” e também em áreas impactadas, sendo então possível estimar quanto de C já foi perdido (ou ganho) pela área manejada em relação à área de referência (PEREIRA, BENEDITO, 2007).

Segundo Pillon *et al.* (2004), teores similares de C orgânico no solo nem sempre significam conteúdo similar, uma vez que a variação na densidade do solo promove alteração no conteúdo de C orgânico total do solo (COT). Os conteúdos de COT ou de MOS devem sempre se referir a uma determinada camada do solo. Segundo Bergstrom *et al.* (2001), os estoques de C no solo variam também com a topografia de paisagem. Assim, os efeitos do manejo do solo deveriam ser avaliados em escalas maiores como as observadas de fato nas lavouras de propriedades agrícolas. Neste sentido, a quantificação do teor de C no solo é um parâmetro imperativo para avaliação da qualidade do solo (ARSHAD, MARTIN, 2002).

A maneira básica de estimar o estoque de C no solo é pela equação abaixo (PONCE, HERNANDEZ, 2004):

$$Ecs = C \times DA \times h \times 10$$

(Equação 1)

Onde:

Ecs é o estoque de C no solo ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

C é a concentração de C no solo ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$).

DA é a densidade do solo ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

h é a profundidade considerada na estimativa (m).

O estoque de C tem o mesmo comportamento da MOS, ou seja, diminui exponencialmente com a profundidade. Em geral, 39-70% do C total ocorrente na camada de 0-100 cm de solo mineral, está presente nos primeiros 30 cm e 58-81% nos primeiros 50 cm. Perdas ou aportes do estoque de C do solo são maiores no horizonte superficial, que abrangem o intervalo de 0 a 15 cm (MACHADO, 2005). Portanto, uma variação significativa é de se esperar quando comparados os valores de teor de C nas camadas de solo amostradas.

O nitrogênio (N) é um elemento essencial para os seres vivos, a fixação do N atmosférico é o segundo processo mais importante para sustentar a produtividade primária dos ecossistemas, depois da fotossíntese (SYLVIA, 1999).

O N é frequentemente um fator limitante para as comunidades biológicas de um ecossistema. Isto porque, apesar de 80% da atmosfera ser constituída por N_2 , este não está diretamente disponível para as plantas. A disponibilidade ocorre através da fixação e processamento feito por bactérias especializadas. Este é um processo fundamental para a incorporação de N para as plantas e para sustentar a produtividade primária do ecossistema.

A fixação é realizada por bactérias diazotróficas, as quais possuem a capacidade de fixar N atmosférico por possuírem uma enzima chamada nitrogenase. Esta enzima é capaz de quebrar a ligação tripla do N_2 e transformá-lo em amônio (NH_4^+). Estas bactérias podem viver simbioticamente associadas com raízes das plantas, ou pode ser de vida livre no solo e detritos orgânicos. Estes últimos são responsáveis pela fixação simbiótica de N (SYLVIA, 1999). Nos dois processos, o N molecular é incorporado à biomassa microbiana e, posteriormente, liberado para a solução do solo. Ficam, portanto, disponíveis para as plantas (CHAPIN et al, 2002).

3.4. Relação entre C e N na Matéria Orgânica do Solo.

Por várias vezes já foi evidenciada a ligação íntima entre a MOS e o montante de N presente nos solos. A relação entre as porcentagens de C e de N dos solos é um indicativo de transformação da MOS. Ao obter a humificação dos microrganismos, estes microrganismos utilizam o C como fonte energética (sintetizam proteínas), de modo que o N excedente às necessidades microbianas é liberado. O valor de equilíbrio desta relação depende dos fatores da formação e evolução do solo (clima, rocha mãe, vegetação, etc.) (BELLO *et al.*, 2003).

Proporção nos solos:

A proporção C/N na matéria orgânica da camada arável de solos varia geralmente de 8:1 a 15:1, com média variando entre 10:1 a 12:1. Entre os nutrientes utilizados em sistemas de agricultura, destaca-se o papel do N colaborando no aumento do estoque de C no solo.

A dinâmica do N do solo está intimamente associada com a dinâmica do C. Para cada tonelada de C armazenada por hectare nos solos, são necessários entre 70 a 100 kg ha⁻¹ de N, de modo que a relação C/N na matéria orgânica permanece estabilizada em torno de 10 a 13:1. Neste contexto, em condições tropicais e subtropicais brasileiras, as adições de resíduos vegetais 7-10 t ha⁻¹ ano⁻¹, têm sido defendidas para manter o estoque de C no solo.

Com isso, há uma demanda extra de N, além da necessidade de nutrição das culturas, buscando o acúmulo de C no solo (AMADO *et al.*, 2007).

3.5. Carbono Lábil.

O C lábil é aquele constituinte de compostos orgânicos mais facilmente mineralizado em reações catalisadas por enzimas do solo, de origem microbiana. Está diretamente associado à liberação de CO₂ para atmosfera (RANGEL *et al.*, 2008).

Inicialmente, o C orgânico presente na MOS pode ser dividido em uma fração lábil (FLábil) e uma fração estável (FEstável). O C da FLábil é composto principalmente por substâncias de baixo peso molecular e é oriundo de materiais grosseiros, resíduos de plantas e animais em fase inicial de decomposição.

O C da FLábil possui elevados teores de carboidratos em sua constituição, os quais são fonte primária de matéria e energia para a biossíntese microbiana no solo, atuando na estabilização de macro agregados e na disponibilidade de nutrientes (SKJEMSTAD *et al.* (1986). Em regiões temperadas, o C da FLábil pode representar de 25 a 50% do C orgânico total (CAMBARDELLA, ELLIOT, 1992; SHANG, TIESSSEN, 1997), porém é geralmente menor em regiões tropicais (DUXBURY *et al.*, 1989).

O C da FLábil é mais sensível às mudanças no manejo do solo em relação ao C da FEstável. Apresenta maior amplitude de variações em relação aos teores de COT no solo (POWLSON *et al.*, 1987). Esta amplitude permite dar aplicabilidade para detecção de impactos de sistemas de manejo, relacionados à qualidade do solo e emissões antropogênicas de CO₂ para a atmosfera. Em outras palavras, pode-se dizer que as alterações no estoque de C da FLábil promovidas por mudanças no manejo são percebidas em curtos períodos de tempo, enquanto na FEstável, as alterações no estoque de C somente serão observadas no longo prazo (JANZEN *et al.*, 1992; BREMER *et al.*, 1995).

Originalmente Blair *et al.* (1995) propuseram a utilização do índice baseado na labilidade obtida por oxidação química da MOS com permanganato de potássio (KMnO₄) em concentração de 333 mmol L⁻¹, obtendo-se então uma fração oxidada, chamada de matéria orgânica lábil e uma fração não oxidada, chamada de matéria orgânica não lábil. Porém, segundo os autores, a oxidação da MOS exige a calibração de uma concentração de KMnO₄ para cada tipo de solo e o cuidado no manuseio do reagente à exposição à luz, o que possivelmente limitou a ampla adoção do índice de manejo do carbono (IMC).

O fracionamento físico do C foi proposto como uma alternativa para a determinação da labilidade do C (DIEKOW *et al.*, 2005), uma vez que permite a obtenção do C da fração leve (>1,8 g.cm⁻³) ou particulada (> 0,053 mm), os quais são componentes lábeis da MOS (JANZEN *et al.*, 1992). Estudos conduzidos por Vieira *et al.* (2004), correlacionaram o C lábil obtido pelo fracionamento físico densimétrico e granulométrico da MOS e o C lábil obtido pela oxidação química da MOS com KMnO₄, com resultados animadores.

Porém, neste mesmo estudo, os autores verificaram que a concentração de KMnO₄ adequada para oxidar a MOS seria de 60 mmol.L⁻¹, sendo que a concentração de 333 mmol.L⁻¹ promoveu a oxidação de altos percentuais da MOS (16,8 a 42,3%), similar aos resultados obtidos

por Shang, Tiessen (1997) (17 a 57%) e sugerindo que a utilização de concentrações menores de KMnO_4 sejam mais adequadas (WEIL *et al.*, 2003).

Em solos tropicais, o emprego de soluções com menor poder de oxidação em relação aquela utilizada por Blair *et al.* (1995) se justifica pelo fato de estudos de datação utilizando ^{14}C mostrarem que a matéria orgânica de solos tropicais é mais lábil do que a presente em solos de regiões de clima temperado (SHANG, TIESSSEN, 1997).

3.6. Índice de Manejo de Carbono (IMC).

O IMC é um aferidor do estado de degradação do solo. Valores inferiores a 100% são indicativos de impacto negativo das práticas de manejo sobre os teores da matéria orgânica e qualidade do solo (BLAIR *et al.*, 1995).

As alterações qualitativas e quantitativas no C orgânico do solo podem compor um índice de manejo de C, o qual é eficiente para predizer a qualidade de sistemas de manejo do solo (BLAIR *et al.*, 1995). Este índice utiliza uma condição de referência, para o qual é definido o $\text{IMC} = 100$. O sistema de referência pode ser uma área de vegetação natural (campo nativo ou mata), ou um solo degradado sob manejo inadequado, dependendo dos objetivos do trabalho.

O IMC leva em consideração a labilidade do C no solo, buscando unir as características quantitativas e qualitativas, como forma de avaliar o desempenho de um determinado sistema de manejo (SILVA *et al.*, 1999).

As frações total (C) e lábil (C_L) são usualmente obtidas por análises. Já a fração de C não lábil (C_{NL}) é obtida pela diferença calculada pela equação: $C_{NL} = C - C_L$.

Tendo como base os teores de C e o índice de labilidade, pode se obter o IMC usando a seguinte equação (BLAIR *et al.* 1995):

$$\text{IMC} = \text{ICC} * \text{IL} * 100$$

(Equação 2).

Onde:

ICC = Índice de compartimento de C.

IL = Índice de labilidade.

O ICC é obtido pela seguinte equação:

$$ICC = \frac{C_{cultivado}}{C_{referencia}} \quad (\text{Equação 3})$$

O IL é obtido pela equação abaixo:

$$IL = \frac{L_{cultivado}}{L_{referencia}} \quad (\text{Equação 4})$$

3.7. Isótopos estáveis de Carbono e Nitrogênio.

A palavra “isótopo” vem do grego, iso (igual) e topos (lugar), a qual se refere a um local comum de um elemento específico na tabela periódica (DAWSON, BROOKS, 2001). Inicialmente, o estudo de isótopos estáveis estava relacionado principalmente com a geoquímica e estudos de abundância natural.

Contudo, com o desenvolvimento de espectrômetros de fluxo de massa, a sua aplicação foi estendida para outras ciências, de modo que hoje dia é uma técnica analítica quase rotineira em muitos campos de pesquisa (MOTTRAN *et al.*, 1999).

Segundo Ventura *et al.* (1990), o princípio baseia-se na diferença mínima de suas massas, que é função da quantidade de nêutrons presentes em seu núcleo. Tais diferenças ocorrem na natureza e são frutos de reações físico-químicas e/ou biológicas, possibilitando, deste modo, a discriminação de um dos isótopos (MARTINELLI *et al.*, 1988).

A mensuração da alteração da qualidade da matéria orgânica no solo pode ser analisada por meio da análise da composição isotópica, dentre elas do C e do N (PEREIRA, BENEDITO, 2007).

A composição isotópica (R) de um determinado elemento é expressa pela relação entre o isótopo raro e o isótopo mais abundante, ou estabelecido pelo isótopo mais pesado sobre o isótopo mais leve, conforme a seguinte equação (MARTINELLI *et al.*, 2009).

$$\alpha = \frac{R_{substrato}}{R_{produto}} \quad (\text{Equação 5})$$

Para interpretar a composição isotópica (R) absoluta de uma amostra, propôs-se representá-la por seu desvio em relação à razão R de um padrão (MARTINELLI *et al.*, 2009). Tanto o valor R como os valores de δ (letra grega delta minúscula), são numericamente pequenos (da ordem de 10^{-2}). Com isso, convencionou-se multiplicar o valor de δ por 1000.

Dessa forma, em termos de δ , que representa partes por mil (‰) de diferença do isótopo da amostra em relação ao padrão, é obtida pela equação abaixo (CERRI *et al.*, 1985; MARTINELLI *et al.*, 2009).

$$\delta = \left[\frac{R_{amostra}}{R_{padrão}} - 1 \right] * 10^3 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde: δ é o valor de ^{13}C ou ^{15}N e R é a razão correspondente $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$.

Os elementos C e N possuem mais que um isótopo e a composição isotópica natural dos materiais pode ser medida, com elevada precisão, utilizando espectrômetro de massa (PETERSON, FRY, 1987; DAWSON, BROOKS, 2001).

Assim, os valores de enriquecimento relativo (δ) correspondem à razão entre isótopos pesados e leves das amostras. Aumentos nesses valores denotam incremento do montante de isótopos pesados (PETERSON, FRY, 1987).

O valor de δ das amostras são comparados com os padrões internacionais encontrados na Biosfera. Tais padrões são aceitos internacionalmente e foram obtidos na *International Atomic Energy Agency* (IAEA) em Viena, Áustria e no *National Institute of Standards and Technology* (NIST) nos Estados Unidos (PEREIRA, BENEDITO, 2007). Os padrões utilizados internacionalmente para o C e para o N são mostrados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Abundância, razão isotópica e padrão aceito internacionalmente para os isótopos de C e N.

ELEMENTO	ISÓTOPO	ABUNDÂNCIA (%)	RAZÃO	PADRÃO
C	^{12}C	98.98	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	PDB ^a
	^{13}C	1.11		
N	^{14}N	99.63	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	N_2 atm. ^b
	^{15}N	0.37		

a-) o padrão para o C é a rocha do fóssil *Belemnitella americana*, da formação PeeDee (PDB), originária da Carolina do Sul, EUA.

b-) o N tem como padrão gás N_2 atmosférico.

Fonte: Dawson, Brooks (2001).

Neste sentido, o ^{13}C e o ^{15}N são considerados isótopos pesados e o ^{12}C e o ^{14}N são os isótopos leves (PETERSON, FRY, 1987). Quanto mais baixo o valor desta relação, denota-se decréscimo no conteúdo de isótopo pesado e, por outro lado, o aumento no conteúdo do isótopo leve. A precisão das medidas é respectivamente $\pm 0,2\text{‰}$ e $\pm 0,3\text{‰}$, para o $\delta^{13}\text{C}$ e o $\delta^{15}\text{N}$ (PEREIRA, BENEDITO, 2007).

Estudos baseados em isótopos de C e N são considerados de muita importância para pesquisas de ciclos de matéria e energia no ambiente. Isótopos estáveis estão presentes nos ecossistemas e sua distribuição natural reflete, de forma integrada, a história dos processos físicos e metabólicos do ambiente (PEREIRA, BENEDITO, 2007). Unkovich *et al.* (2001) explicam que tais tecnologias abrem possibilidades de diferentes abordagens e estudos, facilitando interpretações e trazendo muitas contribuições para as ciências ambientais.

Exemplificando, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 atmosférico diminuem em resposta às entradas de ^{13}C empobrecido, originário da queima de combustíveis fósseis, aliada à biomassa vegetal queimada ou em decomposição. Em ambientes aquáticos, o valor de $\delta^{13}\text{C}$ varia amplamente, dependendo da fonte de CO_2 dissolvido, podendo ter sua origem em rochas calcárias, minerais, via atmosférica ou da matéria orgânica (PETERSON, FRY, 1987).

A principal influência sobre $\delta^{13}\text{C}$ da MOS é a contribuição relativa de plantas C_3 contra as plantas C_4 para a produtividade primária líquida total da comunidade. Em média, valores $\delta^{13}\text{C}$ de plantas C_4 são aproximadamente 14‰ superiores aos de plantas C_3 .

Esta grande diferença isotópica, devido ao tipo de via fotossintética, é pelo menos 5-15 vezes maior do que as mudanças que podem ser induzidos pelos efeitos ambientais e biológicos na planta durante a fotossíntese (BOUTTON, YAMASAKI, 1996).

Assim, a forte relação entre o $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica do solo e da comunidade de plantas indica que o $\delta^{13}\text{C}$ da MOS deve refletir a produtividade relativa das fontes C_3 *versus* C_4 e pode ser usado para avaliar a história da comunidade de plantas em um determinado lugar.

A Figura 3.2 apresenta um diagrama conceitual dos fatores que podem influenciar o $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica do solo.

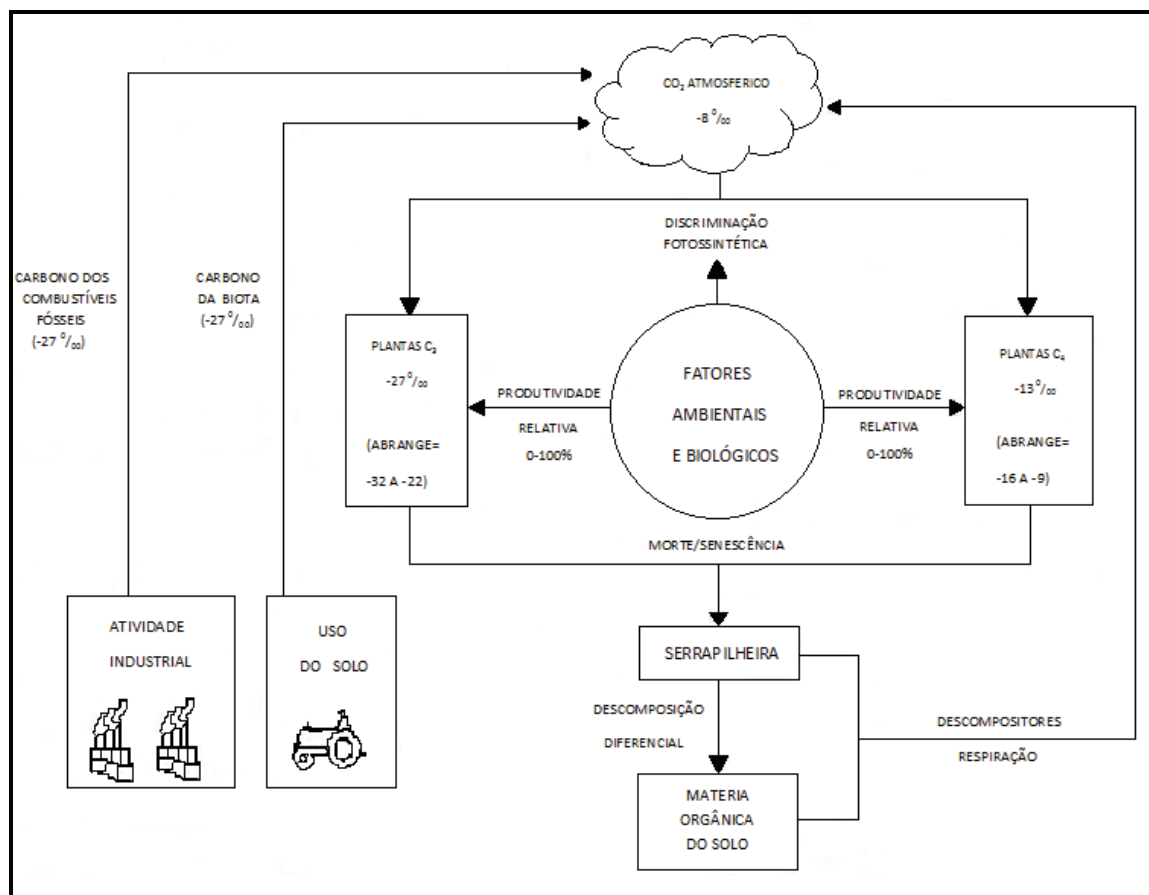


Figura 3.2. Modelo conceitual dos fatores que podem influenciar os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica do solo. Fonte: Boutton, Tamasaki (1996).

O N está presente majoritariamente sob forma de gás N_2 atmosférico (Figura 3.3). A composição isotópica é essencialmente constante a 0‰ em ambientes aquáticos. Nestes ambientes, a comunidade fitoplanctônica possui valores de $\delta^{15}N$ diferentes da vegetação terrestre. Sendo assim, os isótopos de N podem funcionar como marcadores para matéria orgânica de origem autóctone ou alóctone (PETERSON, FRY, 1987).

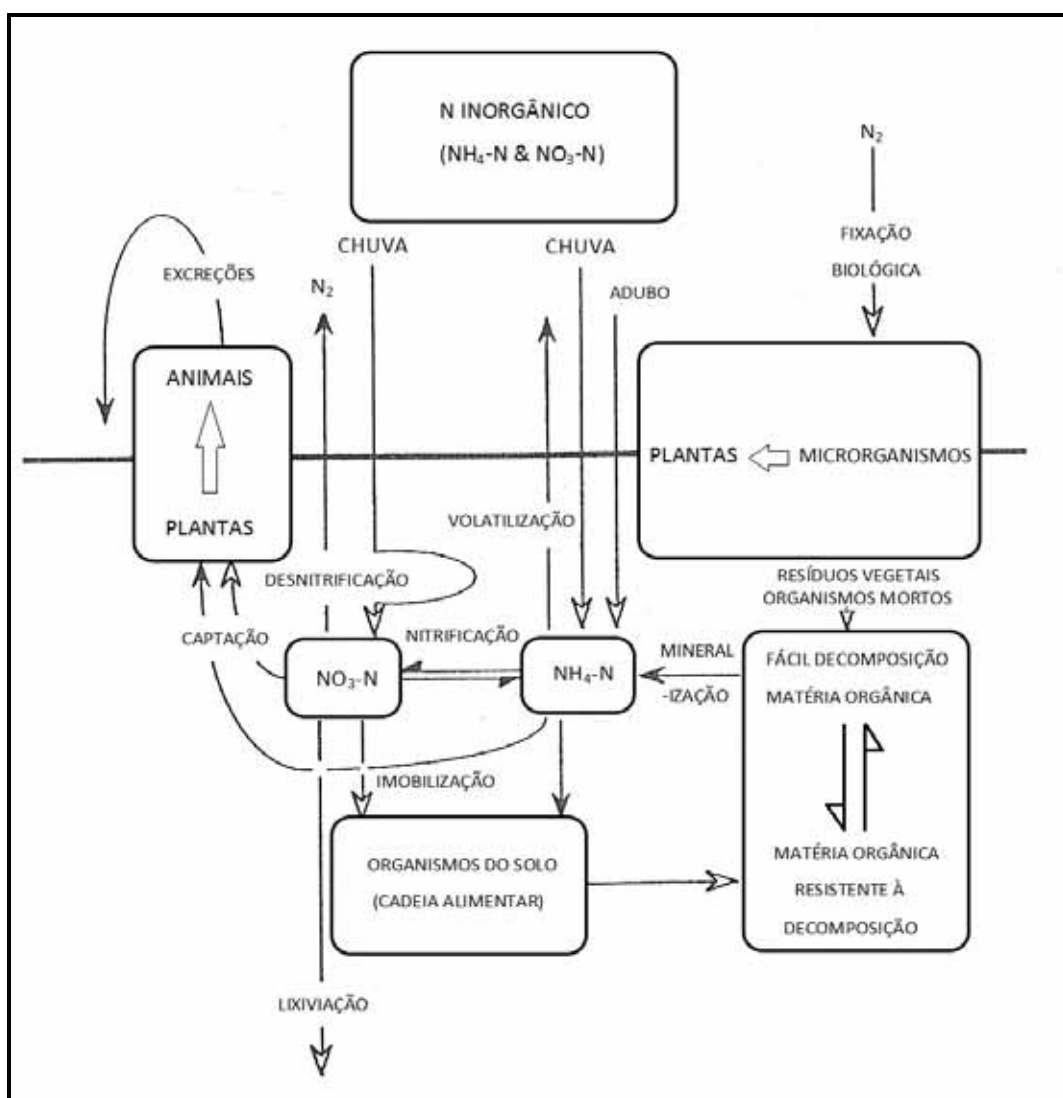


Figura 3.3. Esquema generalizado descrevendo a transformação do N em sistemas relacionados com o solo. Principais passos de fraccionamento isotópico possíveis são indicados por as setas fechadas. Fonte: Boutton, Tamasaki (1996).

Para os estudos de C no solo, a razão entre os isótopos ^{12}C e ^{13}C é de grande relevância. A porcentagem do ^{13}C na natureza é de 1,11% em termos globais. Contudo, há diferentes concentrações nos diversos compartimentos da biota (i.e. nos tecidos vegetais e MOS). Baseando-se nesta premissa, Cerri *et al.* (1985) identificaram a dinâmica do C no solo num local onde a floresta nativa (plantas C_3) foi substituída por gramíneas (plantas C_4).

O isótopo ^{13}C perfaz aproximadamente 1% do C na natureza. Entretanto, sua distribuição pode ser influenciada por processos naturais. Os processos fotossintéticos, por exemplo, discriminam o ^{13}C em favor do isótopo ^{12}C pelo processo de descarboxilação.

Espécies C_3 e C_4 têm valores distintos de $\delta^{13}\text{C}$ e estes não se sobrepõem, sendo possível determinar a fonte de C da MOS, uma vez que estes valores permanecem praticamente inalterados durante o processo de decomposição dos resíduos vegetais ou mineralização da MOS (BERNOUX *et al.*, 1998; ROSCOE *et al.*, 2000; SISTI *et al.*, 2004).

Morais (1995) estudou a variabilidade do C no solo e concluiu que, onde há uma predominância de plantas que realizam fotossíntese ciclo C-3, ou seja, nas áreas de floresta, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS variam entre -28‰ e -28,5‰ na camada de 0-5 cm. Conforme houve substituição da floresta por pastagem, os valores $\delta^{13}\text{C}$ aumentaram, alcançando aproximadamente de -16‰. Após 81 anos de uso do solo para pastagem, o valor de $\delta^{13}\text{C}$ observado diretamente em gramíneas foi alterado para -14,27‰.

3.8. Diluição isotópica do C e do N no solo.

A técnica de variação da abundância natural de ^{13}C é empregada com sucesso em vários estudos para estudar a dinâmica do C no solo, em longo prazo, em locais onde a vegetação original foi modificada por outra cujo padrão fotossintético é diferenciado (SKJEMSTAD *et al.*, 1986; BALESIDENT, MARIOTTI, 1987; MARTIN *et al.*, 1990).

Um exemplo dessa relação foi mostrado no trabalho publicado por Tarré *et al.* (2001), que estudaram a variação na marcação isotópica do C em uma pastagem de capim braquiária (plantas C_4) estabelecida em uma área anteriormente ocupada por uma floresta (ciclo C_3). A matéria orgânica do solo sob floresta, que tinha uma composição isotópica inicial em torno de -25‰, recebeu por um longo tempo C enriquecido em ^{13}C da pastagem (aproximadamente -12‰) e teve sua composição isotópica modificada até 30 cm de profundidade.

Sabendo-se a composição isotópica inicial do solo sob a vegetação nativa e sob a cultura, é possível calcular a quantidade de C derivado das plantas C₃ e C₄, o que é interessante em estudos de ciclagem do C no solo e decomposição da MOS (SISTI *et al.*, 2004).

Estimam-se então as porcentagens de C e N derivadas da vegetação natural remanescente (VNR) e da pastagem através das equações (CERRI *et al.* 2007; EMBRAPA, 2007):

$$Cp = \frac{\delta - \delta_o}{\delta_c - \delta_o} * \%Ct \quad (\text{Equação 7})$$

$$Cf = \%Ct - Cp \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

Cp = % de C ou N derivado de pastagens.

Cf = % de C ou N derivado da vegetação natural remanescente.

δ = $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ do solo sob pastagem.

δ_o = $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ sob floresta.

δ_c = $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ do material vegetal (gramínea).

% Ct = % do C total do solo pastagem.

4. MATERIAL E MÉTODOS.

4.1. Localização e caracterização ambiental da área de estudo.

4.1.1. Localização da área do estudo.

Ibiúna localiza-se na região sudeste do estado de São Paulo, entre as coordenadas 23°39'23'' de latitude sul e 47°13'21'' de longitude oeste, numa altitude de 996 metros (Figura 4.1).

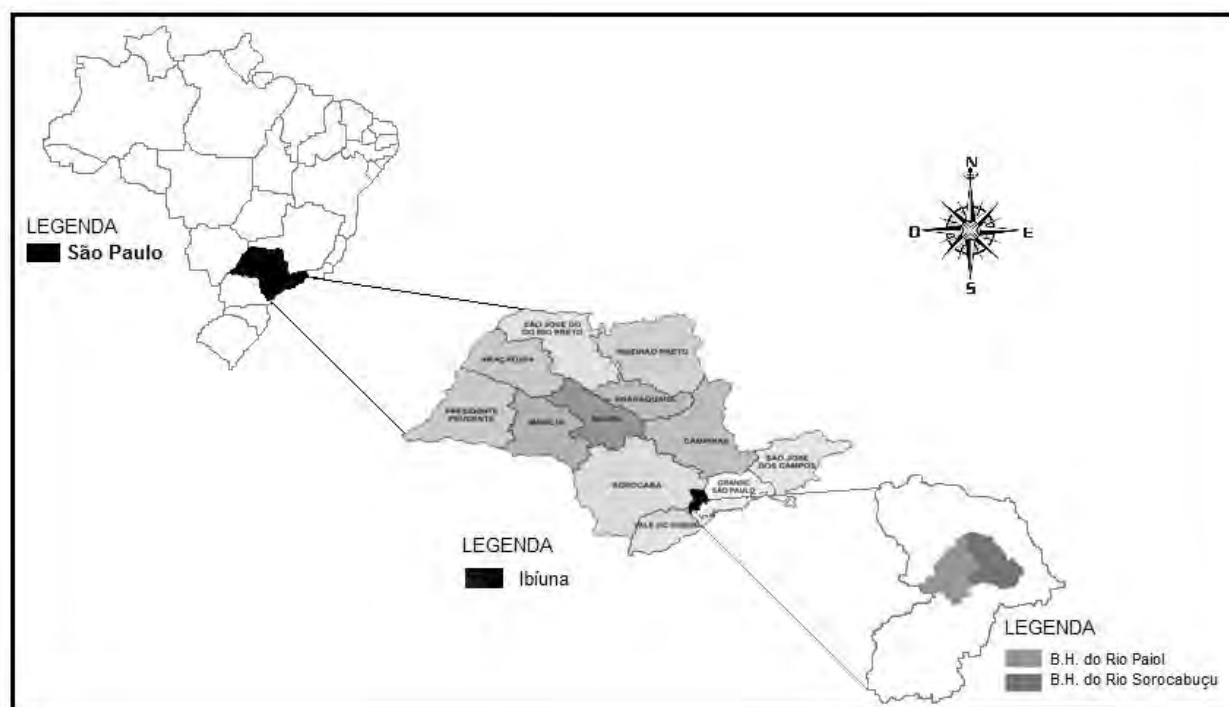


Figura 4.1. Localização do município de Ibiúna no estado de São Paulo (centro) e das microbacias hidrográficas dos rios Paioi e Sorocabaçu.

4.1.2. Caracterização ambiental da área de estudo.

O estudo foi desenvolvido em duas microbacias, denominadas Paiol e Sorocabuçu, ambas integrantes da bacia do Rio Sorocaba. As duas microbacias hidrográficas se localizam a montante da represa de Itupararanga, importante manancial que abastece as cidades da região (COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, 2006). 63% da área de drenagem desta represa pertencem ao município de Ibiúna.

As duas microbacias hidrográficas estão inseridas nas encostas da Serra de Paranapiacaba, cujo clima é predominantemente subtropical. A temperatura média anual é 19,3° C e a altura pluviométrica anual é 1.428 mm (EMBRAPA, 2003).

Na região ocorrem predominantemente solos das classes Cambissolo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo (ROSS, MOROZ, 1997) (Figura 4.2 obtida em Oliveira et al. (1999)).

Os solos são geralmente ácidos e com pouca concentração de nutrientes na camada superficial, especialmente nas regiões tropicais (VIEIRA, 1988). Nos solos da área de estudo destaca-se a regularidade do pH em água, em KCl, dos solos de cultivos orgânicos e convencionais, o que indica necessidade de adição de insumos para a correção da acidez. Para os solos de reflorestamento e vegetação, entretanto, obteve-se valores indicando maior acidez, o que pode estar relacionado à maior quantidade de matéria orgânica (MANFRÉ, 2010). Valarini et al. (2011) encontraram valores de pH sob solos de cultivo em Ibiúna no entorno de 5,7, evidenciando baixa acidez, valores similares aos obtidos por Manfré (2010).

Valarini et al. (2011) estudando a qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional na microrregião de Ibiúna, classificaram os solos texturalmente nas classes franco argiloso arenoso-P1, P2 e P6; franco argiloso-P3 e P7 e argila arenosa-P4, P5, P8, P9 e P10 em solos sob agricultura convencional e orgânica, assim como pastagens em Ibiúna. Manfré (2010) realizou análises granulométricas na mesma microrregião de Ibiúna, sendo que os solos sob reflorestamento apresentam valores mais altos nas frações de argila, em comparação com solos sob vegetação natural.

A vegetação original da região é floresta ombrófila densa de montana (VELOSO *et al.*, 1991). Há predominância de vertentes côncavas, com baixo risco de enchentes e deslizamentos.

Segundo Vidal *et al.*, (2007), o aspecto atual da região mostra alguns padrões de alteração na paisagem, com a derrubada da mata para consumo de madeira, produção de carvão vegetal e estabelecimento de práticas agrícolas. Recentemente novas funções vêm sendo acrescidas ao município como as de agricultura orgânica, produção de cogumelos, hidroponia e criação de cabras e avestruzes (COUTO, 2006).

As Figuras 4.3 e 4.4 apresenta a distribuição espacial das classes de cobertura da terra para ambas microbacias. Observa-se que as classes pastagem e cultivo temporário, se concentram na região norte e ao longo dos principais cursos d'água de ambas as microbacias. Ao sul observa-se as maiores áreas contendo vegetação natural remanescente e reflorestamento em ambas as microbacias.

Segundo Manfré (2011), nessas regiões ocorrem grande parte das atividades agrícolas e seu desenvolvimento nesses locais pode ser atribuído ao relevo menos acidentado, à proximidade de vias principais de vias principais e também à proximidade do centro urbano.

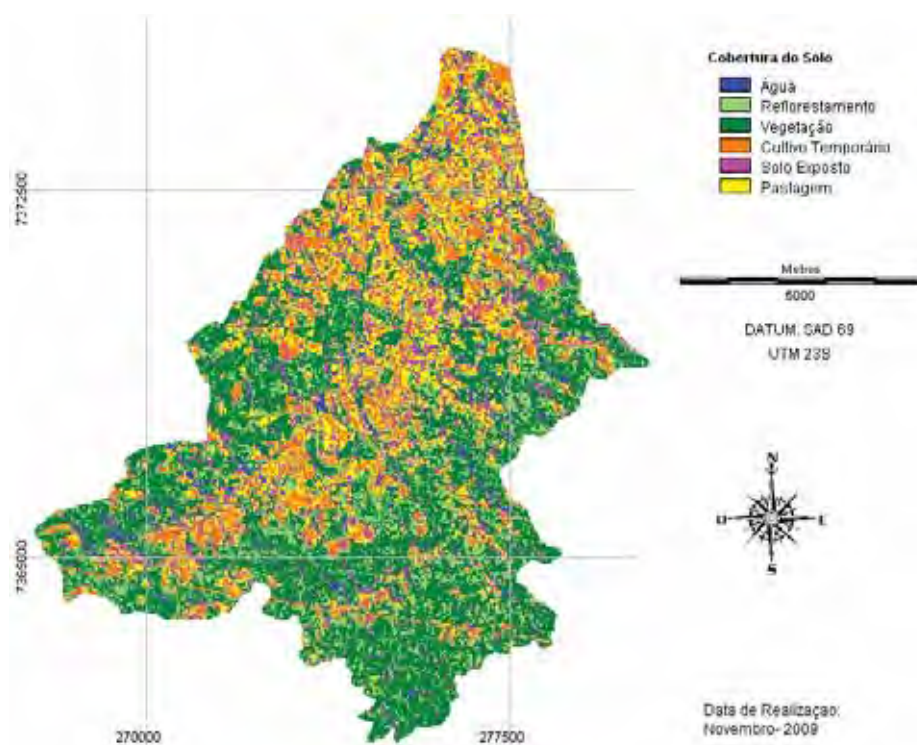


Figura 4.3. Mapa da Cobertura do Solo na microbacia hidrográfica do rio Paiol. Fonte: Manfré (2011).

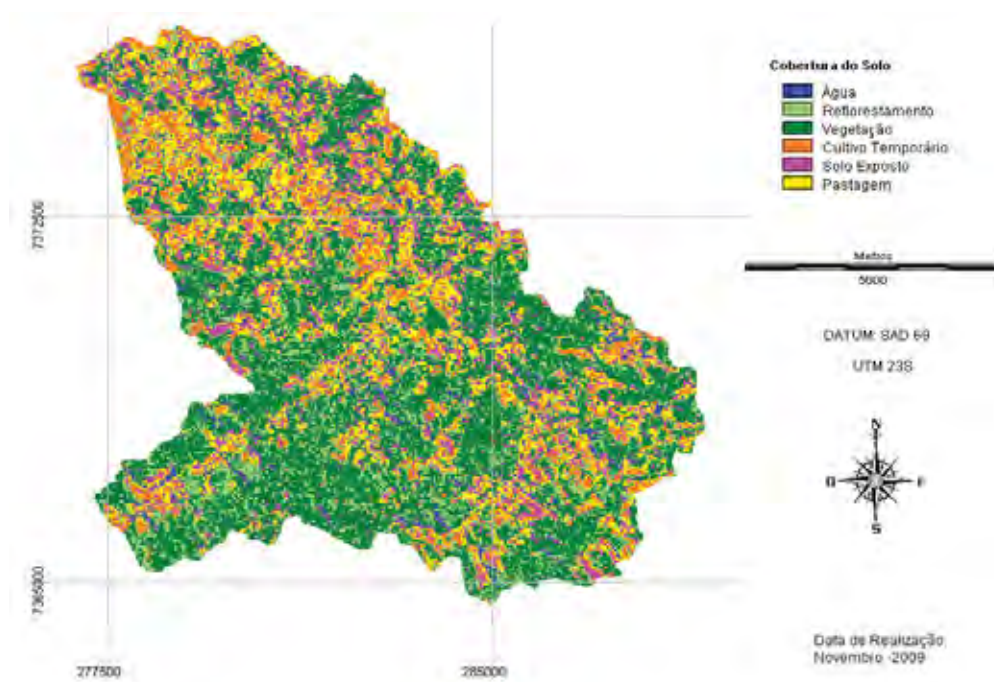
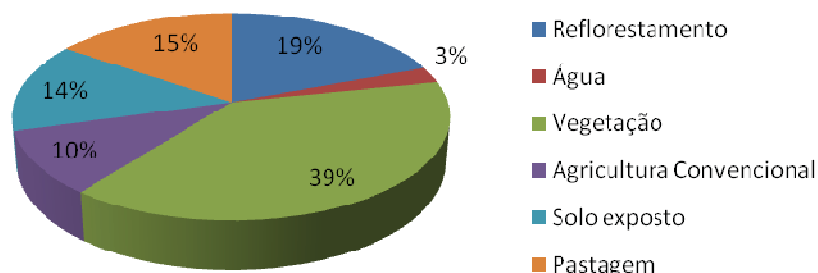


Figura 4.4. Mapa da Cobertura do Solo na microbacia hidrográfica do rio Sorocabuçu. Fonte: Manfré (2011).

Estas microbacias possuem como principal diferença a questão da forma da agricultura em algumas propriedades rurais, sendo que na microbacia do rio Paiol ocorre agricultura convencional e na microbacia do rio Sorocabuçu ocorre agricultura orgânica há aproximadamente seis anos (MANFRÉ et al., 2010). Fotografias da região são apresentadas no Anexo 1.

As classes de cobertura do solo, com as suas respectivas porcentagens, para ambas as bacias estão expostas na Figura 4.5.

Microbacia Paiol



Microbacia Sorocabuçu

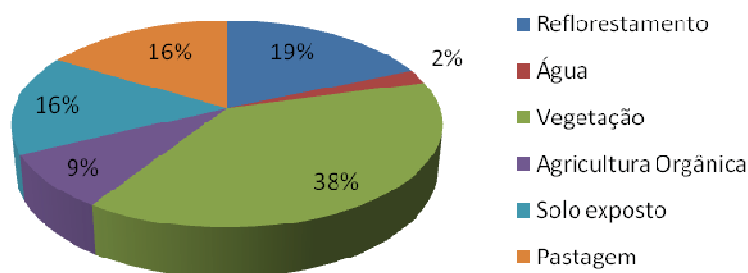


Figura 4.5. Usos de Coberturas e seus respectivos porcentagens nas microbacias hidrográficas Paiol e Sorocabuçu.

Para ambas as microbacias, observou-se que as culturas agrícolas temporárias mais expressivas são hortaliças e cheiro-verde (principalmente salsa e cebolinha). Tais culturas temporárias requerem que o solo seja constantemente manejado, sob todos os aspectos (adubação química e/ou orgânica, revolvimento). Há ocorrência pouco expressiva de culturas perenes. O reflorestamento é praticado com espécies de eucalipto e pinus, em ambas as microbacias.

O município de Ibiúna foi alçado à condição atual de ser um dos grandes responsáveis pelo abastecimento hortícola da região metropolitana de São Paulo, fato originado a partir da escassez de alimentos que o mercado urbano enfrentava desde a década de 70 (COUTO, 2006).

Estas microbacias foram escolhidas para o desenvolvimento do trabalho por apresentar um padrão de cobertura do solo interessante, havendo áreas com vegetação natural remanescente em diversos estágios de conservação, inclusive na nascente de um dos principais cursos d'água (VIDAL *et al.*, 2007) e por apresentar dois sistemas de cultivos diferentes - orgânico e convencional.

4.2. Procedimentos de amostragem.

Foram coletadas 100 amostras de solo no mês de novembro de 2009, sendo 50 amostras em cada microbacia e conforme a classe de cobertura do solo (ver tabela no Anexo 2). As amostras foram coletadas de maneira aleatória (Figura 4.6) e com o uso de um anel metálico. Cada anel, o qual possui volume de 225 cm³, foi cuidadosamente inserido na camada superficial do solo (0-20 cm). Após a retirada do excesso de solo externamente ao anel, este era embalado em saco plástico, devidamente identificado e transportado para laboratório para determinação de análises físico-químicas. Cerca de 50 centímetros ao lado de cada ponto onde era tomada uma amostra com anel metálico, outra amostra de solo era coletada com auxílio de uma pá. A amostra também era embalada em saco plástico, identificada e transportada para o laboratório.

4.3. Procedimentos analíticos.

No laboratório da UNESP, Campus Sorocaba, todas as amostras foram secas em estufas a 80°C até peso constante. As amostras coletadas com anel metálico foram usadas para determinação da densidade do solo. As demais amostras, após a secagem, foram destorroadas manualmente e posteriormente peneiradas em uma peneira de malha de 2,0 mm de abertura (10 mesh) para eliminação de material orgânico ou mineral grosseiro. Parte de cada amostra peneirada passou por outra peneira, de malha de 0,3 mm (45 mesh).

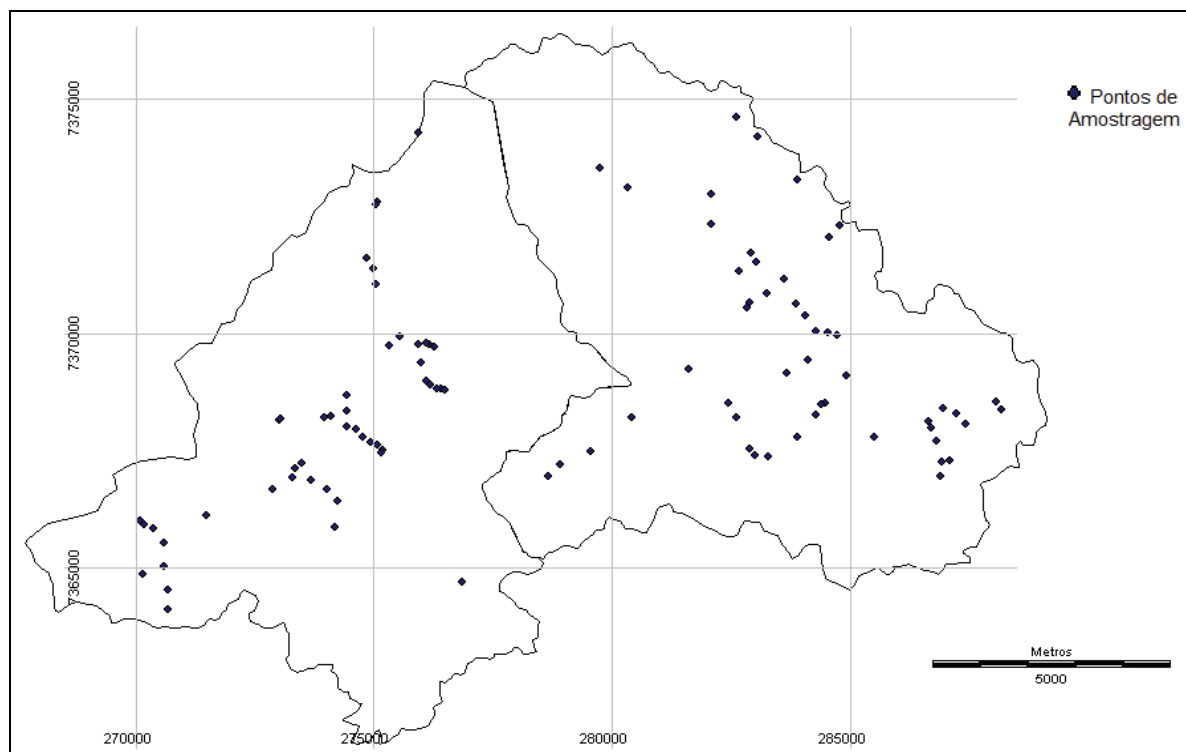


Figura 4.6. Distribuição dos pontos de amostragem nas microbacias hidrográficas Paíol e Sorocabuçu. Fonte: Manfré (2011).

4.3.1. Procedimentos analíticos para determinação dos teores de C e N e determinação da assinatura isotópica.

Para cada amostra, a fração de solo que passou pela peneira de 0,3 mm foi transportada ao Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA – USP), em Piracicaba, SP, para análise dos conteúdos de C e N e também para determinação dos valores dos isótopos $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de cada amostra.

A análise foi através da espectrometria de massa ou “*Isotope Ratio Mass Spectrometers*” (IRMS), com elevada precisão. Quantificou-se a composição isotópica das amostras seguindo metodologia descrita em Nadelhoffer, Fry (1994), em um analisador elementar Carlo Erba acoplado ao espectrômetro de massa (para ^{13}C e ^{15}N) *Thermo Finnigan Delta Plus* (PETERSON, FRY, 1987; DAWSON, BROOKS, 2001). A sensibilidade é de 0,3% entre repetições. Os teores de C e N foram analisados pelo método de combustão seca no mesmo equipamento.

Neste equipamento, as amostras são submetidas à alta temperatura em tubo de combustão e em presença de oxigênio (O_2) e óxido de cobre (CuO). Em seguida são transformadas em compostos de C e N, como CO_2 e NO_x . Este último foi reduzido a N_2 na presença de cobre. Os atributos dos solos analisados foram tabulados numa planilha eletrônica, o que permitiu a organização dos dados de acordo com o uso do solo e com a microbacia hidrográfica.

4.3.2. Procedimentos analíticos para determinação do C lábil.

Numa comparação de métodos para estimar o C orgânico, Skjemstad *et al.* (2006), utilizando o método de oxidação do C por permanganato de potássio, verificaram que o $KMnO_4$ foi pouco sensível para avaliar ganhos rápidos nos teores de C orgânico em solos degradados, utilizados para estabelecimento de pastagens.

No solo, as soluções de permanganato oxidam rapidamente compostos orgânicos de baixa biodisponibilidade, em relação aos carboidratos de maior solubilidade, o que indica que esse método de oxidação não discrimina compostos orgânicos lábeis e não-lábeis. (SHANG, TIESEN, 1997; SKJEMSTAD *et al.*, 2006).

Por tudo isso, o C oxidado pelo $KMnO_4$ não se configura em um índice confiável de determinação do C lábil do solo e considera-se que este método deve ser referenciado quando utilizado em estudos de caracterização da matéria orgânica do solo (TIROL-PADRE, LADHA, 2004). Devido a isto, usou-se neste trabalho a metodologia modificada por Chang (2001) e explicadas em Rangel (2006), descrito a seguir.

Uma quantidade de 0,3 g de solo da amostra de solo que havia sido peneirada em peneira de 2,00mm foi acondicionada em frasco erlenmeyer de 250 ml. Ali foram adicionados 10 ml de Dicromato de Potássio ($K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L^{-1}) e 3ml de H_2SO_4 P.A.. A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor, devido ao agregado de ácido sulfúrico, que aporta o meio para a reação de calor necessário para que se consiga a reação do C. O excesso de $K_2Cr_2O_7$ se valora mediante volumetria redox com uma solução ferrosa $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ a 0,4 mol L^{-1} (sal de Mohr) (CARREIRA, 2005).

Utilizou-se como indicador a fenantrolina ($C_{12}H_8N_2H_2O$), preparada em função da mistura de 1,465 g de indicador com 0,985 g de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, que foram dissolvidos em 100 mL de água destilada, sem aquecimento externo (BLAIR *et al.*, 1995; SHANG, TIESEN, 1997;

RANGEL, 2006). O cálculo da % de C Lábil se pode obter pela seguinte equação (RANGEL, 2006):

$$\%C = \frac{(Branco - Leitura) \times M \times 3 \times 100}{p} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

Branco = volume da solução titulante gasto para titular os brancos (ml).

Leitura = volume da solução titulante gasto para titular as amostras (ml).

p = peso da amostra, em mg.

M = molaridade da solução do sal de Mohr, em mol. L⁻¹.

3 = conversão do nível de oxidação do C, g. mol⁻¹.

O cálculo da porcentagem de C lábil foi feito para cada concentração de ácido sulfúrico em separado, considerando seu respectivo branco. Durante a titulação, a amostra torna-se inicialmente verde musgo. Próximo ao ponto de viragem torna-se verde garrafa e, no final da titulação, a coloração é marrom avermelhado (vide fotografia do Anexo 3).

4.4. Estoque de C.

O estoque de C no solo das microbacias foi estimado usando a Equação 1. A equação requer dados de teor de C, densidade do solo e espessura do perfil analisado. Os teores de C são apresentados a seguir. Os valores de densidade do solo foram obtidos junto ao trabalho de Manfré (2011), pelo método do anel volumétrico, seguindo a metodologia de Santos et al., (2005). Os dados estão apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2. A espessura considerada foi uniforme (20 centímetros para todos os pontos).

Tabela 4.1. Valores de densidade aparente (em g.cm⁻³) para os solos da microbacia do Paiol.

Classe de cobertura	Média	CV (%)
VNR	0,66	26,52
Reflorestamento	0,83	17,99
Pastagem	0,98	17,34
Agricultura	0,96	20,97

Fonte: Manfré (2011).

Tabela 4.2. Valores de densidade aparente (em g.cm⁻³) para os solos da microbacia do Sorocabuçu.

Classe de cobertura	Média	CV (%)
VNR	0,62	26,35
Reflorestamento	0,85	18,18
Pastagem	1,05	10,20
Agricultura	0,95	15,62

Fonte: Manfré (2011).

Apesar das tabelas informarem os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação em porcentagem, os dados de densidade aparente usados nas estimativas foram obtidos ponto a ponto juntamente como os dados de teor de C, uma vez que a base de dados completa e georreferenciada foi disponibilizada. Ou seja, não foi usado um valor médio de densidade aparente, mas um valor de densidade para cada ponto onde foi coletada amostra do solo.

4.5. Análise Estatística.

Os dados foram ordenados em planilhas digitais, visando calcular a média e coeficiente de variação (CV), conforme o caso. Dados de CV são expressos em porcentagem e permitem a comparação de valores entre diferentes propriedades do solo. Valores elevados de CV podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados (RIBEIRO JUNIOR, 1995; GOOVAERTS, 1999; FROGBROOK *et al.*, 2002).

Em seguida utilizou-se o programa Bioestat 5.0 (AYRES, AYRES Jr., 2007) para aplicar o teste de comparação de médias Kruskal-Wallis ANOVA, considerando a não parametricidade dos dados. Verificando-se a existência de diferença significativa entre os tratamentos, aplicou-se o teste T de Student para amostras desiguais.

4.5.1. Teste de Kruskal-Wallis.

Através do teste de Kruskal-Wallis efetuaram-se os seguintes testes de hipóteses:

Concentração de C para a Microbacia Paiol:

H_0 = os valores de concentração de C são independentes dos usos do solo.

H_1 = os valores de concentração de C são dependentes dos usos do solo.

Concentração de C para a Microbacia Sorocabuçu:

H_0 = os valores de concentração de C são independentes dos usos do solo.

H_1 = os valores de Concentração de C são dependentes dos usos do solo.

Concentração de N para a Microbacia Paiol:

H_0 = os valores de concentração de N são independentes dos usos do solo.

H_1 = os valores de concentração de N são dependentes dos usos do solo.

Concentração de N para a Microbacia Sorocabuçu:

H_0 = os valores de concentração de N são independentes dos usos do solo.

H_1 = os valores de concentração de N são dependentes dos usos do solo.

Isótopos de C para a Microbacia Paiol:

H_0 = assinatura isotópica do C é independente dos usos do solo.

H_1 = assinatura isotópica do C é dependente dos usos do solo.

Isótopos de C para a Microbacia Sorocabuçu:

H_0 = assinatura isotópica do C é independente dos usos do solo.

H_1 = assinatura isotópica do C é dependente dos usos do solo.

Isótopos de N para Microbacia Paiol:

H_0 = assinatura isotópica do N é independente dos usos do solo.

H_1 = assinatura isotópica do N é dependente dos usos do solo.

Isótopos de N para Microbacia Sorocabuçu:

H_0 = assinatura isotópica do N é independente dos usos do solo.

H_1 = assinatura isotópica do N é dependente dos usos do solo.

Estoque de C no solo:

H_0 = estoque de C no solo é independente dos usos do solo.

H_1 = estoque de C no solo é dependente dos usos do solo.

Labilidade do C no solo:

H_0 = labilidade do C no solo é independente dos usos do solo.

H_1 = labilidade do C no solo é dependente dos usos do solo.

4.5.2. Teste T de Student.

Utilizando-se o teste T de Student, efetuaram-se os seguintes testes de hipóteses:

Isótopos de N no solo:

H_0 : Não há diferença entre agricultura convencional e agricultura orgânica.

H_1 : Há diferença entre agricultura convencional e agricultura orgânica.

Concentração de N no solo:

H_0 : Não há diferença entre agricultura convencional e agricultura orgânica.

H_1 : Há diferença entre agricultura convencional e agricultura orgânica.

Isótopos de C no solo:

H_0 : Não há diferença entre agricultura convencional e agricultura orgânica.

H_1 : Há diferença entre agricultura convencional e agricultura orgânica.

Concentração de C no solo:

H_0 : Não há diferença entre agricultura convencional e agricultura orgânica.

H_1 : Há diferença entre agricultura convencional e agricultura orgânica.

Estoque de C no solo:

H_0 : Não há diferença entre agricultura convencional e agricultura orgânica.

H_1 : Há diferença entre agricultura convencional e agricultura orgânica.

Labilidade de C no solo:

H_0 : Não há diferença entre agricultura convencional e agricultura orgânica.

H_1 : Há diferença entre agricultura convencional e agricultura orgânica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Neste tópico serão apresentados e discutidos os resultados referentes à avaliação do impacto da mudança na cobertura e uso da terra sobre o C e N do solo.

5.1. Teores de Carbono e Nitrogênio.

Os maiores teores de C foram observados para a classe VNR para ambas as microbacias estudadas (Tabela 5.1). Nesta classe de cobertura a microbacia Sorocabuçu apresentou valores ligeiramente maiores em relação à microbacia Paiol. Em seguida aparecem as coberturas do solo ligadas às atividades humanas. Neste sentido observa-se a ordem de concentração, em ordem decrescente: reflorestamento > pastagem > agricultura, para microbacias Paiol e Sorocabuçu respectivamente.

Tabela 5.1. Valores médios do teor de C e respectivos coeficientes de variação (CV) no solo conforme a classe de cobertura. Todos em (%).

Classe de cobertura	Paiol		Sorocabuçu	
	Média	CV	Média	CV
VNR	4,59	40,93	5,28	43,08
Reflorestamento	3,36	43,90	3,71	49,61
Pastagem	2,67	56,83	2,74	34,65
Agricultura	2,40	67,11	2,27	41,98

Os valores obtidos na pastagem foram similares entre as microbacias (Paiol: 2,67% e Sorocabuçu: 2,74%). Diferentemente, Bernoux *et al.* (1999) estudando variações nos teores de C e N nos solos de uma sequência de floresta tropical e pastagem em Paragominas (PA), encontraram valores pouco discrepantes entre floresta e pasto (2,53% de C em solos cobertos com floresta natural e 2,36% em solos cobertos com pastagem, ambos na profundidade de 0-10 cm).

Vários autores têm observado que a substituição da vegetação nativa por sistemas cultivados provoca diminuição nos teores de C no solo. Para o presente estudo, estimou-se uma

perda do teor de C de 21,9% e 43% na classe de agricultura, 19,2 % e 25,4% para pastagens, nas Microbacias Paiol e Sorocabuçu, respectivamente.

Comparativamente, Detwiller (1986) estimou uma perda no teor de C de 40% no caso de uso de solo em culturas e uma perda de 20% no caso de uso com pastagens, em climas tropicais. Martins *et al.* (1990) observaram, no estado de Pará em solos do tipo Latossolo Podzolizado, um decréscimo de 40% nos teores de C no solo, após apenas 5 anos de cultivo com culturas anuais daqueles encontrados no solo sob vegetação nativa.

Os valores de CV (%) apresentados na Tabela 5.1 variam de 40,93 a 67,11% na Microbacia Paiol dos dados obtidos e de 34,69 a 49,61% na microbacia Sorocabuçu. Segundo alguns autores, normalmente há maior variabilidade do teor de C em superfície do que em profundidade (CASTRIGNANO *et al.*, 2000; CONANT, PAUSTIAN, 2001; CERRI *et al.*, 2004).

Assim como nos valores de teor de C, os maiores teores de N ocorreram também para a classe VNR (Tabela 5.2). Nesta classe de cobertura do solo e também na classe pastagem, a microbacia Sorocabuçu apresentou valores ligeiramente maiores em relação à microbacia Paiol. Ao contrário, os valores para as áreas com reflorestamento e agricultura, mostraram valores iguais em ambas as microbacias.

Tabela 5.2. Valores médios do teor de N e respectivos coeficientes de variação (CV) no solo conforme a classe de cobertura. Todos em %.

Classe de cobertura	Paiol		Sorocabuçu	
	Média	CV	Média	CV
VNR	0,34	37,91	0,37	39,73
Reflorestamento	0,21	29,78	0,21	38,48
Pastagem	0,18	55,58	0,20	36,87
Agricultura	0,16	52,76	0,16	41,48

Os valores de teores de N em solos cobertos por floresta obtidos por Bernoux *et al.* (1999) (0,12 e 0,24% para profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente) são inferiores quando comparados aos valores obtidos nos solos da microbacias deste estudo, com 0,21% para ambas as

microbacias. O valor médio obtido para a classe pastagem em Paragominas (0,18%) foi igual ao teor de C na microbacia Paiol e similar ao valor do 0,20% da Microbacia Sorocabuçu.

Apesar de haver propriedades na microbacia do rio Sorocabuçu que praticam a agricultura orgânica, os dados de concentração de C e N revelam que este diferenciado modo de agricultura ainda não está causando diferenças, ao menos sob o ponto de vista destas variáveis, em termos de recuperação do solo.

5.2. Densidade do Solo e Estoque de Carbono.

Conforme mencionado páginas atrás, os valores de densidade apresentados anteriormente (Tabelas 4.1 e 4.2) representam o valor médio para cada classe de cobertura de solo, considerando todos os pontos coletados. Em relação à pastagem, o maior valor médio foi de 1,05 g.cm⁻³ na microbacia Sorocabuçu e 0,98 g.cm⁻³ na microbacia Paiol. Tal resultado reflete a compactação do solo devido ao pastejo dos animais no local.

As variações observadas são concordantes com os resultados obtidos por Moraes *et al.* (1996) para a mesma camada e foram similares àquelas encontradas por Cerri *et al.* (2004) na camada 0-20 cm, em pastagens estabelecidas em Rondônia entre 1983 e 1989. Comparativamente, Desjardins *et al.* (2004) observaram valores de densidade ligeiramente superiores numa cronosequência de pastagem estabelecida em solo arenoso no Sudoeste da Amazônia (1,54 – 1,60 g.cm⁻³).

Para a agricultura na microbacia Paiol o valor médio de densidade foi 0,96 g.cm⁻³. Na microbacia Sorocabuçu foi 0,95 g.cm⁻³. Tal similaridade indica que, ao menos ainda, não houve diferenciação do sistema de cultivo também sob o ponto de vista físico além dos teores de C e N descritos anteriormente. Os praticantes do cultivo nomeadamente orgânico zelam (ou deveriam zelar) pelo princípio do mínimo revolvimento do solo.

Entretanto, isto parece não estar acontecendo, pois a densidade aparente, mostrado aqui, e a porosidade, verificada em Manfré (2011), de fato, refletem um estado similar das condições físicas dos solos para ambas as microbacias, nas áreas ocupadas por agricultura. De acordo com Streck *et al.* (2004) o uso de máquinas resulta em uma maior compactação superficial (0-20cm), elevando os valores de densidade.

Os valores mais baixos de densidade do solo foram observados para a classe de VNR (média de 0,66 e 0,62 g.cm⁻³ para as Microbacias Paiol e Sorocabuçu, respectivamente). Tais dados indicam o estado estrutural original do solo na região. Esta menor densidade pode ser atribuída ao maior aporte de resíduos orgânicos na área de mata, bem como a não interferência de ação antrópica (PEQUENO *et al.*, 2007).

Os valores médios de estoque de C variaram, em termos gerais, entre 42,30 e 59,54 Mg de C.ha⁻¹ (Tabela 5.3). Para ambas as microbacias, as médias dos valores de estoques de C obedeceram a seguinte ordem decrescente: VNR > reflorestamento > pastagem > agricultura. Esta diferença pode estar associada, dentre outros fatores, às características físicas dos solos, que podem ser fatores tão importantes quanto à fertilidade para produção de plantas e ainda influenciam a taxa de decomposição da MOS.

Tabela 5.3. Valores médios dos estoques de C (em Mg de C.ha⁻¹) e respectivos coeficientes de variação (CV), em %, no solo conforme a classe de cobertura.

Classe de cobertura	Paiol		Sorocabuçu	
	Média	CV	Média	CV
VNR	56,06	30,30	59,54	24,84
Reflorestamento	53,38	33,50	58,91	37,56
Pastagem	48,68	33,35	55,91	29,45
Agricultura	43,45	55,57	42,30	42,54

Para as áreas com reflorestamento, os resultados referentes ao estoque de C para a camada 0-20 cm de profundidade indicaram que o reflorestamento com eucalipto foi a segunda classe de cobertura que acumulou mais C, vindo após a VNR (53,38 e 58,91 Mg C ha⁻¹ para as microbacias Paiol e Sorocabuçu, respectivamente). A diferença entre VNR e reflorestamento foi bem menor para a microbacia Sorocabuçu em relação a microbacia Paiol.

Já os solos sob agricultura apresentaram o menor estoque de C (43,45 e 42,30 Mg C ha⁻¹ para as microbacias Paiol e Sorocabuçu, respectivamente). Esta variável também não apresentou diferença expressiva entre os sistemas de agricultura.

Os valores de CV variaram de 30,30 a 55,57% na microbacia Paiol, com valores similares nas coberturas de reflorestamento e pastagem (Tabela 5.3). Para a microbacia do Sorocabuçu,

variaram de 24,84 a 42,54, com menor valor para cobertura de pastagem. Valores maiores de CV para agricultura em ambas as microbacias, permitem a comparação de valores entre as diferentes propriedades do solo. A maior heterogeneidade espacial na camada superficial do solo de 0-20 cm desta classe pode estar relacionada com fatores como vias de entradas de material orgânico, regime de atividade da fauna do solo e efeitos de distúrbios e do manejo, que são os processos definidores da dinâmica da camada superficial do solo e estão sujeitos a variabilidade espacial elevada (MONTERO, 2008).

Para ambas microbacias, constatou-se alta relação entre teor de C com estoque de C e baixa relação entre densidade aparente em estoque de C. Tais análises de correlação (teor com estoque e densidade aparente com estoque) foram efetuadas, pois se trata de fatores da equação de estimativa do estoque de C (vide Equação 1). Os dados são mostrados nas Figuras 5.1 a 5.4.

As Figuras 5.1 e 5.3 mostram a correlação significativa ($r^2 = 0,73$ Paiol e $r^2 = 0,60$ Sorocabaçu para ambos $\alpha = 5\%$). Para ambas as microbacias, percebe-se que houve maior dispersão dos dados (divergência em relação à linha de tendência central) na região de valores mais altos.

Opostamente, as Figuras 5.2 e 5.4 mostram que os valores de estoques de C, ainda que foram decrescentes em relação aos valores de densidade aparente, apresentaram valor de correlação não significativo ($R^2 = 0,07$ para a Microbacia Paiol e $R^2 = 0,12$ para a Microbacia Sorocabaçu).

Salimon (2003) ao estudarem os estoques de C na conversão de floresta para pastagens no sudoeste da Amazônia, observaram que maiores estoques de C estavam relacionados com maiores densidades e teores de C em distintas profundidades. Porém, os valores diferiram apenas na profundidade de 0-5 cm.

Apesar de existirem incertezas nestas estimativas, devido às variações na densidade dos solos, dos métodos de cálculo e da variabilidade espacial e temporal dos teores de C, os resultados levam a crer que, de fato, mudanças ecológicas estão ocorrendo nos solos devido à mudança na sua cobertura. Isto será comentado na parte de análise estatística.

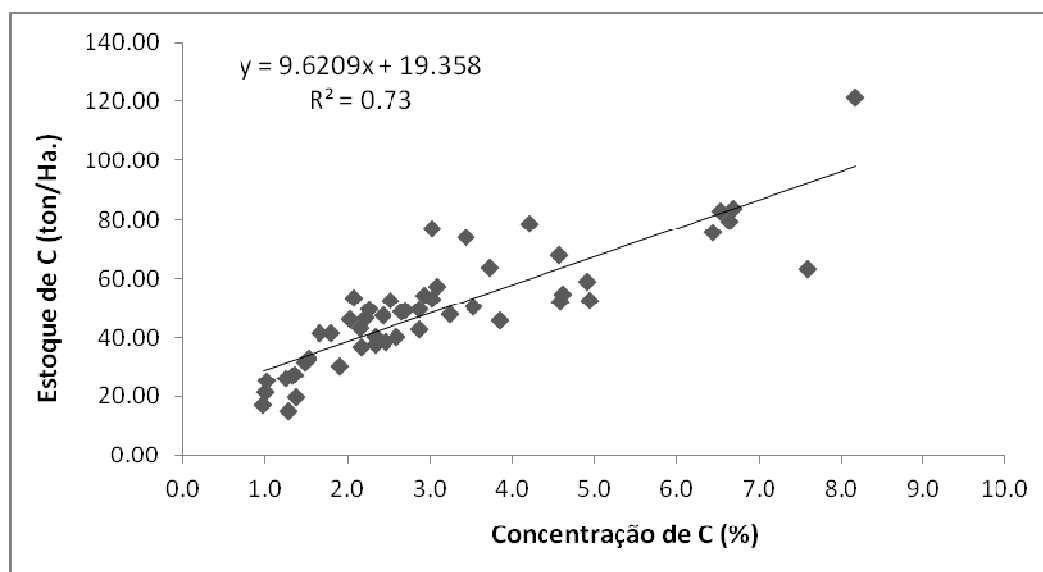


Figura 5.1. Relação entre estoque e concentração de C na microbacia Paiol. Camada de 0-20 cm.

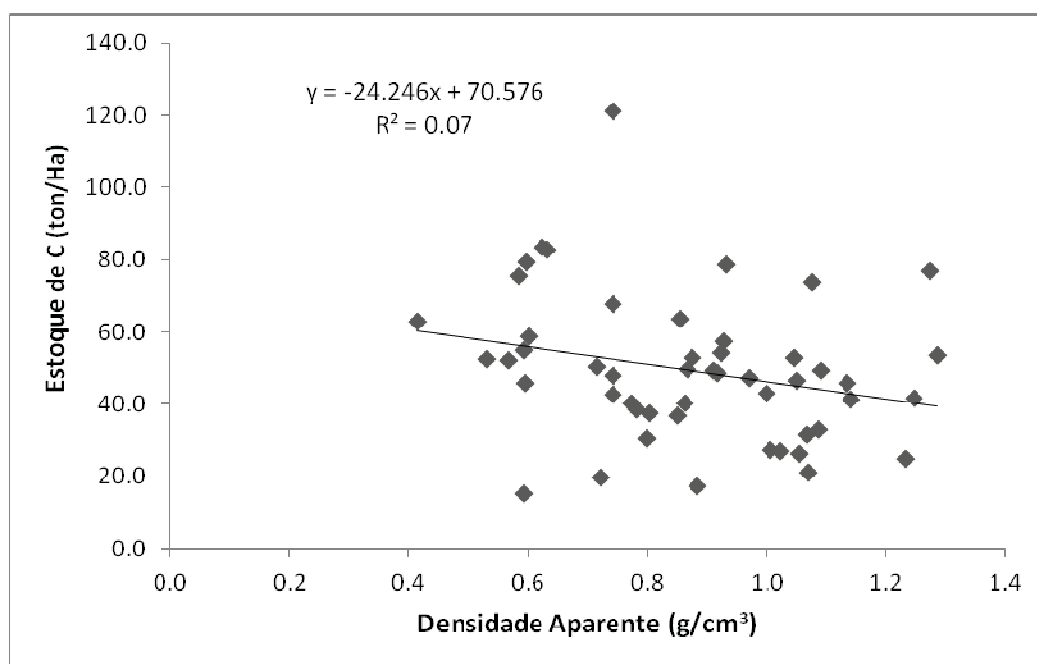


Figura 5.2. Relação entre estoque de C e densidade aparente na microbacia Paiol. Camada de 0-20 cm.

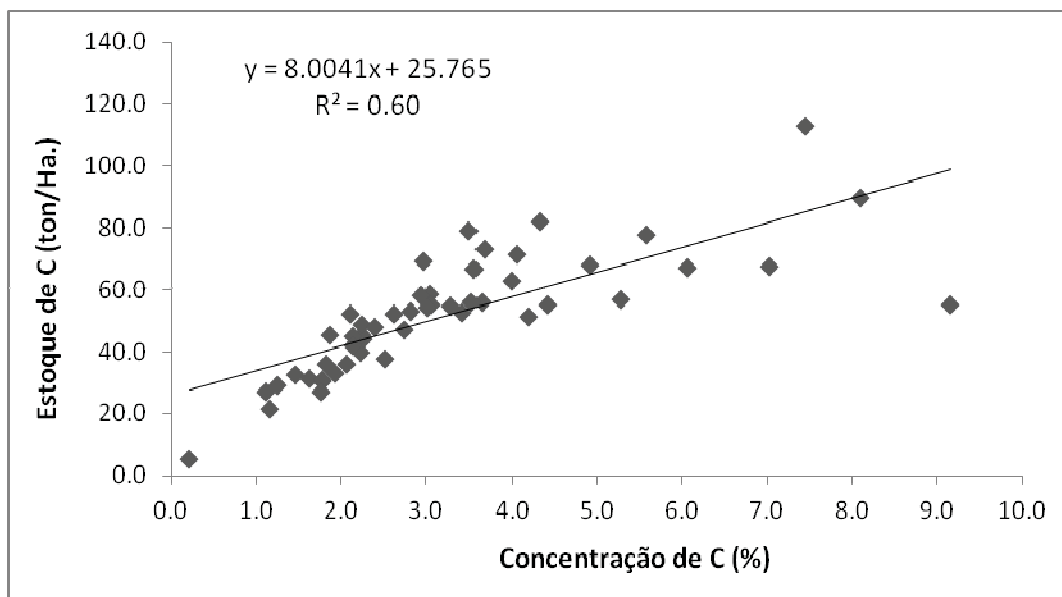


Figura 5.3. Relação entre estoque e concentração de C na microbacia Sorocabuçu. Camada 0-20 cm.

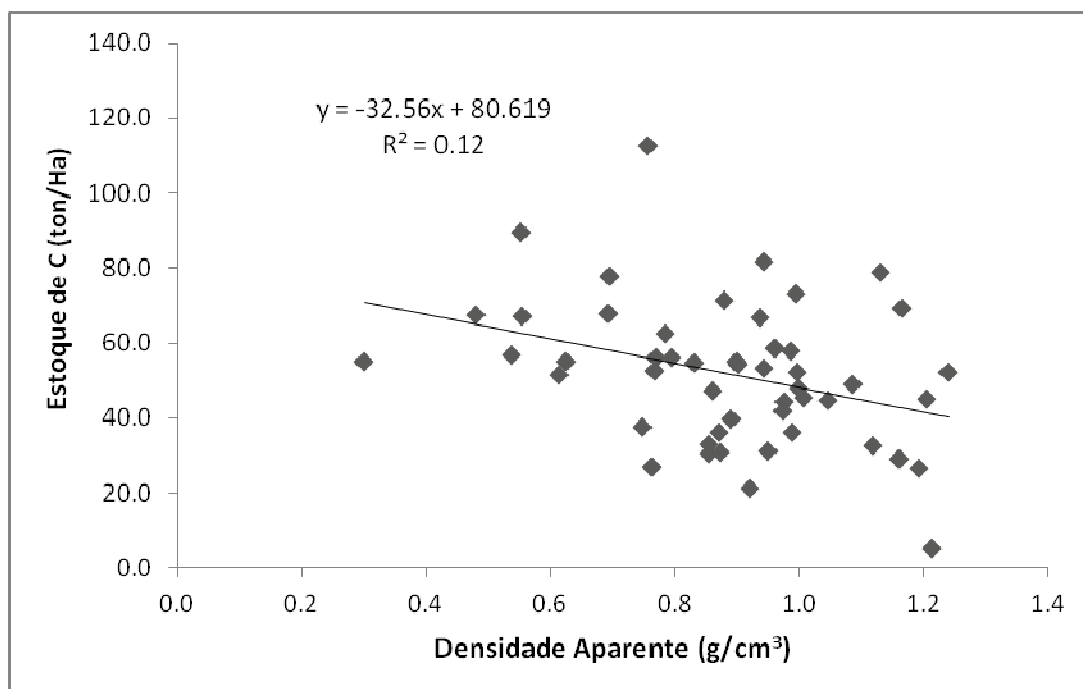


Figura 5.4. Relação entre estoque de C e densidade aparente na microbacia Sorocabuçu. Camada de 0-20 cm.

5.3. Relação entre teores de C e N.

Observou-se correlação positiva entre os teores de C e N no solo. Houve bom grau de ajuste estatístico ($r^2 = 0,92$) em ambas as microbacias (Figura 5.5). Tal relação já vem sendo amplamente relatada na literatura e foi confirmada também neste estudo. Devido à complexidade de determinação do teor de N do solo e do fato da determinação do teor de C ser relativamente mais fácil e rápido, as equações mostradas nos gráficos da Figura 5.5 poderiam ser consideradas função de pedotransferência para uso, ao menos, em escala regional. Neste caso, para as equações mostradas nos gráficos da Figura 5.5., “x” corresponde ao teor de C (em%) e “y” corresponde ao teor de N, também em %.

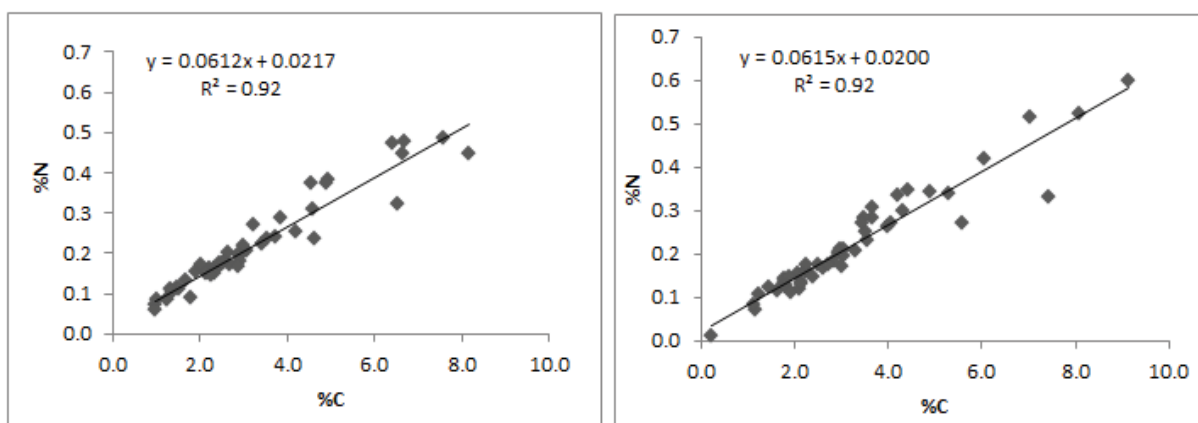


Figura 5.5. Relação entre os teores de C e N para a Microbacia Paiol (esquerda) e para a Microbacia Sorocabuçu (direita).

Para a relação C/N houve variação entre as classes de cobertura e, de forma diferenciada, entre as microbacias (Tabela 5.4). Em ambas as microbacias o maior valor observado foi para a área sob reflorestamento. Para a microbacia do Paiol, o segundo maior valor foi para solos com pastagem, seguido por solos com agricultura e, por fim, solos cobertos com VNR. Na microbacia do Sorocabuçu o segundo maior valor foi solos com agricultura, seguido por solo coberto com VNR e finalmente, com pastagem.

Valores similares para VNR foram obtidos por Manfrinato *et al.* (2001), na região costeira do estado de Paraná, com valores de 12,48 para VNR em comparação com 13,64 e 14,31 para as Microbacias Paiol e Sorocabuçu, respectivamente.

Quanto aos valores de pastagem, as microbacias Paiol e Sorocabuçu apresentam valores muito similares ao obtido também por Manfrinato *et al.*, (2001) (14,54) para uma área de pastagem com 10 anos de implantação.

Tabela 5.4. Valores médios da relação C/N e respectivos coeficientes de variação (CV, em %) no solo conforme o tipo de cobertura do solo.

Classe de cobertura	Paiol		Sorocabuçu	
	Média	CV	Média	CV
VNR	13,64	9,47	14,31	10,80
Reflorestamento	15,88	16,63	17,05	15,12
Pastagem	14,84	14,57	13,90	9,53
Agricultura	14,27	11,01	14,39	11,44

5.4. Carbono lábil.

O C lábil (CL) apresentou valores muito similares entre as classes de uso (Tabela 5.5). Maiores teores foram encontrados na microbacia Sorocabuçu, o que pode sugerir que seja um indicador de algum reflexo da diferenciação entre sistemas de uso ou manejo onde se preconiza o uso de agricultura orgânica em relação aos sistemas convencionais, como foi o caso do presente estudo.

Tabela 5.5. Valores médios do C lábil e respectivos coeficientes de variação (CV) no solo conforme o tipo de cobertura do solo. Todos os valores em %.

Classe de cobertura	Paiol		Sorocabuçu	
	Média	CV	Média	CV
VNR	1,65	61,94	2,00	54,19
Reflorestamento	1,54	65,55	2,14	54,35
Pastagem	1,57	65,13	2,17	54,41
Agricultura	1,56	63,76	1,96	55,52

Valores de C lábil entre VNR e agricultura (independentemente do tipo de agricultura, convencional ou orgânica) das duas microbacias são mais próximos entre si do que o valor de C lábil entre a similaridade de pastagem e reflorestamento das duas microbacias. A diferença das outras categorias de usos, nas áreas com atividade de pastagem, onde há baixa produtividade, pode indicar que há uma baixa produção de matéria vegetal.

Maiores valores de C lábil para sistemas de agricultura orgânica podem ser provavelmente decorrentes das maiores produtividades das culturas. Isto causaria um aumento no retorno de substratos orgânicos para o solo, por meio da parte aérea, raízes e exsudatos, em relação aos sistemas convencionais (LEITE *et al.*, 2003).

Nas Figuras 5.7 e 5.8 apresentam-se os *Box plots* para as microbacias Paiol e Sorocabuçu, respectivamente. A distribuição da variável C lábil (%) é apresentada segundo as coberturas dos usos do solo. Observando a figura, verifica-se que o uso da VNR possui valores de C lábil (%) em geral maiores que os C lábil dos demais usos (agricultura, pastagem e reflorestamento) para ambas as microbacias.

Os limites superiores e inferiores poderiam indicar maior sensibilidade das porcentagens de C aos efeitos das alterações nas práticas de manejo, uma rápida mineralização provavelmente devida à natureza lábil dos seus constituintes.

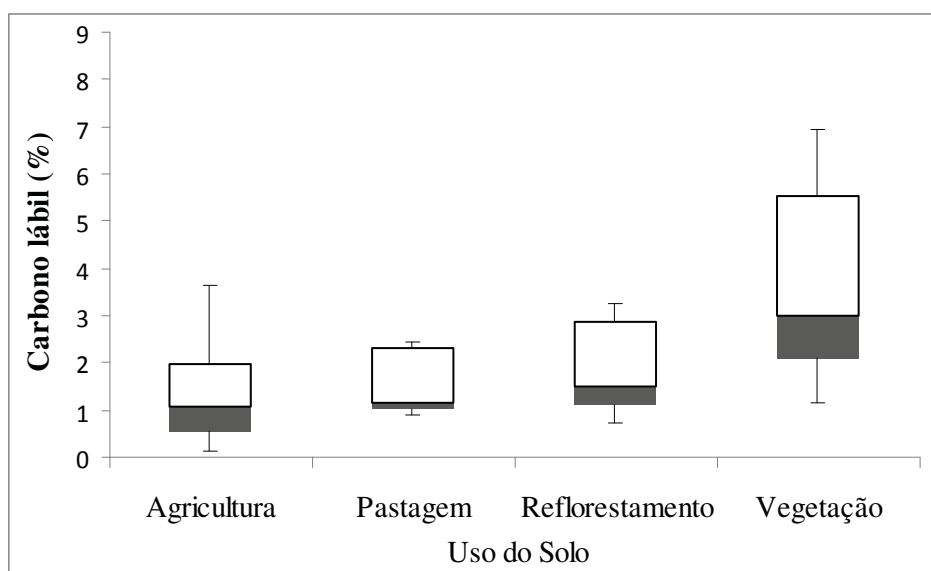


Figura 5.6. *Box Plot* dos valores de C lábil, com seus respectivos limites (superior e inferior) da microbacia Paiol.

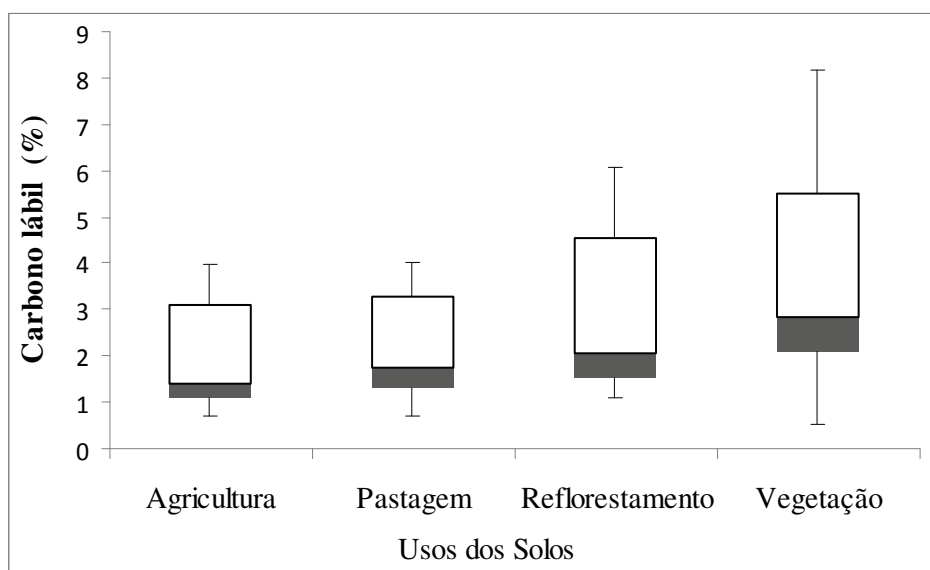


Figura 5.7. Box Plot dos valores de C lábil, com seus respectivos limites (superior e inferior) da microbacia Sorocabuçu.

5.5. Índice de Manejo de Carbono (IMC).

Todos os valores do IMC foram inferiores a 100% em todas as classes de uso, variando em uma abrangência de 74 – 42 % em ambas as microbacias.

Maiores valores foram observados para reflorestamento, destacando a microbacia Sorocabuçu com 74,44% (Tabelas 5.6 e 5.7). Tal valor denota que o manejo implantado nesse local, com maior aporte de resíduos vegetais, contribui para aumentar a capacidade de preservação e recuperação dos teores e/ou da qualidade das frações orgânicas presentes nos solos.

Tabela 5.6. Índice de compartimento de C (ICC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de C (IMC), na profundidade de 0-20 cm da Microbacia Paiol. Valores em %.

Classe de Cobertura	ICC	L	IL	IMC
VNR		1,62		
Reflorestamento	0,73	1,54	0,95	69,59
Pastagem	0,58	1,57	0,97	56,38
Agricultura	0,52	1,56	0,93	50,35

Tabela 5.7. Índice de compartimento de C (ICC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de C (IMC), na profundidade de 0-20 cm da Microbacia Sorocabuçu. Valores em %.

Classe de Cobertura	ICC	L	IL	IMC
VNR		2,02		
Reflorestamento	0,70	2,14	1,06	74,44
Pastagem	0,52	2,17	1,07	55,75
Agricultura	0,43	1,96	0,97	41,72

Estes resultados indicam que os solos usados para fins agrícola estão sofrendo reduções drásticas nos estoques de C e alterações consequentemente no IMC. Segundo Shang, Tiessen, (1997), é preciso considerar o fato que o IMC, mostra-se dependente do clima e do tipo de solo analisados. Ainda, segundo estes autores, este índice requer ajustes para diferentes tipos de solo e se mostra dependente do método utilizado para determinar os teores de C, em cada fração da MOS, razões explicadas nos procedimentos analíticos para determinar o C lábil, no tópico 4.3.2.

5.6. Isótopos de Carbono e Nitrogênio.

Os dados de isótopos de C indicam valores médios de -26,22‰ e -26,95‰ para os solos sob VNR, respectivamente para as microbacias Sorocabuçu e Paiol (Tabela 5.8). Valores bastante similares entre si. Comparativamente, Silva *et al.* (2009) encontraram em Sorocaba-SP valor de -24,02‰ num solo coberto com fragmento de vegetação do bioma Mata Atlântica (mesmo bioma das áreas deste estudo). Costa *et al.* (2009) verificaram valores variando entre -29,08‰ e -26,11‰ para solos cobertos por vegetação de Mata Atlântica na região sul da Bahia. Siqueira Neto (2006) encontrou valor de -25,00‰ para solos cobertos com vegetação de Cerrado.

Tabela 5.8. Valores médios da composição isotópica do $\delta^{13}\text{C}$ (em ‰) e respectivos coeficientes de variação (CV, em %) no solo conforme o tipo de cobertura do solo.

Classe de cobertura	Paiol		Sorocabuçu	
	Média	CV	Média	CV
VNR	-26,95	3,13	-26,22	7,32
Reflorestamento	-23,39	13,52	-26,09	7,28
Pastagem	-21,04	7,88	-20,32	10,69
Agricultura	-21,36	8,35	-21,75	14,27

Na microbacia do Sorocabuçu o valor médio para solo coberto com reflorestamento ficou muito próximo do valor médio de VNR, enquanto que para a microbacia do Paiol a média para este mesmo tipo de uso ficou pouco acima do solo das áreas de referência (áreas com VNR). Neste caso, para a microbacia do Paiol parece haver alguma influência de outro tipo de vegetação, provavelmente gramíneas, que faz com que o valor do $\delta^{13}\text{C}$ seja pouco maior em relação a microbacia do Sorocabuçu.

Segundo Vogel (2003), o ciclo C_3 ocorre em aproximadamente 85% das espécies de plantas dominantes em muitos ecossistemas terrestres. Nelas o $\delta^{13}\text{C}$ varia de -30‰ a -24‰, com média de aproximadamente -27‰. Segundo Mendonça *et al.* (2010), nas plantas C_4 , $\delta^{13}\text{C}$ varia de -16 a -10‰, com média de aproximadamente -12,5‰. Espécies C_4 representam menos que 5% nas florestas, mas são dominantes em ecossistemas quentes. Esses valores da atual vegetação da região de Ibiúna são compatíveis com o ciclo fotossintético C_3 .

As áreas com pastagem apresentaram valores diferenciados em relação à área de referência. Segundo a literatura, normalmente, à medida que as pastagens tornam-se mais antigas, o $\delta^{13}\text{C}$ do solo aumenta progressivamente. Tal enriquecimento é devido à entrada de material vegetal rico em C-13 proveniente da pastagem (BERNOUX *et al.*, 1999). Contudo, esta variação é muito mais pronunciada na camada superficial (COSTA *et al.*, 2009). Exemplificando, Bernoux *et al.*, (1999) mostraram valores na camada superior sob floresta natural de $\delta^{13}\text{C}$ de -27,7‰. Este valor é um pouco menor em comparação aos valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados na Microbacia Paiol (-26,95‰) e na Microbacia Sorocabuçu (-26,22‰).

Comparativamente Silva *et al.* (2009) encontraram valor de -19,37‰ para solos cobertos com pastagem em Sorocaba-SP. Ainda que não se sabe ao certo a idade das pastagens em Ibiúna,

ao que tudo indica a grande maioria possui dez anos ou mais de existência. Neste sentido, os dados aqui levantados são concordantes com as observações feitas por Costa *et al.* (2009) em pastagem cultivada no sul da Bahia, onde os autores registraram valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -21,04‰ e -23,96‰ para pastagem com nove anos de implantação.

Uma vez mais não foi notada diferença entre os sistemas de cultivos, tanto nos dados do $\delta^{13}\text{C}$, como nos dados de $\delta^{15}\text{N}$ (Tabela 5.9). Contudo, tanto para os dados de C como para os dados de N, as áreas de pastagem mostraram-se mais similares entre si em termos de assinatura isotópica do que as áreas de agricultura e as outras duas classes de cobertura.

Os fatores que podem afetar a concentração de $\delta^{15}\text{N}$ são: natureza do solo, clima, tipo de vegetação, adição de fertilizantes nitrogenados e presença de gado (UNKOVICH *et al.*, 2001). Os dois últimos fatores citados parecem estar influenciando de forma marcante a dinâmica do ^{15}N local. Verifica-se forte possibilidade de uso de estrume bovino na adubação. Valor notavelmente diferente foi observado para áreas com reflorestamento entre as duas microbacias estudadas, onde se verificou valor maior na microbacia Paiol.

Tabela 5.9. Valores médios da composição isotópica do $\delta^{15}\text{N}$ (em ‰) e respectivos coeficientes de variação (CV, em %) no solo conforme o tipo de cobertura do solo.

Classe de cobertura	Paiol		Sorocabuçu	
	Média	CV	Média	CV
VNR	6,50	14,54	6,21	19,54
Reflorestamento	7,82	13,60	6,50	14,54
Pastagem	8,49	14,61	8,44	15,47
Agricultura	8,25	12,11	8,75	20,09

5.7. Diluição Isotópica.

Visando determinar a contribuição relativa de cada um dos tipos de plantas na composição da MOS, considerou-se que a origem do C no solo na sucessão das plantas C_3 e C_4 foram determinadas, nas amostras dos solos, pelos valores de $\delta^{13}\text{C}$. Assumiu-se como valores de referência 26,95‰ para Paiol e -26,22‰ para a Microbacia Sorocabuçu. Multiplicado-se o

estoque de C por %C₄, teremos a massa de C no solo oriundo das plantas C₄. Faz-se o mesmo para obter a massa de C no solo oriundo das plantas C₃ (MARTINELLI *et al.* 2009).

As Tabelas 5.10 e 5.11 apresentam as quantidades de C provenientes de cada grupo de plantas (C₃ ou C₄) nas diferentes classes de cobertura para ambas as microbacias estudadas. A proporção entre plantas C₃ e C₄ na MOS dos solos sob pastagem das microbacias Paiol e Sorocabuçu, estão perto da equivalência. Há de se destacar o amplo contraste observado de valores nas áreas de solos sob reflorestamento, mais notadamente na microbacia do Sorocabuçu (99% e 1%).

Tabela 5.10. Quantidades de C remanescente conforme as classes de cobertura usando os valores da abundância isotópica para a microbacia do Paiol.

Classes de Cobertura	C (t ha ⁻¹)	%C ₄	%C ₃	C-C ₄ (t ha ⁻¹)	C-C ₃ (t ha ⁻¹)
Reflorestamento	53,4	25	75	13,4	40,0
Pastagem	48,7	41	59	19,9	28,7
Agricultura	43,5	39	61	16,9	26,5

Tabela 5.11. Quantidades de C remanescente conforme as classes de cobertura usando os valores da abundância isotópica para a microbacia do Sorocabuçu.

Classes de Cobertura.	C (t ha ⁻¹)	%C ₄	%C ₃	C-C ₄ (t ha ⁻¹)	C-C ₃ (t ha ⁻¹)
Reflorestamento	58,9	1	99	0,6	57,7
Pastagem	55,9	45	54	25,2	30,2
Agricultura	42,3	36	64	15,2	27,1

No caso do N, a determinação foi feita usando valores $\delta^{15}\text{N}$, tomando como base 6,50‰ para Microbacia Paiol e 6,21‰ para a Microbacia Sorocabuçu (Tabela 5.12), nas amostras dos solos, usando as equações 7 e 8. Percebe-se que nas áreas de reflorestamento da microbacia Paiol, a proporção das plantas C₃ e C₄ é quase a mesma na composição da MOS. A diferença está marcada nas demais classes de uso da terra em ambas as microbacias, onde a proporção apresenta valores maiores nas plantas C₄.

Tabela 5.12. Quantidades de C remanescente (%) dos diferentes usos dos solos usando os valores da abundância isotópica $\delta^{15}\text{N}$.

Classes de Cobertura	Paiol		Sorocabuçu	
	C ₃	C ₄	C ₃	C ₄
Reflorestamento	53	47	91	9
Pastagem	29	71	28	72
Agricultura	38	62	20	80

5.8. Análise Estatística.

Os parâmetros analisados foram tabulados numa planilha eletrônica, o que permitiu a organização dos dados de acordo com as classes coberturas do solo e com as microbacias hidrográficas. Desta forma, os dados foram exportados para o programa BioEstat 5.0 (BIOESTAT 5.0), onde foi extraída a análise de variância usando o teste de Kruskal-Wallis ou conhecido como Teste H e o teste t de Student.

5.8.1. Teste de Kruskal-Wallis.

Seguindo recomendações observadas no manual do software Bioestat 5.0 (AYRES, AYRES Jr., 2007), optou-se fazer a comparação das médias dos postos pelo método de Dunn, devido ao fato de ser mais conservador que o método Student-Newman-Keuls, além de retificar o nível alfa conforme o número de amostras: nível alfa/(k(K-1)), sendo k o número de amostras.

A Tabelas 5.13 e 5.14 mostram valores de p ($\alpha = 5\%$). Para ambas as microbacias, obteve-se valores significativos para quase todas as variáveis, com exceção do estoque de C. A variável que certamente influenciou os resultados do estoque de C foi a densidade do solo. Para estas duas variáveis (estoque de C e densidade do solo) a correlação foi extremamente baixa (vide Figuras 5.2 e 5.4).

Devido ao fato de não ter sido realizadas análises de outras variáveis químicas dos solos, fica a questão sobre a possível influência de variáveis físicas sobre outras variáveis químicas no solo, principalmente em termos de estoque, além das que foram aqui estudadas.

Tabela 5.13. Análise estatística de distintas variáveis na microbacia Paiol.

Variável	Valor H	Graus de Liberdade	Kruskal-Wallis (p)	Ns	p < 5%
$\delta^{15}\text{N}$	16,65	3	0,0008	4	2
N	14,15	3	0,0027	4	2
$\delta^{13}\text{C}$	24,18	3	<0,0001	4	2
Teor de C	13,02	3	0,0046	5	1
Estoque de C	5,68	3	0,1281	-	-
C lábil	17,63	3	0,0005	4	2

Ns – número de valores Não Significativos.

Tabela 5.14. Análise estatística de distintas variáveis na Microbacia Sorocabuçu.

Variável	Valor H	Graus de Liberdade	Kruskal-Wallis (p)	Ns	p<0.05
$\delta^{15}\text{N}$	21,54	3	<0,0001	4	2
N	15,17	3	0,0017	1	5
$\delta^{13}\text{C}$	28,53	3	<0,0001	4	2
C	16,42	3	0,0009	4	5
Estoque de C	8,10	3	0,0439	6	-
C lábil	8,39	3	0,0385	5	1

Ns – Número de valores Não Significativos.

O teste de Kruskal-Wallis mostrou também que os valores médios da variável “isótopos de C e N” são similares e “teores de C e N” são iguais nas duas microbacias (Tabela 5.15).

Tabela 5.15. Diferenças entre valores médios mostrados segundo as classes de cobertura.

Variáveis	Classes de cobertura Microbacia Paiol (p<0.05)	Classes de cobertura Microbacia Sorocabuçu (p<0.05)
$\delta^{15}\text{N}$	Agricultura-Vegetação Pastagem-Vegetação	Agricultura- Reflorestamento Agricultura-Vegetação Pastagem-Vegetação
N	Agricultura-Vegetação Pastagem-Vegetação	Agricultura-Vegetação
$\delta^{13}\text{C}$	Agricultura-Vegetação Pastagem-Vegetação	Agricultura- Reflorestamento Agricultura-Vegetação Pastagem-Reflorestamento Pastagem- Vegetação
C	Agricultura-Vegetação Pastagem-Vegetação	Agricultura-Vegetação

5.8.2. Teste t de Student.

Neste tópico apresentam-se resultados da análise comparativa entre as classes: cultivo orgânico (B.H. Sorocabuçu) e cultivo convencional (B.H. Paiol). A partir das análises do teste t de Student foi possível avaliar se houve diferença entre os usos para as variáveis analisadas (Tabela 5.16). Observa-se que todos os valores de t evidenciam que as diferenças são “não significativas” ($\alpha = 5\%$), para todas as variáveis analisadas.

Tabela 5.16. Valores de t para diferentes variáveis para as ambas microbacias.

Variável	Valor t	Graus de Liberdade	Diferença entre as médias	p - valor
$\delta^{15}\text{N}$	-1,10	30,41	-0,50	0,28
N	0,17	37,00	0,004	0,87
$\delta^{13}\text{C}$	0,49	30,59	0,39	0,63
C	0,30	29,17	0,13	0,77
C lábil	-1,93	37	0,41	0,06
Estoque de C	0,24	37	1,66	0,81

Valarini *et al.* (2011) obtiveram resultados que indicaram que, tanto para a agricultura convencional quanto para a agricultura orgânica, as práticas agrícolas utilizadas, tais como a preparação mecanizada e intensiva e a falta de cobertura do solo, a ausência de rotação de culturas com diferentes sistemas radiculares, e o baixo uso de adubação verde proporcionaram degradação do solo, na microrregião de Ibiúna, mostrando também uma similaridade nos sistemas de manejo da agricultura que se desenvolve nestas microbacias hidrográficas.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Nas microbacias Paiol e Sorocabuçu, os teores de C e N apresentam a ordem de concentração em termos decrescente: reflorestamento > pastagem > agricultura, valores similares entre as classes de uso da terra, o que indica que não há diferença nos tratamentos desenvolvidos nas duas microbacias, embora haja dois tipos de agricultura (orgânica e convencional).

Houve alteração progressiva dos estoques de C, ou seja, a partir da floresta, o estoque de C do solo diminuiu com a introdução da pastagem.

As diferenças mais notáveis foram observadas nos solos cobertos por pastagem ou culturas agrícolas, sendo que em alguns momentos o reflorestamento reflete também esta mudança, ainda que a mudança seja discreta.

As concentrações de C e N estão fortemente associadas entre si, devido à alta correlação observada entre os teores destes elementos.

O uso de isótopos estáveis proporcionou informação importante sobre a qualidade do solo, indicando a possível presença de fatores externos (estrume, adubos) no tratamento do solo, dando importância ao uso agrícola, em especial o isótopo de N.

O estudo de C lábil indicou maiores conteúdos de material vegetal para VNR e reflorestamento, seguidos pelos usos da pastagem e agricultura, usos que conferem maior impacto na sua camada superficial.

Pelo cálculo do IMC observou-se valores sempre inferiores a 100%, mostrando o estado de degradação do solo, indicando um impacto negativo das práticas de manejo sobre os teores da matéria orgânica e qualidade do solo.

Os resultados das análises de solo apontaram grande semelhança entre os cultivos orgânico e convencional, não havendo distinção estatística.

Não foi observada diferença estatisticamente significativa entre solos cultivados de forma considerada orgânica e cultivados sob a forma convencional para as variáveis analisadas. O que pode estar ligado à semelhança nos processos de preparo do solo para as duas formas de manejo. Com isso, descarta-se a premissa de que o cultivo orgânico viabiliza recuperação mais rápida das características do solo.

Destaca-se que o preparo mecânico dos solos, para os dois cultivos nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, é intenso. Com uso de maquinários pesados, há interferência na estrutura física e, conseqüentemente, na densidade aparente e porosidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ALEGRE, J.; AREVADO, L.; RICSE, A.; CALLO-CONCHA, D., PALM, C. 2004. Secuestro de carbono com sistemas alternativos en el Perú. In: Müller, M.W.; Gamarodrigues, A.C.; Brandão, I.C.S.F.L. & Seródio, M.H.C.F., Eds. **Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: Sustento da vida e sustento de vida**. Ilhéus, SBSAF/CEPLAC/UENF, p. 27-32.
- AMADO, T.J.C. *et al.* 2001. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.189-197.
- AMADO, T.J.C; CUBILLA M. M.; NICOLOSO R. S.; LOVATO TH. 2007. Fertilización del sistema de producción en siembra directa: importancia en el balance de carbono en el suelo. **XV Congreso de Aapresid. Rosario-Argentina**. Reinención y Prospectiva, p. 167-174.
- ANDRIULO, A., SASAL, C. Y RIVERO, M.L. 2001. Los sistemas de producción conservacionistas como mitigadores de la pérdida de carbono orgánico edáfico. En Panigatti, J. L., Buschiazzo. D., Marelli, H. (Ed). **Siembra Directa II**. INTABA, p.17-27.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. 2007. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.5, pag.1099-1108.
- ARSHAD, M.A.; MARTIN, S., 2002. Identifying Critical Limits for Soil Quality Indicators in Agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 88, p.153-160.
- ASSIS, C.P. de; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de S. NEVES, J.C.L. 2006. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n. 10, p. 1541-1550.
- AYRES, M. & AYRES JR, M. 2007. **Bioestat – Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas – versão 5.0**. UFPA, Belém, PA, p 380.
- BALESDENT, J.; MARIOTTI, A. 1987. Natural ¹³C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 25-30.
- BAYER C., L. MARTIN-NETO, J. MIELNICZUK Y C.A. CERETTA. 2000. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored

- by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil & Tillage Research**, 53, p. 95-104.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. 1997. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n.1, p.105-112.
- BELLO, A.; LOPEZ-PEREZ, J. A.; GARCIA ALVAREZ, A. 2003. **Biofumigación en agricultura extensiva de regadío: producción integrada de hortícolas**. Mundi-Prensa Libros, 670 páginas.Cap.4. p. 140-145.
- BERGSTROM, D.W.;MONREAL, C.M.; JACQUES,E. St. 2001. Influence of tillage practice on carbon sequestration is scale-dependent. **Canadian Journal of Soil Science**, Edmonton, v.81, p. 63-70.
- BERNOUX, M., FEIGL, B. J., CERRI, C. C. et al. 1999. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronossequência de floresta tropical - pastagem de Paragominas. **Scientia Agricola**. 56, p. 777-783.
- BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; NEILL, C.; MORAES, J. L. 1998. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. **Geoderma**, Amsterdam, v. 82, n. 1-3, p. 43-58.
- BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a Carbon Management Index, for agricultural systems. **Australian Journal Agricultural Research**, 46, p.1459-1466.
- BOUTTON, TH.W.;YAMASAKI,SH. 1996. Mass Spectrometry of Soils. M. Dekker, Inc.New York. 517 p. cap.2.p.47-82.
- BREMER, E.; ELLERT, B.H.; JANZEN, H.H. 1995. Total and light-fraction carbon dynamics during four decades after cropping changes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 59, p. 1398-1403.
- BRUCE J.P., M. FROME, E. HAITES, H. JANZEN R. LAL. 1999. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, 54, p. 382-389.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, 56, p.777-783.

- CAMPBELL, C.; R. MYERS Y K. WEIER, 1981. Potentially mineralizable nitrogen, decomposition rates and their relationship to temperature for five Queensland soils. **Soil Science Research**, 19: p.323-332.
- CARREIRA, D. 2005. Carbono oxidable. Una forma de medir la materia orgánica del suelo. En: L Marbán & S Ratto (eds.). **Tecnologías en análisis de suelos**. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, p. 91-102.
- CASTRIGNANO, A.; GIUGLIARINI, L.; RISALITI, R.; MARTINELLI, N. 2000. Study of spatial relationships among soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. **Geoderma**, v. 97, p. 39–60.
- CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. 1999. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23, p. 997 – 1003.
- CERRI, C.C.; FERNANDES, F.A.; BERGAMIN, A.H. 2007. ^{13}C e a Dinâmica do carbono orgânico do solo em pastagem cultivada no pantanal sul-mato-grossense. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, p.11-12.
- CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C.; PAUSTIAN, K.; BERNOUX, M.; MELLILO, J.M. 2004. Combining soil C and N spatial variability and modeling approaches for measuring and monitoring soil carbon sequestration. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 33, p. 274– 288.
- CERRI, C. C. 1986. **Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo no Agrossistema de Cana-de-Açúcar**. Tese (Livre-docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP.
- CERRI, C.C.; FELLER, C.; BALESSENT, J.; VICTORIA, R.; PLENECASSAGNE, A. 1985. Application du traçage isotopique naturel em ^{13}C , à l'étude de la dynamique de la matière organique dans le sols. **Comptes Rendu Academie Seances Paris**, série II, t.300, 9, p. 423-428.
- COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS. 2006. **Nossas Águas**. Sorocaba: Comitê de Bacias Hidrográficas dos Rios Sorocaba e Médio Tietê. Brasil.
- CONANT, R. T.; PAULISTIAN, K. 2001. Spatial variability of soil organic carbon in grassland: implications for detecting change at different scales. **Environmental Pollution**, London, v. 116, p. 127–135.

- CHAN, K. Y. 1997. Consequences of changes in particulate organic carbon in Vertisols under pasture and cropping. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 61:1376-1382.
- CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. 2001. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, n. 1, p. 61-67.
- CHAPÍN FS, P MATSON & H MOONEY 2002. **Principles of terrestrial ecosystem ecology**. Springer, New York, New York, USA. 436 pag.
- COSTA, O.V. CANTARUTTI, R.B., FONTES, L.E.F., COSTA, L.M., NACIF, P.G.F., FARIA, J.C. 2009. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33, p. 1137 – 1145.
- DAWSON, T. E.; BROOKS, P. D. 2001. Fundamentals of stable isotope chemistry and measurement. In: Unkovich M. *et al.* (Ed.). **Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, cap. I, p. 1-18.
- DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. 2004. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 365-373.
- DETWILLER, R. P. 1986. Land use changes and the global carbon cycle: the role of tropical soils. **Biogeochemistry**, v. 2, p. 67-93.
- DIEKOW, J. *et al.* 2005. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.268, n.1-2, p.319-328.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KÖGEL-KNABNER, I. 2005. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a Southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil Tillage Research**, 81, p.87-95.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAM, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, p. 3-21. (Special Publication, 35).

- DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, 15, p. 3-11.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.M. 1989. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Eds) **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii, p.33-67.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. 2007. **Relatório**. Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.embrapa.br>. Acesso em: 30 agosto. 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. 2003. **Banco de dados climáticos do Brasil**. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS. Disponível em: <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 10 Ago. 2010.
- FARQUHAR, G. D., EHLERINGER, J. R. AND HUBICK, K. T. 1989. Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 40, p. 503-537.
- FERNANDEZ, F. A., CERRI, C. C.; FERNANDES, A. H. B. M. 2007. ^{13}C e a Dinâmica do Carbono Orgânico do Solo em Pastagem Cultivada no Pantanal Sul-mato-grossense. **Brazilian Enterprise for Agricultural Research - EMBRAPA**, 74. Endereço: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/BP74.pdf>.
- FREIRE, M. R. 2006. A importância da matéria orgânica para o cafeeiro. **Revista Campo e Negócios**. Acesso em: março 2011. Disponível em http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/artigos/mat_org_cafeeiro.html.
- FROGBROOK, Z.L.; OLIVER, M.A.; SALAH, M.; ELLIS, R.H. 2002. Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. **Soil Use and Management**, New York, v. 18, p. 1-9.
- GOOVAERTS, P. 1999. Using elevation to aid the geostatistical mapping of rainfall erosivity. **Catena**, Amsterdam, v. 34, p. 227-242.
- JANZEN, H.H. *et al.* 1992. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society American Journal**, 56, p. 1799-1806.
- JENKINSON, D. S.; RAYNER, J. H. 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. **Journal of Soil Science**, 123, p. 298-305.

- JONATHAN, M. 2005. **Classificação do uso e cobertura do solo em escala regional a partir de sequências temporais de dados MODIS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação). Faculdade de Engenharia, UERJ, p.158.
- KERN J.S.; M.G. JOHNSON. 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. **Soil Science Society of America Journal**, 57, p. 200-210.
- KIEHL, E. J. 1979. **Manual de Edafologia, Relações Solo – Planta**. São Paulo: Agronômica. Cap. 15. Localização Geográfica do Estado do Amazonas, disponível em: <[Http://www.pmm.am.gov.br](http://www.pmm.am.gov.br)> acesso em 03 de março 2011.
- LAL, R. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. **Soil and Tillage Research**, 43, p. 81-107.
- LEITE L.F.C.; MENDONÇA E.S.; NEVES, J.C.L. *et al.* 2003. Estoques de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolos sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, vol 27, p. 821-832.
- LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W. 2000. **Remote sensing and image interpretation**, 4th ed. ISBN 0-471-25515-7, John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- LOPES, A. S. 1994. Manejo: Aspectos químicos. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Solos altamente suscetíveis à erosão**. FCAV-Unesp / SBCS – Jaboticabal – SP - Brasil.
- MACHADO, P.O. 2005. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, 28, p. 239-334.
- MANFRÉ, L.A. 2011. **Fragilidade Ambiental e Qualidade dos solos em duas Bacias Hidrográficas de Uso Rural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), UNESP, Bauru – SP, p. 124.
- MANFRÉ, L.A., RONQUIM, F.M., OGIHARA, V.H., SILVA, A.M., URBAN, R.C. 2010. Potencial de Ocorrências de Avarias Ambientais em Bacias hidrográficas com ocupação rural mediante análise morfométrica. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, 10, p. 23-32.
- MANFRINATO, W.; PICCOLO, M.; CERRI, C.; BERNOUX, M. 2001. Medición de la variabilidad espacial y temporal del Carbono del suelo con el uso de los isótopos estables en

- una transición bosque- pradera en el estado de Paraná, Brasil. **Simposio Internacional de Medición y monitoreo de captura de Carbono en ecosistemas forestales**, Valparaiso –Chile.
- MARTINS, A.; MARIOTTI, A.; BALESSENT, J.; LAVELLE, P.; VUATTOUX, R. 1990. Estimate of organic matter turnover rate in a savanna soil by ^{13}C natural abundance measurements. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 22, p. 517-523.
- MARTINELLI, L. A. *et al.* 1988. Utilização das variações naturais de ^{13}C no estudo de cadeias alimentares em ambientes aquáticos: princípios e perspectivas. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 1, p. 859-882.
- MARTINELLI, L.A.; OMETTO, J.P.; FERRAZ, E.S. 2009. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 144 p.
- MENDONÇA L.A.R.; FRISCHKORN H.; SANTIAGO M.F.; CAMARGO P.L., DE LIMA, J.O.G.; MENDES, J. 2010. Identificação de mudanças florestais por ^{13}C e ^{15}N dos solos da Chapada do Araripe, Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14, p.314–319.
- MELLONI R; MELLONI EGP; ALVARENGA MIN. 2008. Indicadores da qualidade do solo. **Informe Agropecuário** 29: 17-29
- MONTERO, L.L. 2008. **Carbono em solos de cerrado**: vegetação nativa de cerradão versus plantios de *Eucalyptus* e *Pinus*. Tese (Doutorado em Ecologia) Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 130 p.
- MORAIS, J.F.L. 1995. **Propriedades do solo e dinâmica da matéria orgânica associadas às mudanças do uso da terra em Rondônia (RO) -Brasil**. Tese de Doutorado. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo.
- MOTTRAN H. R.; DUDD S.N.; LAWRENCE G.J.; STOTT A.W.; EVERCHED. 1999. New chromatographic, mass spectrometric and stable isotope approaches to the classification of degraded animal fast preserved in archaeological pottery. **Journal of Chromatography**, 833, p. 209-221.
- NADELHOFFER, K.J.; FRY, B. 1994. Nitrogen isotope studies in forest ecosystems. In :LATHJA,K.; MICHENER,R.(Ed.) **Stable isotopes in ecology and environmental science**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, p.22-44.

- OLIVEIRA, J.B. de; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agrônomo; Rio de Janeiro: EMBRAPA-Solos, 1999. 64 p.
- PAULA, T.A.; VALLE, C.L.M. 2007. Quantificação do estoque de carbono no solo e a mitigação da mudança climática. **II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica João Pessoa-PB**. Acesso: http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080220_101451_MEIO-144.pdf.
- PARTON W.J., D.S. SCHIMEL, C.V. COLE; D.S. OJIMA. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains. **Soil Science Society of America Journal**, 51, p.1173-1179.
- PEQUENO, L.; MOTTA, G.; BROGIO, M. P.; SHLINDWEIN, J. A.; CUSTÓDIO, F. A. 2007. Avaliação da densidade do solo e porosidade total em diferentes formas de uso e manejo do solo em Rolim de Moura, Rondônia. **I SEPEX- Seminário de Pesquisa e Extensão Rural**. Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR). Rolim de Moura. 23 de junho de 2007. 5 pag.
- PEREIRA, A. L., BENEDITO, E. 2007. Isótopos estáveis em estudos ambientais: métodos, aplicações e perspectivas. **Revista de Biociências**, v.13, p.16-27.
- PETERSON B.J.; FRY, B. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. **Annual Review on Ecology and Systematics**, v.18, p.293–320.
- PILLON, C. N.; POTES, M.; MORAES, C.; DA CRUZ, L. E. 2004. **Avaliação da dinâmica da matéria orgânica do solo cuidados na interpretação**. Pelotas R.S.: EMBRAPA Clima temperado, 19 p.
- PONCE-HERNANDEZ, R. 2004. **Assessing carbon stocks and modeling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes**. FAO, Roma -Italy, Cap. 4, p. 37- 39.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.19, n.2, p.159-164.
- PRIMAVESI, A. M. 1987. **Manejo ecológico do solo – A agricultura em regiões tropicais**. 9ª edição, Editora Nobel, São Paulo – SP, Brasil.

- RANGEL, O. J. P. 2006. **Estoque e frações da matéria orgânica e suas relações com o histórico de uso e manejo de Latossolos**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - UFLA, Lavras – MG, 186 p.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, T. G.; GUILHERME, L. R. G. 2008. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 429 – 437.
- RIBEIRO JÚNIOR, P. J. 1995. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial dos parâmetros do solo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – ESALQ - USP, Piracicaba, 99 p.
- ROSCOE, R.; BUURMAN, O.; VELTHORST, E. J.; PEREIRA, J. A. A. 2000. Effects of fire on soil organic matter in a “*Cerrado sensu-stricto*” from Southeast Brazil as revealed by changes in $\delta^{13}\text{C}$. **Geoderma**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p. 141-160.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. 1997. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**, escala 1:500000. FFLCH-USP, IPT/FAPESP, São Paulo, Brasil.
- RUFINO, A.M. 2009. **Estoque de carbono em solos sob plantios de eucalipto e fragmento de Cerrado**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 60 p.
- SÁ, J.C.M., C.C. CERRI, R. LAL, W.A. DICK, S.P. VENZKE FILHO, M. PICCOLO Y B. FEIGL. 2001. Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage cronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, 64: 1486-1499.
- SALIMON, C.I. 2003. **Respiração do solo sob floresta e pastagem na Amazônia sul-ocidental, Acre**. Piracicaba. p. 97. Tese (Doutorado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; Ker, J.C.; Anjos, L.M.C. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 5. ed. Viçosa: Embrapa: 2005. 92 p.
- SHRAGLE, E.G.; KOLLING, D. F.; BUSNELLO, F.J.; MATTIAS, J.L.; DENARDIN R.B.N. [s.d.]. **Estoques de carbono no solo em áreas com diferentes idades de exploração e em sistemas não perturbado**. Não publicado. Acesso em Outubro 2011. Acesso: <http://www.unochapeco.edu.br/static/files/trabalhosanais/Pesquisa/Ci%C3%A2ncias%20Ambientais/Edevandro%20Gustavo%20Schragle.pdf>.

- SHANG, C.; TIESSEN, H. 1997. Organic matter lability in a tropical Oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density and magnetic fractionations. **Soil Science**, 162, p.795-807.
- SILVA, A. M., NOGUEIRA, D. P., IKEMATSU, P., SILVEIRA, F. M., BOMBACK, M., ALVES, S. H., PAULA, F. P., CAMARGO, P. B. 2009. Carbon stocks and isotopic composition of the organic matter in soils covered by native vegetation and pasture in Sorocaba, SP, Brazil. **International Journal of Environmental Research**, 3, p.435-440.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; CORAZZA, E.J.; VIVALDI, L. 2004. Carbon storage under cultivated pastures in a clayey Oxisol in the Cerrado Region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 357-363.
- SILVA, C. A., ANDERSON, S. J., VALE, F. R. 1999. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23, p.593-602.
- SIQUEIRA NETO, M.; PERRIN, A. S.; PAVEI, M. A.; PICCOLO, M. C.; BERNOUX, M.; SCOPEL, E.; DOUZET, J. M.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. 2004. Estoques de carbono em solos cultivados e floresta na transição Cerrado - Amazônia em Sinop (MT). In: **XV Reunião Brasileira De Manejo E Conservação Do Solo E Da Água - Manejo Integrado A Ciência Do Solo Na Produção De Alimentos**, Santa Maria, Anais.
- SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. 2004. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. **Soil Tillage Research**, vol 76, p. 39-58.
- SKJEMSTAD, J.O.; DALAL, R.C.; BARRON, P.F. 1986. Spectroscopy investigation of cultivation effects on organic matter of Vertisols. **Soil Science Society America Journal**, 50, p. 354-359.
- SKJEMSTAD, J.O.; SWIFT, R.S.; MCGOWAN, J.A. 2006. Comparison of the particulate organic carbon and permanganate oxidation methods for estimating labile soil organic carbon. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 44, n.3, p.255-263.
- STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. 2004. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.755-760.

- SYLVIA, M. 1999. **Principles and applications of soil microbiology**. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA. 550 pp.
- TARRÉ, R. M.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R. B.; RESENDE, C. P.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. 2001. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* sp. pastures in the Atlantic forest region of the south of Bahia, Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 234, p. 15-26.
- TIROL-PADRE, A.; LADHA, J.K. 2004. Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p.969-978.
- TRUMBORE, S.E.; CZIMCZIK, C.I. 2008. An Uncertain Future for Soil Carbon. **Science**, v. 321, p. 1455 – 1456.
- UNKOVICH, M. *et al.* 2001. **Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 291 p.
- VALARINI, P.J.; OLIVERIRA, F.R.A.; SCHILICKMANN, S.F.; POPPI R.J. 2011. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. **Revista Horticultura Brasileira**. Vol 29. N 4.
- VENTURA, S.R. AUGUSTE D.M. 1990. Geoquímica de isótopos de Carbono e Oxigênio dos carbonatitos do complexo alcalino de mato preto, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, 20, p.153-158.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. 1991. **Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal**, IBGE, Rio de Janeiro – RJ.
- VEZZANI, F. M. 2001. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre - RS, 184 p.
- VIDAL, M.M.; PIVELLO, V.R.; MEIRELLES, S.T.; METZGER, J.P. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 3, p. 521-532, 2007.
- VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. 2004. Índices de Labilidade da Matéria Orgânica e de Manejo de Carbono em Solo sob Plantio Direto em Diferentes Sistemas de Cultura In: **15ª**

- Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, Santa Maria.** Santa Maria, CD ROM.
- VIDAL, M. M. *et al.* 2007. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos”, **Revista Brasileira de Botânica**, 30, p. 521-532.
- VIEIRA L.S.1988. Manual da Ciência do Solo. Agronômica Ceres. São Paulo, Brasil. 464 pp
- VITOUSEK, P. M, LUBCHENCO J., MELILLO J. M. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, 277, p. 494-499.
- VOGEL, J. C. 1993.Variability of carbon isotope fractionation during photosynthesis. In: EHLERINGER, J. R.; HALL, A. E.; FARQUHAR, G. D. (ed.). **Stable isotopes and plant carbon – Water relations**. San Diego: Academic Press, p.29-38.
- WALKLEY, A.; BLACK, A.1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, 37, p. 29-38.
- WEIL, R.R. *et al.* 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. **American Journal of Alternative Agriculture**, 18, p. 3-17.
- ZANATTA, J. A. 2006. **Estoque e labilidade do carbono em frações da matéria orgânica de um argissolo afetados por sistemas de manejo de solo**. Dissertação (MSc em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre - RS, 129 p.

ANEXOS

ANEXO 1- FOTOS DA ÁREA DE ESTUDO

(Fotografias tomadas por Ana Cecilia Arroyo, 13/12/2010).

Reflorestamento: Bacia Paiol



Reflorestamento: Bacia Sorocabuçu



Agricultura orgânica: Bacia Sorocabuçu



Agricultura orgânica- Bacia Sorocabuçu



Agricultura convencional: Bacia Paiol



Agricultura convencional: Bacia Paiol



ANEXOS 1-TABELA NÚMERO DE AMOSTRAS ORGANIZADAS POR BACIA E SUAS
RESPECTIVAS COBERTURAS DE SOLO.

# Amostras	EW	NS	BH	USO
1	276151	7369829	Paíol	Agrícola Convencional
2	275936	7369820	Paíol	Agrícola Convencional
3	276004	7369426	Paíol	Agrícola Convencional
4	276414	7368875	Paíol	Agrícola Convencional
5	276497	7368848	Paíol	Agrícola Convencional
6	274428	7368739	Paíol	Agrícola Convencional
7	275171	7367509	Paíol	Agrícola Convencional
8	273291	7366995	Paíol	Agrícola Convencional
9	272868	7366741	Paíol	Agrícola Convencional
10	271487	7366185	Paíol	Agrícola Convencional
11	270188	7365988	Paíol	Agrícola Convencional
12	270586	7365607	Paíol	Agrícola Convencional
13	274013	7366730	Paíol	Agrícola Convencional
14	275541	7369980	Paíol	Agrícola Convencional
15	275052	7371089	Paíol	Agrícola Convencional
16	274847	7371649	Paíol	Agrícola Convencional
17	275060	7372793	Paíol	Agrícola Convencional
18	274926	7367750	Paíol	Agrícola Convencional
19	275169	7367516	Paíol	Agrícola Convencional
20	276096	7369041	Paíol	Pastagem
21	274113	7368309	Paíol	Pastagem
22	273955	7368262	Paíol	Pastagem
23	274774	7367853	Paíol	Pastagem
24	273033	7368252	Paíol	Pastagem
25	270593	7365093	Paíol	Pastagem
26	275331	7369801	Paíol	Pastagem
27	274979	7371437	Paíol	Pastagem
28	274632	7368008	Paíol	Pastagem
29	275087	7367670	Paíol	Pastagem
30	276175	7368964	Paíol	Reflorestamento
31	274445	7368071	Paíol	Reflorestamento
32	273355	7367188	Paíol	Reflorestamento
33	273499	7367301	Paíol	Reflorestamento
34	273682	7366943	Paíol	Reflorestamento

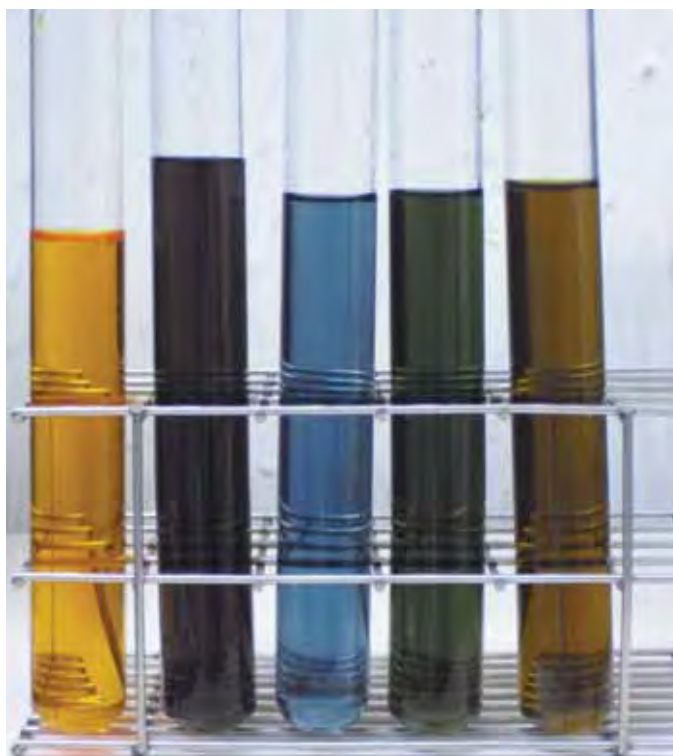
35	274184	7365944	Paíol	Reflorestamento
36	275949	7374319	Paíol	Reflorestamento
37	275067	7372844	Paíol	Reflorestamento
38	274434	7368403	Paíol	Reflorestamento
39	275186	7367559	Paíol	Reflorestamento
40	276263	7369771	Paíol	Vegetação
41	276104	7369851	Paíol	Vegetação
42	276324	7368865	Paíol	Vegetação
43	273011	7368219	Paíol	Vegetação
44	270368	7365895	Paíol	Vegetação
45	270084	7366081	Paíol	Vegetação
46	270161	7364924	Paíol	Vegetação
47	270679	7364597	Paíol	Vegetação
48	270688	7364178	Paíol	Vegetação
49	274236	7366491	Paíol	Vegetação
50	276845	7364762	Paíol	Vegetação

# Amostras	EW	NS	BH	USO
1	281619	7369298	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
2	282897	7370726	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
3	283258	7370910	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
4	284117	7369490	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
5	284294	7368312	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
6	283054	7374246	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
7	284788	7372365	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
8	284571	7372097	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
9	287218	7368350	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
10	287419	7368140	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
11	288068	7368612	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
12	286714	7368045	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
13	286810	7367780	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
14	286933	7367335	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
15	286895	7367030	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
16	283272	7367420	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
17	282896	7367594	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
18	282607	7368273	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
19	282094	7372372	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
20	279736	7373582	Sorocabucu	Agrícola Orgânico
21	278659	7367014	Sorocabucu	Pastagem
22	279558	7367540	Sorocabucu	Pastagem
23	282439	7368571	Sorocabucu	Pastagem

24	282836	7370611	Sorocabucu	Pastagem
25	282669	7371388	Sorocabucu	Pastagem
26	284537	7370079	Sorocabucu	Pastagem
27	283880	7373324	Sorocabucu	Pastagem
28	282083	7373027	Sorocabucu	Pastagem
29	284279	7370095	Sorocabucu	Pastagem
30	286960	7368474	Sorocabucu	Pastagem
31	282915	7371779	Sorocabucu	Reflorestamento
32	283867	7370673	Sorocabucu	Reflorestamento
33	283670	7369223	Sorocabucu	Reflorestamento
34	284470	7368579	Sorocabucu	Reflorestamento
35	283904	7367839	Sorocabucu	Reflorestamento
36	284063	7370438	Sorocabucu	Reflorestamento
37	284079	7374465	Sorocabucu	Reflorestamento
38	287079	7367338	Sorocabucu	Reflorestamento
39	286637	7368186	Sorocabucu	Reflorestamento
40	284408	7368542	Sorocabucu	Reflorestamento
41	278925	7367279	Sorocabucu	Vegetação
42	280404	7368259	Sorocabucu	Vegetação
43	283624	7371211	Sorocabucu	Vegetação
44	285508	7367855	Sorocabucu	Vegetação
45	284738	7370013	Sorocabucu	Vegetação
46	288185	7368436	Sorocabucu	Vegetação
47	284913	7369170	Sorocabucu	Vegetação
48	283013	7367455	Sorocabucu	Vegetação
49	283041	7371570	Sorocabucu	Vegetação
50	280336	7373156	Sorocabucu	Vegetação

ANEXO 3 - COLORAÇÕES ANTES DO PONTO DE VIRAGEM

(Fotografia tomada por Ana Cecilia Arroyo, 18/06/2011)



Tubos de ensaio mostrando as mudanças de cor durante a titulação, de esquerda à direita: Branco (amostra referência), marrom, verde musgo, verde garrafa e ponto de viragem marrom avermelhado.