



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades

unesp 

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

TALITA MONTEIRO


AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E QUANTIDADE DO CARBONO E DO
NITROGÊNIO NOS SOLOS EM IPERÓ-SP



Bauru
2013

TALITA MONTEIRO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E QUANTIDADE DO CARBONO E DO
NITROGÊNIO NO SOLO EM IPERÓ-SP.**



Dissertação apresentada como requisito a
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Civil e Ambiental da Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Área de
Concentração Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre M. da Silva

Bauru
2013

Monteiro, Talita.

Avaliação da qualidade e quantidade de carbono e nitrogênio no solo de Iperó-SP. / Talita Monteiro, 2013 84 f.


Orientador: Alexandre Marco da Silva

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2013

1. Isótopos estáveis. 2. Iperó-SP. 3. Cerrado. 4. Mata. 5. Transição de biomas. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

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

Aos 31 dias do mês de julho do ano de 2013, às 14:00 horas, no(a) SALA 3A DO CÂMPUS EXPERIMENTAL DA UNESP DE SOROCABA, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA do(a) Câmpus Experimental da UNESP - Unidade de Sorocaba, Prof. Dr. LUIZ FERNANDO CHARBEL do(a) Universidade de Sorocaba - UNISO, Prof. Dr. CASSIO JOSE MONTAGNANI FIGUEIRA do(a) Departamento de Ciências Ambientais / Universidade Federal de São Carlos - UFSCar Sorocaba, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de TALITA MONTEIRO, intitulada "QUALIDADE E QUANTIDADE DO CARBONO E DO NITROGÊNIO NOS SOLOS DE IPERÓ-SP". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: aprovada. 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. LUIZ FERNANDO CHARBEL


Prof. Dr. CASSIO JOSE MONTAGNANI FIGUEIRA

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.

Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”

(Marthin Luther King)

“Faça dos seu caminhos do tamanho dos seus sonhos!” (Cardoso E.S.F)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, sempre, por todas as oportunidades que tem me dado até agora.

Ao Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva, pelos ensinamentos, paciência, incentivo, pela oportunidade, por sempre está ali disponível, me dando um suporte enorme, me fez crescer academicamente falando e também como pessoa, com toda certeza cumpriu seu papel de orientador. Sempre terá meu reconhecimento e admiração pela sua competência profissional, por ser um profissional extremamente qualificado e pela forma humana que trata as pessoas.

Aos meus pais, José Emílio Moreira Monteiro e Arlete Aparecida de Miranda Monteiro, aos meus irmãos Tatiane Monteiro e Felipe Monteiro, por todo afeto, apoio, amparo e incentivo. Em especial a minha mãe que acompanha de perto minhas vitórias, minhas angustias, compra minhas brigas e está comigo sempre, a minha irmã que ri comigo, ri de mim, ri pra mim, com certeza meus melhores sorrisos sempre serão com você, pra você.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Unesp, e a todos os professores que contribuíram para a minha formação

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudos concedida.

Ao Alexandre Shinkawa, ex-aluno do curso de Engenharia Ambiental da Unesp Sorocaba, que me ajudou nos dias de coleta, pela paciência em me ensinar a mexer com o geoprocessamento, com certeza sua participação nesse trabalho foi de grande importância.

Ao Clayton Alcarde Alvares, pela parceira no artigo, contribuindo na melhoria do texto e das imagens.

Aos alunos de graduação de Engenharia Ambiental da Unesp Sorocaba, Gabriel Arruda e Simarques Filha pela grande ajuda na realização da parte de campo desse trabalho.

À minha amiga de mestrado Anahí Chimini Sobral, pelo companheirismo, amizade, pela troca de “figurinhas” durante esses 2 anos, com toda a certeza a distância geográfica não interferiu em nada, mesmo longe se tornou uma pessoa muito presente na minha vida.

À Ana Cecília Arroyo Santos que já não está mais entre nós, pela amizade e a grande ajuda nas análises em Botucatu. Descanse em paz minha querida amiga!

Enfim, a todos que estiveram comigo durante esta caminhada e que me apoiaram, torceram, incentivaram, acreditaram, estavam ali nos momentos bons, choraram comigo, a vocês meu grande obrigada!

RESUMO - Estudar a qualidade do solo é um instrumento que subsidia o conhecimento sobre as consequências da mudança da cobertura dos solos, além de mostrar as mudanças do solo e a tomada de decisões no planejamento do desenvolvimento futuro das regiões. Neste trabalho analisou-se a variação regional dos teores de C e N e de suas assinaturas isotópicas, bem como de outros elementos na camada superior dos solos do município de Iperó-SP. Amostras deformadas e indeformadas de solos foram coletadas nos primeiros 20 cm superficiais em 29 pontos, considerando as diferentes classes de cobertura da terra. As amostras foram secas, pesadas e peneiradas para análises posteriores em laboratórios específicos. Adicionalmente, mapas digitais de espacialização das informações foram elaborados para dar suporte à interpretação dos dados. O município de Iperó apresenta predominância de pastagens e, diferentemente das outras regiões, um alto índice de vegetação nativa remanescente, devido à presença da FLONA. Os dados de isótopos de C indicam valores médios de -26,46 ‰ para a classe Cerrado, -24,62 ‰ para a Mata e -17,19 ‰ para pastagem. De modo geral, os indicadores de qualidade física e química utilizados se apresentaram condizentes com a realidade embora com diferenças discretas entre as diferentes classes de cobertura da terra, não apresentando diferenças significativas.

PALAVRAS-CHAVE: Isótopos estáveis na superfície do solo, Iperó-SP, Cerrado, Mata, transição de biomas.

ABSTRACT- Studying the soil quality supports the knowledge of consequences of land cover change, and supports making decision in planning the future development of the regions. In this work the regional variation in the levels of C and N and their isotopic signatures was analyzed, as well as other elements in topsoil from Iperó-SP. Deformed and original soil samples were collected in the first 20 cm in 29 points, considering the different classes of land cover. All samples were georeferenced. Samples were dried, weighted, sieved, and delivered for further analysis in specific laboratories. Additionally, digital maps were prepared to support the interpretation of the data. In Iperó there is a high occurrence of pasture and, unlike other regions, a high rate of remnant native vegetation, due to the presence of the FLONA. The C isotope data indicate mean values of -26.46 ‰ for class Savannah, -24.62 ‰ for Forest and -17.19 ‰ for pasture. Values between classes of Savannah and Forest were similar among themselves. In general, the indicators of physical and chemical used are consistent with reality but with subtle differences between different classes of land cover, showing no significant differences.

KEY WORDS: Stable isotopes in the topsoil, Iperó-SP, savanna, forest, transition biomes.

Lista de Figuras

Figura 4.1- Localização do município de Iperó no estado de São Paulo.....	25
Figura 4.2- Coordenadas geográficas da área de estudo.....	26
Figura 4.3- Distribuição das duas principais classes de solo no município de Iperó-SP.....	28
Figura 5.1- Mapa de cobertura do solo de Iperó-SP.....	38
Figura 5.2- Relação entre isótopos de C e N.....	44
Figura 5.3- Mapa de variação espacial para isótopos de C.....	45
Figura 5.4- Mapa de variação espacial para isótopos de N.....	47
Figura 5.5- Relação entre teor de C e N.....	48
Figura 5.6- Mapa de variação espacial para o teor de C.....	49
Figura 5.7- Mapa de variação espacial para o teor de N.....	50
Figura 5.8- Relação entre isótopos e teor de C.....	51
Figura 5.9- Relação entre isótopos e teor de N.....	52

Lista de Tabelas

Tabela 4.1- Normais mensais e anuais das variáveis climatológicas da região de Iperó-SP.....	28
Tabela 5.1- Cobertura do solo conforme a classe de cobertura para o município de Iperó-SP em 2012.....	37
Tabela 5.2- Valores médios, coeficientes de variação e teste de Tukey dos valores físicos do solo.....	40
Tabela 5.3- Valores médios, coeficientes de variação e teste de Tukey dos valores de pH, P, K, Ca, Mg e Al do solo.....	42
Tabela 5.4- Valores médios, coeficientes de variação e teste de Tukey dos valores de H + Al, SB, CTC, V, m e M.O. do solo.....	42
Tabela 5.5- Valores médios, coeficientes de variação e teste de Tukey dos valores isotópicos.....	44
Tabela 5.6- Valores médios, coeficientes de variação e teste de Tukey dos valores dos teores C e N.....	48
Tabela 5.7- Valores médios do estoque de C.....	52

Sumário

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	iv
SUMÁRIO.....	v
1. INTRODUÇÃO E HIPÓTESE.....	1
2. OBEJTIVOS.....	3
2.1 Objetivos Gerais.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Conceito de solo, qualidade de solo e propriedades associadas.....	4
3.1.1 Qualidade do solo e relação com propriedades físicas e químicas.....	5
3.1.1.1 Densidades de partículas, densidade do solo e porosidade.....	6
3.1.1.2 Cor e umidade.....	9
3.1.1.3 Potencial hidrogeniônico.....	10
3.2 Matéria orgânica do solo e sua influência na dinâmica do carbono e nitrogênio.....	11
3.3 Isótopos estáveis de C e N.....	17
3.4 Plantas C ₃ e C ₄ e sua distinção isotópica.....	21
3.5 Geotecnologias como ferramentas de apoio a trabalhos de investigação de qualidade do solo.....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 Localização da área de estudo.....	25
4.2 Procedimentos de amostragem.....	29
4.2.1 Campo.....	29
4.3 Confecção de mapas.....	31
4.3.1 Mapas de variação espacial de indicadores.....	31
4.3.2 Mapa de cobertura da terra do município de Iperó.....	31
4.4 Análises laboratoriais e estimativas.....	32
4.4.1 Análises físicas do solo.....	32
4.4.1.1 Densidade do solo.....	33
4.4.1.2 Densidade	33
4.4.1.3 Porosidade.....	; 34

4.4.1.4 Cor.....	34
4.4.1.5 Umidade relativa.....	34
4.4.2 Análises químicas do solo.....	35
4.4.3 Teores e análises isotópicas do C e N.....	35
4.5 Análises estatísticas.....	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1 Mapas de cobertura da terra.....	37
5.2 Análises das variáveis físicas do solo.....	39
5.3 Análises químicas.....	41
5.4 Isótopos de C e N.....	43
5.5 Teores de C e N.....	47
5.6 Estoque de C.....	52
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	56

1. INTRODUÇÃO E HIPÓTESE.

O município de Iperó localiza-se na região sudeste do estado de São Paulo. Segundo o Atlas de Informação Ambiental do sistema Biota-Fapesp (www.biota.org.br), o município ocorre integralmente numa área de ecótono, indicando transição das formações vegetacionais Savana e Floresta Ombrófila. Apesar de haver uma unidade de conservação no município, este se encontra, no restante da área, com a vegetação alterada e com alta demanda para trabalhos de revegetação.

A substituição de áreas com vegetação natural por áreas com culturas agrícolas, vem levando a uma alteração na qualidade da Matéria Orgânica do Solo (MOS) e um desbalanço do Carbono (C) no solo, caracterizando uma alteração ambiental notória.

Esta alteração ambiental é importante porque o solo é um componente crucial da biosfera e seu papel ecológico não é apenas atuar como uma parte de um sistema agrícola, mas, além disso, agindo na manutenção da qualidade ambiental, com efeitos em uma escala local, regional e planetária. Por sua vez, a MOS tem múltiplas funções, especialmente sob condições de climas tropicais e subtropicais.

Os estoques de C no solo são considerados indicadores da qualidade ambiental, porque eles estão relacionados com o desempenho de muitas funções e processos sobre o solo. Eles estão correlacionados com propriedades físicas, químicas e biológicas (BERNOUX et al., 1999).

Informações sobre estoques de C em solos brasileiros ainda são pouco detalhadas e poucas regiões dispõem de bancos de dados sobre esta informação. Isto limita o poder de diagnosticar com detalhes a qualidade ambiental local e propor alternativas de recuperação ambiental onde seja necessário. Neste sentido a região de Iperó constitui um caso onde estas informações não eram ainda conhecidas. Com o

desenvolvimento do presente trabalho formou-se um banco de dados, bem como um acervo de mapas que buscou colaborar no avanço do conhecimento sobre qualidade e quantidade não somente do C, mas também da MOS.

Neste trabalho partiu-se da hipótese de que as diferentes formas de cobertura da terra imprimem características específicas nas propriedades físicas, químicas e isotópicas do solo.

2. OBJETIVOS.

2.1 Objetivo geral.

Avaliar como a variação da cobertura da terra está interferindo nas propriedades físicas, químicas e isotópicas na cama superficial dos solos do município de Iperó-SP.

2.2 Objetivos específicos.

- Avaliar a variação da quantidade e da qualidade do C e N na camada superficial dos solos em Iperó-SP, em função da variação da cobertura da terra.
- Determinar os valores médios dos isótopos do C e N na área de estudo em função da classe de cobertura da terra.
- Estimar o estoque de C na camada superficial do solo (0 - 20 cm), bem como analisar o desempenho dos isótopos estáveis de C e N na identificação da formação vegetacional original nas áreas já desmatadas.
- Analisar variáveis físicas e químicas complementares para a interpretação dos dados sobre C e N.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

3.1 Conceito de solo, qualidade de solo e propriedades associadas.

O solo é um importante componente do ecossistema, influenciando a qualidade do ar e da água (AMADO et al., 2001). É um corpo natural formado por partes sólidas, líquidas e gasosas, constituído de partículas minerais e orgânicas, que ocupam a maior parte da crosta terrestre (EMBRAPA, 1999). Contém matéria viva, pode ser coberto ou habitado por plantas de diversos grupos ecológicos e taxonômicos e está sempre em evolução. É constituído de camadas que diferem entre si pela natureza física, química e biológica e que se desenvolvem com o tempo sob a influência do clima e da atividade dos organismos (GALETI, 1989).

Dessa forma, tem-se o solo como resultado das ações de agentes responsáveis pelo intemperismo, sendo que sua formação se dá através de elementos que configuram um processo natural marcado pela ação do clima, biosfera, rocha matriz, relevo e tempo. O solo também compreende o substrato que serve de base para as interações animais e vegetais na superfície terrestre, servindo como fonte de geração de alimentos, de lucros, base para moradias e construções civis, além de ser elemento essencial no processo de especulação por parte de alguns proprietários. Devido a tantas transformações as quais as sociedades são submetidas, é que o elemento solo também se transforma, admitindo características antrópicas conforme a interação do homem, por exemplo, a evolução das cidades, falta de conservação em áreas rurais ou urbanas, entre outros (VIEIRA, 1988).

O solo, enquanto entidade natural independente, pode possuir características herdadas do material originário e/ou características adquiridas, cujas relações variam com o tempo (PALMIERI e LARACH, 2004). Assim, devido aos diferentes fatores de

origem, são encontrados diversos tipos de solo, que podem diferir regionalmente, em escalas variáveis.

Os solos são muito diversificados em suas características morfológicas, físicas, químicas, hidráulicas e biológicas. Esse sistema é composto por partículas minerais de vários tamanhos e formatos, matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição, raízes, artrópodes e microorganismos, além de uma fração fluída, mais notadamente água e gases (YARON et al., 1996). Algumas das principais propriedades são descritas a seguir.

3.1.1 – Qualidade do solo e relação com propriedades físicas e químicas.

Devido ao papel multifuncional dos solos, o conceito de qualidade deste recurso natural tem evoluído expressivamente em resposta ao aumento da ênfase mundial no uso sustentável da terra e com um enfoque holístico enfatizando a gestão sustentável (KARLEN et al., 2003, VRSCAJ et al., 2008). Algumas questões fundamentais relativas à qualidade do solo podem ainda ser feitas: - O uso está condizente com a capacidade de uso do solo (ou capacidade suporte do solo)? - O solo está se mostrando tolerável, em termos físicos, químicos, biológicos, hidráulicos e morfológicos ao determinado uso?

Interpretações de dados de qualidade do solo sob o ponto de vista físico, químico e biológico feitas por cientistas da área deve ser uma parte das avaliações de um ecossistema. Variáveis físicas de um solo são aquelas que indicam ou ajudam a descrever a relação entre volume e massa, o comportamento de expansão ou retração, estocagem de fluidos ou infiltração da solução aquosa no solo. Por outro lado as variáveis químicas servem para indicar aspectos do teor de nutrientes existentes no solo

ou mesmo o teor de elementos tóxicos, de forma direta, como o teor de algum elemento químico ou indireta como a análise da condutividade elétrica.

3.1.1.1. Densidades de partículas, densidade do solo e porosidade.

A densidade do solo “é a relação entre o peso específico de um corpo e o peso específico da água em condições normais de temperatura e pressão” (FREIRE, 2006). A densidade do solo é determinada nas condições naturais do solo pela prova volumétrica, que corresponde à massa de solo seco em um determinado volume (VIEIRA, 1988).

Essa propriedade pode variar com a atuação de alguns componentes do sistema, como o teor de MOS e o cultivo intensivo. Há uma influência benéfica da MOS sobre a densidade, pois torna o solo mais plástico, porém mantendo a boa agregação entre as partículas. Isto permite uma penetração facilitada das raízes, as quais formam canais de diferentes tamanhos quando crescem e, após morrerem, os canais permanecem, caracterizando uma fração da porosidade do solo.

A faixa de valores que pode ser atribuída para a densidade destes solos está entre 1,5 a 1,9 g. cm⁻³, podendo chegar a marca de 2,0 g. cm⁻³. Este último valor caracteriza a modificação dos solos e da capacidade de retenção de água no perfil (DALMOLIN et al., 2006).

Os pesquisadores da área da Pedologia reconhecem dois tipos de densidade: das partículas (antigamente denominada densidade real) e do solo (antigamente denominada densidade aparente). A densidade do solo depende do grau de compactação e da composição mineral é geralmente determinada pela inserção de um anel coletor metálico no solo na profundidade desejada e então as amostras são levadas para

secagem em estufa e pesagem. A densidade aparente seca (g.cm^3) é determinada pela fórmula (EMBRAPA, 1997):

$$\rho_d = M_s / V_t \quad (1)$$

Onde, ρ_d é a densidade do solo seca, M_s é a massa de solo seco (g) no anel e V_t é o volume de solo no anel (cm^3).

A densidade de partículas é a relação entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado pelas partículas sólidas e refere-se ao volume de sólidos de uma amostra de solo desconsiderando a porosidade. A densidade das partículas dos solos brasileiros “variam entre 2,60 a 2,75, dependendo da composição do solo (FREIRE, 2006). Isso porque os minerais predominantes como o quartzo, feldspatos e as argilas têm pesos específicos dentro daqueles limites”. Dessa forma Kiehl (1979) admite um intervalo de valores entre 2,3 e 2,9 kg.dm^{-3} .

Um dos meios para sua determinação é a partir do método do balão volumétrico e a partir da fórmula:

$$\rho_s = M_s / V_s \quad (2)$$

Onde: ρ_s é a densidade de partículas (g.cm^3), M_s é a massa de solo seco (g) e V_s é o volume que os sólidos ocupam (cm^3).

A densidade do solo pode ser modificada continuamente pelo uso inadequado do solo e é bastante influenciada pelo manejo. A utilização de máquinas e equipamentos

pesados, bem como elevada carga animal, favorece o aumento deste atributo (BERTOL et al., 2006). A densidade do solo aumenta conforme a profundidade do perfil devido à pressão das camadas subjacentes, provocando o fenômeno da compactação, o que reduz a porosidade e conseqüentemente restringe o crescimento das plantas (AZEVEDO, 2006).

A porosidade é definida como o espaço no solo que está ocupado por ar e água, constituído de microporos, poros intermediários e macroporos. A microporosidade é a principal responsável pela retenção da água, enquanto que a macroporosidade deixa a água escorrer com certa rapidez, passando os vazios a serem ocupados pelo ar. A perda de porosidade está associada à redução do teor MOS, à compactação e ao efeito do impacto das gotas de chuva, fatores esses que, causando uma diminuição no tamanho dos agregados, reduzem, em conseqüência, o tamanho dos poros (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005).

A porosidade é um dos atributos mais importantes que podem expressar a qualidade do solo. Em condições naturais, normalmente, ocorre boa porosidade. Porém, qualquer alteração, quer natural ou provocada pelo homem, modifica o movimento da água e do ar, o que influencia nos processos biogeoquímicos do solo e pode dificultar o desenvolvimento das plantas (GROHMANN, 1972).

O cultivo intensivo provoca a quebra dos agregados do solo e, como conseqüência, ocorre o aumento da densidade e a diminuição da porosidade, o que pode influir na aeração e na infiltração de água. A densidade tende a aumentar com a profundidade, normalmente, por influência de fatores com o teor reduzido de matéria orgânica, menos agregação e maior compactação (KIEHL, 1979).

O tamanho dos poros do solo pode variar, eles dependem das partículas e dos agregados. A distribuição dos espaços pode mudar pela atuação de alguma pressão ou

por rolamento das partículas. A quantidade, o tamanho, a distribuição e a continuidade são diferentes de um solo para outro (RESENDE et al., 2002).

A relação de proximidade das partículas sólidas de um solo é responsável pela sua porosidade (FREIRE, 2006), sendo que constituintes afastados uns dos outros acarretam em alta porosidade e partículas muito próximas umas das outras resultam numa baixa porosidade. Para calcular a porosidade utiliza-se das densidades e da seguinte relação:

$$P = 100. \frac{(\rho_s - \rho_D)}{\rho_s} \quad (3)$$

Onde P é a porosidade (em %), ρ_s é a densidade das partículas e ρ_D é a densidade do solo.

3.1.1.2. Cor e Umidade.

Outra importante característica do solo é a cor, podendo ser utilizada para identificar e descrever solos no campo, além de ser um atributo de diferenciação entre muitas classes de solos (DALMOLIN et al., 2005). Segundo Campos e Demattê (2004), a cor do solo é um dos atributos mais úteis para caracterização, além de ser importante fonte de informações pedológicas. A variação de cor ocorre principalmente pela presença de óxidos de ferro e matéria orgânica, além de ser influenciada por outros fatores como: umidade e distribuição do tamanho das partículas (FERNANDEZ, SCHULZE, 1992).

A distinção da cor permite inferências sobre drenagem e comportamentos físico e químico do solo (ALMEIDA et al., 2008). Assim, de acordo com Resende et al. (2007), “a cor pode fornecer indicações sobre o material de origem, conteúdo de matéria orgânica, condições de drenagens e teores de óxidos de Fe (fixação de P), dando uma ideia sobre a fertilidade geral do solo”.

A umidade do solo ou teor de água é definida como a massa de água contida na amostra dividida pela massa seca de solo da amostra e é expressa em porcentagem (NBR 6457-ago/1986):

$$h = \frac{Ma}{Ms} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde, h é a umidade em porcentagem, Ma é a massa de água (g) e Ms é a massa seca de solo (g).

3.1.1.3. Potencial hidrogeniônico.

O potencial hidrogeniônico (pH), indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de um meio qualquer. Nos solos, o pH indica sua fertilidade uma vez que influencia diretamente a capacidade da planta em absorver nutrientes do solo. O pH do solo, pode variar entre 4,5 e 8,5, sendo que entre 5 e 7 a acidez é considerada de elevada a fraca e entre os valores 7 e acima de 7,8, tem-se solos com alcalinidade de fraca a alcalinos. Solos alcalinos ocorrem quando se tem acúmulo de sais de cálcio, magnésio e potássio. Já os solos ácidos têm como característica o fato das bases terem sido removidas pela lixiviação ou percolação da água (KIEHL, 1979).

Dessa forma, conforme as bases são lavadas, o hidrogênio presente na água se acumula, gerando acidez. Essa acidez é responsável pela liberação do Al^{3+} . Assim, quanto maior a presença de H^+ e Al^{3+} , maior a acidez do solo. A acidez é um dos fatores limitantes da produção agrícola dos solos tropicais, pois liberação de Al aumenta em detrimento da saturação por bases, dificultando o crescimento das raízes das plantas (CAIRES et al., 2002; RAMOS et al., 2006).

3.2. Matéria Orgânica do Solo e sua influência na dinâmica do Carbono e Nitrogênio.

A MOS compreende um dos maiores e mais dinâmicos reservatórios de C em relação ao ciclo global do C (WANG et al., 2009).

Além de ser um importante compartimento biogeoquímico que contribui fortemente na regulação climática global, a MOS também constitui, para regiões onde plantas C_3 e C_4 coexistiram ou coexistem, um poderoso método para reconstrução de alterações vegetacionais (vários autores citados por Dümig et al., 2008).

Os estudos voltados para análise e interpretação das alterações ocorridas na MOS são importantes não só pelo impacto que esta tem na qualidade do solo, mas também pelo fato de esta ser a maior reserva mundial de C orgânico, extrapolando os teores armazenados na biosfera terrestre e na atmosfera. Entender as alterações ocorridas na MOS é importante devido ao aumento drástico do lançamento e concentração do CO_2 na atmosfera, sendo que o comportamento do solo como dissipador ou fonte para este CO_2 ainda é base para debates (BELLANGER et al., 2004).

A MOS é toda a substância morta resultante dos restos de plantas, animais e organismos, que como resíduos apresenta-se em todos os estágios de decomposição e influenciam de diversas formas os elementos do solo. A deposição de material orgânico sobre o solo pode variar conforme o tipo de vegetação presente. Por exemplo, quando é produzida pelas árvores de uma floresta, que possuem mais material vegetal na parte aérea do que nas raízes, os restos orgânicos das folhas e ramos ficam acumulados nos primeiros centímetros do solo. Neste caso, a contribuição das raízes é menor, o que não ocorre em gramíneas, que, normalmente produzem grandes quantidades de material orgânico tanto no interior do solo, como na parte aérea (VILELA et al., 2004).

Os solos armazenam na MOS aproximadamente duas vezes a quantidade de C presente na atmosfera como CO₂, representando um estoque de 1300 a 1500 GtC no primeiro metro (POST et al., 1982; SCHLESINGER, 1986; SOMBROEK et al., 1993; BATJES, 1996), sendo que quase um terço desse C é constituído de formas lábeis com ciclagem bastante rápida (SCHIMMEL, 1995). Em função disso qualquer alteração nas condições climáticas ou produção primária pode conduzir a alterações significativas no CO₂ atmosférico, com influência em escala global.

Além dos aspectos de mudanças globais, a MOS desempenha um papel central na regulação da produtividade vegetal nas regiões tropicais (FERNANDEZ et al., 2007). Os processos de decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos são responsáveis pela principal fonte de nutrientes para as plantas nos ecossistemas naturais e nos agroecossistemas introduzidos e raramente fertilizados (SANCHEZ et al., 1989).

Mudanças marcantes são observadas na MOS como consequência da alteração do uso do solo e cobertura da terra, tanto do ponto de vista quantitativo como do ponto de vista qualitativo (CAMPBELL, 1978; ANDREUX e CERRI, 1989). De modo geral, os níveis de MOS diminuem quando solos anteriormente cobertos por vegetação nativa

passam a ser utilizados para cultivo. Alterações na temperatura, umidade, aeração, absorção e lixiviação, observadas no solo como consequência do cultivo (SANCHEZ, 1976), além da destruição completa da liteira original, modificam a distribuição e a atividade da fauna e microbiota do solo (CERRI et al., 1985), influenciando assim o tempo de residência do C orgânico armazenado no solo.

Em solos sob vegetação natural, a preservação da MOS tende a ser máxima, pois o revolvimento do solo é mínimo, sendo o aporte de C nas florestas mais elevado do que em áreas cultivadas. Em áreas cultivadas, os teores de MOS, via de regra, diminuem, já que as frações orgânicas são mais expostas ao ataque de microrganismos, em função do maior revolvimento e desestruturação do solo (PAULA e VALLE, 2007).

Malavolta et. al. (2002) ressaltam a capacidade da MOS influenciar a maioria das propriedades do solo e citam outras contribuições, como o efeito regulador na temperatura do solo e o retardamento na fixação de fósforo.

O C é o principal componente da MOS 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 e MIELNICZUK, 1997; LAL, 1997; AMADO et al., 2001).

O estoque de C é a quantidade de C existente numa determinada faixa compreendida entre a superfície e alguma profundidade de um solo. Sob vegetação natural, representa o balanço dinâmico entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição ou mineralização. A quantidade de C contido na vegetação depende muito do clima (principalmente temperatura do ar e regime pluviométrico), do tipo de vegetação e da fertilidade do solo (solos férteis resultam em plantas maiores que contêm mais C a ser depositado no solo) (MACHADO, 2005).

Os processos de transformação do C são fortemente influenciados pelo clima, tipo e qualidade da MOS e suas associações químicas e físico-químicas com os componentes minerais do solo (MACHADO, 2005).

Geralmente efetua-se a análise em área com vegetação natural remanescente sem impacto (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 e BENEDITO, 2007).

Neste sentido, a quantificação do teor de C é imperativo para avaliação da qualidade do solo (ARSHAD e MARTIN, 2002). A maneira básica de estimar o estoque de C no solo é pela equação abaixo (PONCE-HERNANDEZ, 2004):

$$Ecs = C.Ps.P \quad (5)$$

Onde:

Ecs = estoque de C no solo, em $t.ha^{-1}$,

C é a concentração de C no solo (%)

Ps é a densidade aparente seca do solo ($g.cm^{-3}$)

P 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 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.

Entretanto, 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. Os conteúdos de C ou da MOS devem sempre se referir a uma determinada camada do solo (PILLON et al., 2004).

Exemplificando, Araújo et al. (2004) avaliaram as alterações químicas em ARGISSOLO AMARELO distrófico sob diferentes usos, no município de Sena Madureira/AC. Verificaram que, sob pastagens de braquiárias, o solo tem grandes perdas de suas características, quando comparado com o solo sob mata nativa, principalmente nos teores de C orgânico. Porém, para todos os usos estudados, o C orgânico e os outros nutrientes se encontravam concentrados apenas na camada superficial do solo.

A variação da quantidade de C e N em solos de Cerrado nativo, pastagem e diferentes manejos de cultivo, no município de Morrinhos (GO), foi avaliada por D'Andréa et al. (2004). Os resultados obtidos não evidenciaram grandes variações entre os sistemas estudados. Verificou-se apenas distinção para o manejo de cultivo com maiores revolvimentos de solo. Além disso, notou-se que a pastagem e o sistema de plantio com baixo revolvimento são promissores para o aumento dos estoques de C orgânico no solo. Além disso, as perdas de C também comprometem a ciclagem e retenção de nutrientes, a agregação do solo, a dinâmica da água, a atividade biológica, ocasionando desequilíbrios no sistema e intensificando o processo de degradação ambiental (RANGEL et al., 2008).

A diminuição dos valores de adição anual de C orgânico devido ao cultivo combinado com as altas taxas de decomposição, características das regiões tropicais,

ocasionam um declínio do seu teor, antes em equilíbrio com a vegetação nativa. Detwiller (1986) estimou uma perda no conteúdo de C de 40% no caso do uso do solo com culturas, e uma perda de 20% no caso de uso com pastagens. Alguns estudos em solos tropicais mostram que, entre diversas áreas desmatadas e cultivadas com pastagens, algumas apresentaram aumento (TEIXEIRA e BASTOS, 1989; CHONE et al., 1991; LUGO e BROWN, 1993; FISHER et al., 1994). Outras apresentam diminuição nos estoques de C do solo (MORAES, 1991; VELDKAMP, 1994).

Um fator que contribui para essas diferenças é a textura do solo. Solos arenosos apresentam índices menores de perda de C orgânico (MANN, 1986) ou até mesmo algum ganho em relação aos valores iniciais, após algum tempo de cultivo (MORAES, 1991).

O N é um elemento essencial para os seres vivos e fixação do N atmosférico é o segundo processo mais importante para sustentar a produtividade primária dos ecossistemas, depois da fotossíntese (SYLVIA, 1999). Do mesmo modo que o C, o N é um elemento relevante nos estudos de MOS, sendo um dos nutrientes com dinâmica mais pronunciada no sistema. Sua maior parte está na fração orgânica (mais de 90%), um grande reservatório de formas mais prontamente disponíveis, como a nítrica e a amoniacal. Estas formas minerais, apesar de responderem por pequena parcela do N total, são de extrema importância do ponto de vista nutricional, já que são elas as absorvidas pelos vegetais e microrganismos (STEVENSON, 1986; D'ANDREA et al., 2004).

A mineralização da MOS, da qual fazem parte as reações de amonificação e nitrificação, transforma, em média, de 2% a 5% do N orgânico por ano. É um processo que pode ser influenciado pelo uso e manejo do solo, como nas áreas com pastagens, nas quais a forma amoniacal é favorecida por substâncias excretadas pelas raízes das

gramíneas, que inibem a nitrificação, e pela existência de menores valores de pH, que ocorrem, geralmente, nessas condições (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

3.3 Isótopos estáveis de C e N.

A palavra “isótopo” vem do grego, *isos* (igual) e *topos* lugar, a qual se refere a um local comum de um elemento específico na tabela periódica (DAWSON e BROOKS, 2001). Isótopos estáveis podem ser aplicados e servir como base para o estudo e entendimento dos impactos que desequilibram o funcionamento e estrutura dos ecossistemas por conta de seu uso indiscriminado (VAGEN et al., 2006).

Isótopos estáveis são os que não emitem radiação e são de interesse biológico, como carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre. São encontrados naturalmente, sendo que cada elemento apresenta um isótopo leve (^{12}C , ^1H , ^{16}O , ^{14}N , ^{32}S) e um ou mais pesado (^{13}C , ^2H , ^{17}O , ^{18}O , ^{15}N , ^{33}S , ^{34}S , ^{36}S) (DUCATTI, 2000 *apud* SLEIMANN, 2006).

Dessa forma, isótopos estáveis podem ser considerados traçadores ambientais naturais, sendo que, no caso de C e N, os isótopos ^{13}C e ^{15}N assumem este papel. No caso do ^{13}C , a sua capacidade de distinguir materiais orgânicos derivados de diferentes grupos de plantas é a chave para sua utilização, pois em estudos da origem de C no solo pressupõe-se que a matéria orgânica reflete o material do qual se derivou (ALVES et al., 2006).

Nesse sentido, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ são utilizados para identificar qual proporção da MOS é derivada de resíduos da vegetação original e da nova vegetação implantada, tanto nos horizontes superficiais ou em profundidade nos perfis de solo, bem como quantificar a taxa de substituição do C derivado da antiga vegetação para a nova, já que

esta alteração persiste por um determinado período de tempo. Mudanças no uso e na cobertura do solo trazem a possibilidade de avaliar as mudanças na dinâmica do C e N, principalmente quando ocorre a substituição de vegetação nativa por cultivos agrícolas, ou seja, alteração tanto na estrutura quanto na função do padrão de vegetação, o que afeta a dinâmica da movimentação e armazenagem do C e N na MOS (BIGGS et al., 2002; VAGEN et al., 2006; OELBERMANN e VORONEY, 2007; AWITI et al., 2008).

A mensuração da alteração da qualidade da MOS pode ser analisada por meio da análise da composição isotópica, dentre elas do C e do N (PEREIRA e BENEDITO, 2007).

A composição isotópica, em termos de δ , que representa partes por mil (‰) de diferença do isótopo da amostra em relação ao padrão, é obtida pela equação abaixo (FARQUHAR et al. (1989); BOUTTON e YAMASAKI, 1996):

$$\delta = \frac{R \text{ amostra} - R \text{ padrão}}{R \text{ padrão}} = \frac{R \text{ amostra}}{R \text{ padrão}} - 1 \quad (6)$$

Onde: δ é o valor de ^{13}C ou ^{15}N e R é a razão correspondente $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. 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 e FRY, 1987).

Quanto mais baixo o valor resultante desta relação, denota decréscimo no conteúdo de isótopo pesado e por outro lado aumento no conteúdo do isótopo leve (PETERSON e FRY, 1987). Para o C, o padrão é a rocha do fóssil *Belemnitella* sp. da formação PeeDee, da Carolina do Sul, EUA. O N tem como padrão o gás N_2 atmosférico. Assim, os valores correspondem à razão entre isótopos pesados e leves em cada amostra (PEREIRA e BENEDITO, 2007).

Estudos tendo como base isótopos de C e N são considerados de muita importância para pesquisas de ciclos de matéria e energia no ambiente. Assim, os mesmos autores afirmam que isótopos estáveis estão presentes nos ecossistemas e sua distribuição natural reflete, de forma integrada, a história dos processos físicos e metabólicos do ambiente (PEREIRA e BENEDITO, 2007). Tais metodologias abrem possibilidades de diferentes abordagens e estudos, facilitando interpretações e trazendo muitas contribuições para as ciências ambientais (UNKOVICH et al., 2001).

Admite-se, então, que a aplicação da técnica dos isótopos estáveis auxilia no entendimento e estudo da dinâmica do C no solo, sendo que seu uso viabiliza estudos em diversas escalas temporais, de poucos anos até centenas de anos (BERNOUX et al., 1998; BIGGS et al., 2002), o que remete, também, à possibilidade de desenvolvimento de estudos paleoambientais. Outras aplicações estudam os impactos causados sobre o ecossistema mediante o uso que se faz do solo, como o estudo de fluxos de elementos, translocação de nutrientes, dinâmica de vegetação, entre outros (VAGEN et al., 2006).

A aplicação da técnica também é válida para estudos em áreas onde ocorrem usos mais complexos, como no caso de sistemas agroflorestais, que combinam diferentes tipos de vegetação, ou onde a transição entre tipos de vegetação (C₃ e C₄) não é abrupta, onde há controle sobre tipo de vegetação cultivada (somente C₃ e C₄) ou quando ocorre a mistura de plantas C₃ e C₄ em uma mesma área cultivada (DIELS et al., 2001 *apud* OELBERMANN e VORONEY, 2007).

Assim como o C orgânico pode ser afetado mediante alterações no uso e ocupação do solo, o mesmo pode ocorrer com a dinâmica do N, resultando em degradação do solo (LEMMA e OLSSON, 2006), o que afeta direta ou indiretamente o balanço de N de ecossistemas, seja pela aplicação de fertilizantes, o que aumenta a produção de biomassa, eleva os valores de N na colheita e aumenta a perda de N por

meio de amônia, volatilização, lixiviação do NO_3 ou emissão de N_2O , seja pelo corte de vegetação ou atividades de pastoreio, com maior perda de N, seja pelo desequilíbrio no balanço de N por conta do aprimoramento da atividade microbiana, que sujeita o N a mineralização, imobilização e/ou denitrificação (WATSKA et al., 2006).

A abundância isotópica do N varia nos tecidos vegetais devido ao modo da fixação do N_2 . No solo varia geralmente entre -10‰ até + 10‰, principalmente devido ao suprimento de N no solo limitar o crescimento vegetal ou a taxa de mineralização por parte das bactérias. Sob estas condições todo o N pode ser consumido sem ocorrer um fracionamento isotópico. As quantidades de N constituem informações importantes para a compreensão da distribuição dos isótopos de N (PETERSON e FRY, 1987).

Valores do $\delta^{15}\text{N}$ refletem processos relativos ao ciclo do N e este é influenciado pelo uso e ocupação do solo ou alteração da cobertura vegetal. Dessa forma, ambientes com perda deste nutriente ou com baixa taxa de entrada do mesmo no sistema tendem a ser enriquecidos com $\delta^{15}\text{N}$, enquanto ambientes como florestas naturais ou remanescentes de mata, onde não há significativa perda de N devido a fixação biológica, tendem a ser empobrecidos de $\delta^{15}\text{N}$ (AWITI et al., 2008), refletindo o efeito do manejo ou da ausência no ciclo do N.

Valores de $\delta^{15}\text{N}$ refletem não só o fracionamento do estoque de N no solo durante a transformação do N, mas também confirmam sua origem proveniente de diversas fontes, como por exemplo, através da aplicação de fertilizantes, que podem alterar os valores de $\delta^{15}\text{N}$ de plantas e solos, principalmente quando sua aplicação é em longo prazo (WATSKA et al., 2006).

A utilização das razões isotópicas em estudos ambientais baseia-se na existência de diferenças na composição isotópica dos compostos que participam do processo em estudo, sensíveis o suficiente para serem detectados pelo espectrômetro de massa. 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 *in* PEREIRA e BENEDITO, 2007).

3.4 Plantas C₃ e C₄ e sua distinção isotópica.

O C no solo pode apresentar diversos valores de $\delta^{13}\text{C}$. Onde há uma predominância de plantas que realizam fotossíntese ciclo C₃, 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 (MORAIS, 1995). Quando há a substituição de um tipo de vegetação para outro espera-se ocorrer uma mudança no padrão isotópico da matéria orgânica do local, o que pode ser identificado com a aplicação de isótopos estáveis de C, que se baseia nas diferentes composições do ^{13}C de plantas C₃ e C₄ e sua preservação na MOS (CERRI, 1986; MORAIS, 1995; PESSENDA et al., 2004).

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 no processo de descarboxilação. Conseqüentemente, as plantas podem ser divididas em C₃ (ciclo de Calvin), C₄ (Hatch-Slack) ou CAM (chamado metabolismo ácido das crassuláceas) dependendo de sua via fotossintética. As plantas C₃ discriminam o ^{13}C mais do que as plantas C₄. Por sua vez, as plantas CAM mostram abundâncias isotópicas variáveis.

A maioria das plantas superiores utiliza exclusivamente a via C₃, sendo que as plantas C₄ são essencialmente gramíneas tropicais (CERRI, 1986). O resultado constitui em sinais isotópicos distintos. Tomando como unidade “partes por mil” (‰), as plantas de ciclo C₃ apresentam valores isotópicos médios de $\delta^{13}\text{C}$ de -27‰. Por outro lado,

plantas cujo ciclo é de Hatch – Slack, apresentam valor médio de $\delta^{13}\text{C}$ de -11‰ (SLEIMAN et al., 2006).

A base da variação isotópica natural em seres vivos resulta do fracionamento isotópico durante a fotossíntese. O $\delta^{13}\text{C}$ destes diferentes tipos fotossintéticos geralmente é o resultado de: (1) propriedades bioquímicas da fixação primária de CO_2 por enzimas; e (2) limitações da difusão do CO_2 dentro das folhas (ZAGATTO, 2000).

Há ainda um terceiro parâmetro que exerce influência decisiva na composição isotópica das plantas, que é a relação entre a pressão interna de CO_2 na câmara estomatal (p_i) e a pressão externa da atmosfera (p_a) (ZAGATTO, 2000).

Plantas com via fotossintética C_3 , reduzem o CO_2 para fosfoglicerato, um composto de três carbonos, através da enzima RuBP carboxilase. Esta enzima discrimina o $^{13}\text{CO}_2$, resultando em valores de $\delta^{13}\text{C}$ relativamente baixos, entre -32 a -20‰ , com média de -27‰ (FARQUHAR et al., 1989).

Plantas C_4 reduzem o CO_2 a ácido aspártico ou ácido málico, ambos compostos com quatro carbonos, através da enzima PEP carboxilase. Esta enzima não discrimina o ^{13}C como a RuBP carboxilase, desta forma plantas C_4 têm valores de $\delta^{13}\text{C}$ relativamente mais altos. Tais valores variam entre -17 a -9‰ com média de -13‰ (ZAGATTO, 2000). Assim, as espécies C_3 e C_4 têm valores distintos de $\delta^{13}\text{C}$, que não se sobrepõem, sendo possível, portanto, a utilização desses valores como traçador da fonte de C.

As plantas do tipo CAM são capazes de minimizar as perdas de água pela fixação do CO_2 à noite através da enzima PEP carboxilase. Como resultado, a maioria das plantas CAM apresenta valores de $\delta^{13}\text{C}$ típicos de plantas C_4 . Contudo, sob certas condições ambientais e estágios de desenvolvimento algumas espécies (facultativas) são hábeis em trocar para o modo fotossintético C_3 , fixando CO_2 durante o dia, via RuBP carboxilase. Compreendem aproximadamente 10% de todas as espécies de plantas,

sendo suas representantes as cactáceas e bromeliáceas, plantas usualmente suculentas. Apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -28 a -10 ‰, dependendo das condições (ZAGATTO, 2000).

Sendo assim, a composição isotópica do C da MOS (^{12}C e ^{13}C) pode fornecer extensa resolução taxonômica e distinguir plantas com ciclos fotossintéticos C_3 de outras com ciclo C_4 (BIEDENBENDER et al., 2004), já que o acúmulo de MOS em sistemas naturais ocorre basicamente pela entrada de serapilheira em superfície e de raízes em profundidade (GLEIXNER, 2004).

3.5. Geotecnologias como ferramentas de apoio a trabalhos de investigação de qualidade do solo.

O sensoriamento remoto (SR) pode ser definido como a técnica de obtenção de dados sobre um objeto sem que haja contato físico direto entre o sensor e o alvo, através de radiação eletromagnética (SABINS, 2000). Refere-se à aquisição de informações sobre uma área ou objeto, através de um sensor, que pode ser uma câmara fotográfica (não orbital) ou um satélite (orbital), posicionado a uma longa distância do local onde se obtém os dados.

Realizar o levantamento do uso e ocupação do solo é um dos objetivos do programa de sensoriamento remoto (ROSA, 1993). Os sensores orbitais são ferramentas poderosas que permitem a aquisição de dados de forma global, confiável, rápida e repetitiva da área de interesse.

Para representação cartográfica de dados georreferenciados, observados em campo ou obtidos em análises laboratoriais, um dos métodos é a interpolação. Trata-se de um trabalho efetuado usando recursos de sistemas de informações geográficas (SIG)

ou geoestatística que, desenvolve e aplica modelos em representações de fenômenos naturais, cujas propriedades variam conforme a posição dos pontos observados (BERVEGLIERI, 2011).

Existem diversos métodos de interpolação, podendo ser divididos em 2 tipos: globais e locais. A diferença entre ambos é que, enquanto os métodos globais consideram toda a população de pontos, os métodos locais consideram zonas próximas ao ponto que está sendo interpolado. Alguns exemplos de métodos de interpolação global são a superfície de tendência, regressão polinomial, interpolação local do vizinho mais próximo, krigagem, inverso da distância entre outros (KRAJEWSKI e GIBBS, 1996).

A krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados. Ela utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para cálculo das interpolações. Utilizando o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais distantes, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais, criando assim novos pontos interpolados com base na combinação desses dados (JACOB, 2002).

4. MATERIAL E MÉTODOS.

4.1 Localização da área de estudo.

Escolheu-se uma região cujas características do meio biofísico e antrópico permitissem testar nossa hipótese e alcançar os objetivos. Devido às características expostas a seguir verificou-se que o município de Iperó atende os critérios. Este município situa-se na região sudeste do estado de SP (Figuras 4.1 e 4.2), possui área de 170 km² e atualmente 28.300 habitantes (www.ibge.gov.br). Está situado a cerca de 35 km de Sorocaba e 141 km da capital São Paulo. Possui perfil essencialmente rural e ali ocorre uma Unidade de Conservação Federal chamada Floresta Nacional de Ipanema.

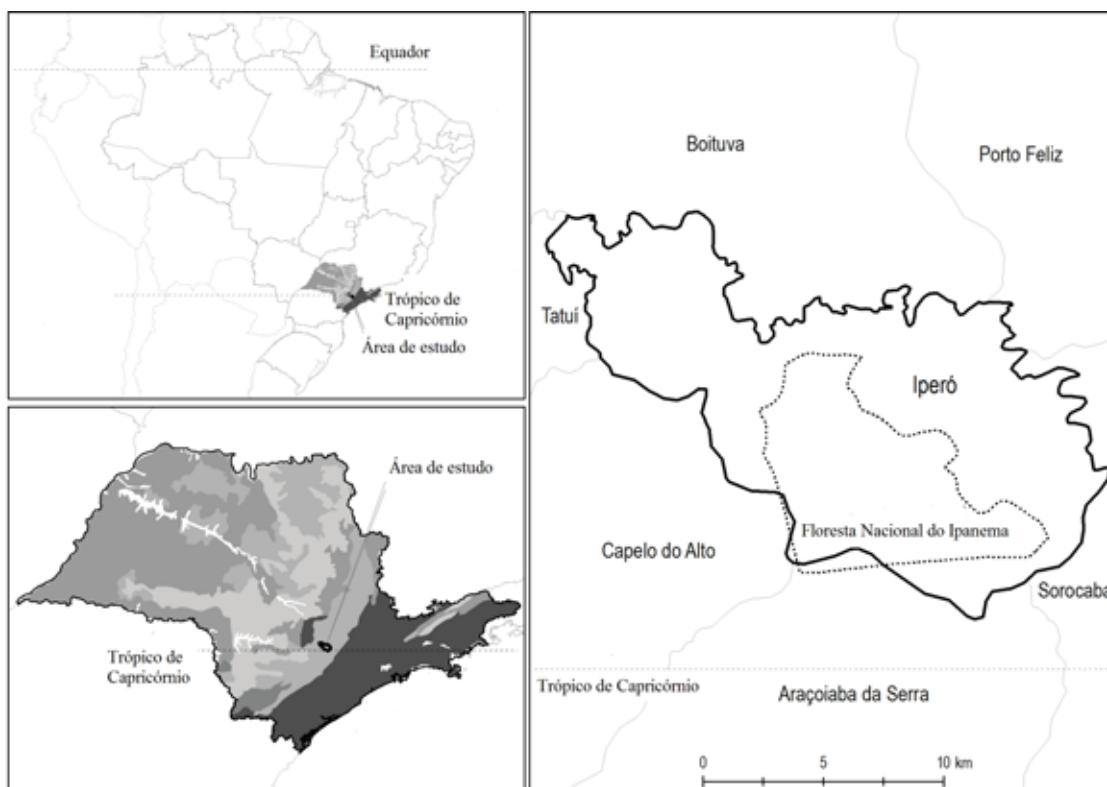


Figura 4.1 – Localização do município de Iperó no Estado de São Paulo.

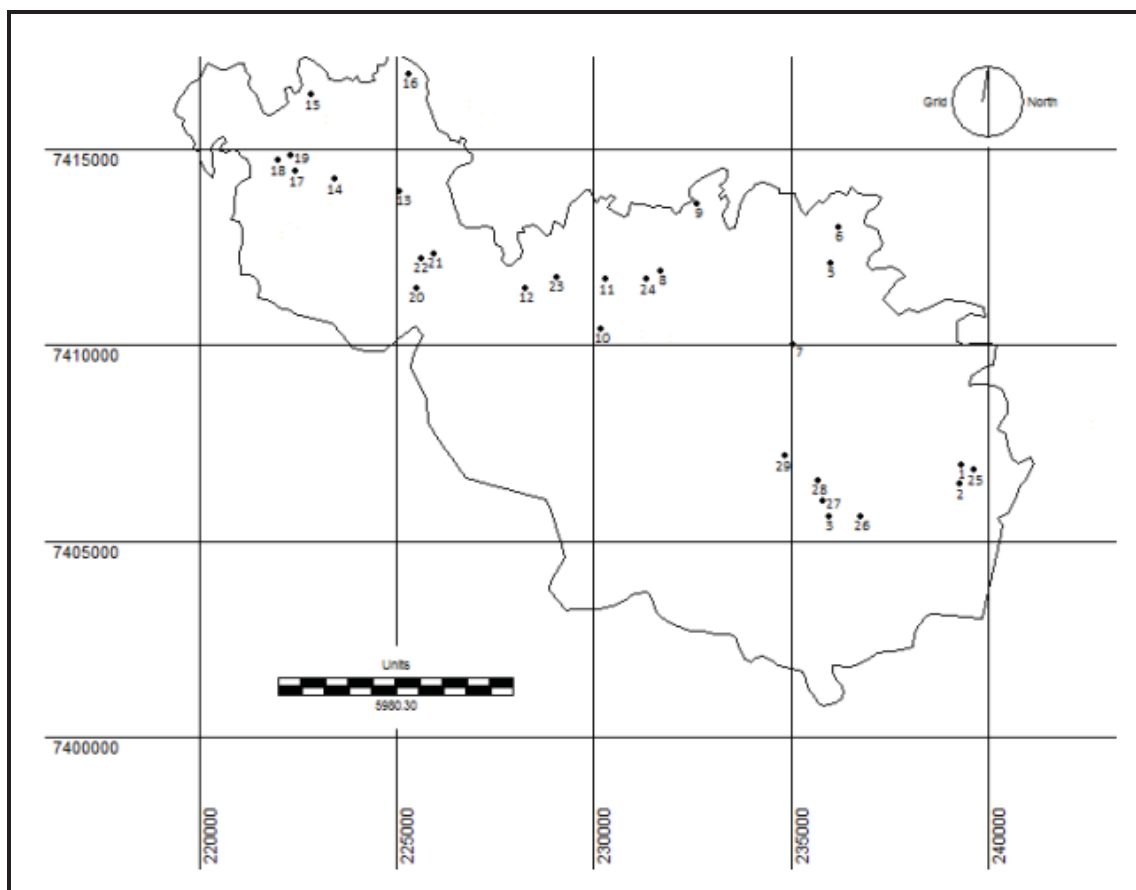


Figura 4.2 – Coordenadas geográficas da área de estudo (sistema UTM – fuso 23S) e distribuição dos pontos de coleta das amostras.

Possui temperatura média anual de $21,6^{\circ}\text{C}$. O mês mais frio é julho, com média de $17,8^{\circ}\text{C}$ e o mais quente é fevereiro, com média de $24,7^{\circ}\text{C}$. A média anual de chuva é de 1.237 mm. O semestre mais chuvoso ocorre entre outubro e março, onde geralmente ocorrem 75% do total pluviométrico anual (Tabela 4.1). Nos meses de estiagem, ocorre um déficit hídrico de 17 mm, enquanto que o excedente hídrico costuma ser mais de dez vezes este valor (Fonte: Banco de Dados Climatológicos da Embrapa).

Ocorrem solos das classes ARGISSOLOS (40,3%) e predominantemente LATOSSOLOS (59,7) (OLIVEIRA et al., 1999). A Figura 4.3 ilustra a distribuição das classes.

LATOSSOLOS em geral são solos muito intemperizados, profundos e de boa drenagem. Caracterizam-se por grande homogeneidade de características ao longo do perfil, mineralogia da fração argila predominantemente caulínica ou caulínica-oxídica, que se reflete em valores de relação Ki baixos, inferiores a 2,2, e praticamente ausência de minerais primários de fácil intemperização. Distribuem-se por amplas superfícies no Território Nacional, ocorrendo em praticamente todas as regiões, diferenciando-se entre si principalmente pela coloração e teores de óxidos de ferro, que determinaram a sua separação em quatro classes distintas. Os ARGISSOLOS possuem como característica marcante um aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt), geralmente acompanhado de boa diferenciação também de cores e outras características. As cores do horizonte Bt variam de acinzentadas a avermelhadas e as do horizonte A são sempre mais escurecidas. A profundidade dos solos é variável, mas em geral são pouco profundos. Os solos argilossolos são juntamente com os Latossolos, os solos mais expressivos do Brasil, sendo verificados em praticamente todas as regiões (IBGE, 2007).

Tabela 4.1. Normais mensais e anuais das variáveis climatológicas da região de Iperó-SP.

Mês	T	P	ETP	ARM	ETR	DEF	EXC
	(°C)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Jan	24,6	203	127	100	127	0	76
Fev	24,7	182	117	100	117	0	65
Mar	24,1	144	116	100	116	0	28
Abr	21,8	58	83	78	80	3	0
Mai	19,3	68	60	86	60	0	0
Jun	18,0	41	47	81	46	1	0
Jul	17,8	38	47	74	45	2	0
Ago	19,4	41	60	61	54	6	0
Set	20,8	65	72	57	69	3	0
Out	22,0	127	91	93	91	0	0
Nov	23,0	90	104	81	102	2	0
Dez	23,7	180	119	100	119	0	42
Totais ou médias	21,6	1.237	1.043	1.010	1.026	17	211

T – temperatura média mensal ou anual, P – precipitação pluviométrica, ETP – evapotranspiração potencial, ARM- armazenamento de água no solo, ETR- evapotranspiração real, DEF- deficiência hídrica e EXC- excedente hídrico.

Fonte: Banco de Dados Climatológicos da Embrapa. Acesso em março de 2013. Página:

<http://www.bdclima.cnpem.br>

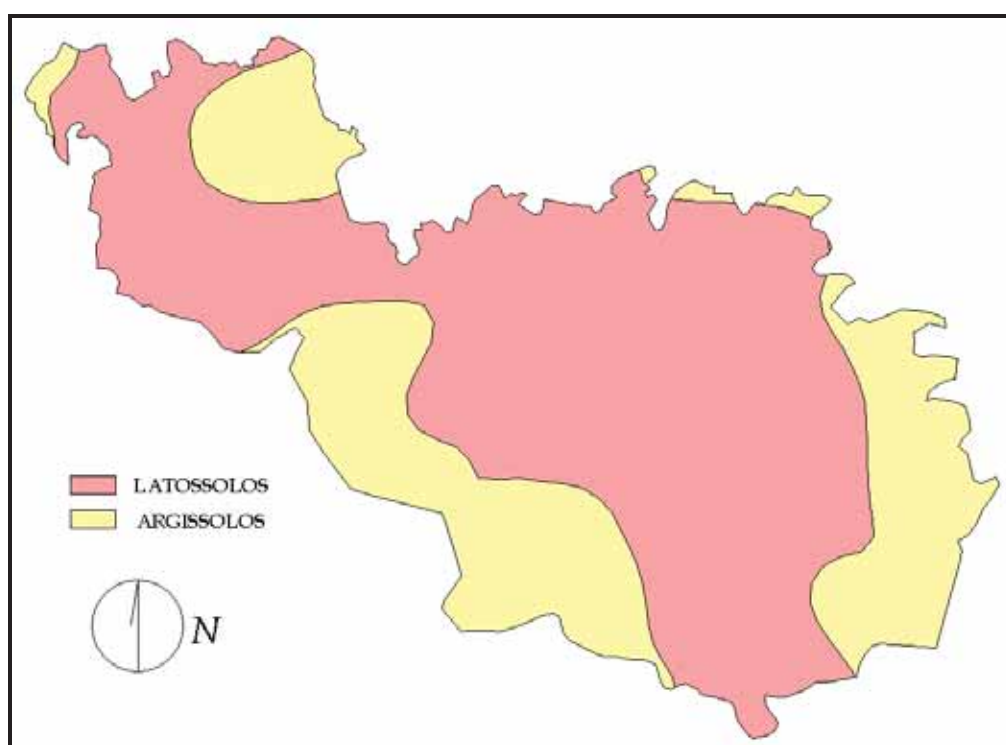


Figura 4.3. Distribuição das duas principais classes de solo no município de Iperó-SP. Recortado do Mapa Pedológico do Estado de SP – escala 1:500.000 (OLIVEIRA et al., 1999).

Segundo o Atlas de Informação Ambiental do sistema Biota-Fapesp (www.biota.org.br), o município ocorre integralmente numa área de ecótono, indicando pertencer à região fitoecológica de Floresta Estacional Semidecidual e mostrando existência das formações vegetacionais Savana e Floresta Ombrófila (ALBUQUERQUE e RODRIGUES, 2000). A heterogeneidade vegetal está relacionada com as características físicas do ambiente, como as condições edáficas e microclimáticas, além do histórico de perturbação da área.

Em trabalhos prévios de campo (antes da etapa de amostragem de solos) verificou-se que a principal classe de cobertura da terra é a pastagem e esta apresenta diferentes graus de degradação ao longo do município. Há pouca agricultura a qual é praticada em pequenas propriedades rurais e geralmente utilizando tecnologias pouco sofisticadas. Há ao longo do município pouco mais de 5.000 cabeças de gado, a qual é muito menor que a média dos municípios paulistas (aproximadamente 43.000 cabeças) (www.ibge.gov.br).

4.2 Procedimentos de amostragem.

4.2.1 Campo.

Os limites geopolíticos do município de Iperó constituíram a área de estudo do presente projeto. O padrão de amostragem foi estratificado randômico. Isto quer dizer que a área de estudo foi dividida em grupos considerando as classes de cobertura da terra. Dentro de cada grupo, ou classe de cobertura, as amostras de solo foram coletadas randomicamente.

Nesta área foram coletadas amostras de solo em 29 pontos distintos, tentando obter uma distribuição uniforme entre as diferentes classes de cobertura de solo (remanescentes de Mata, Cerrado e áreas hoje usada para pastagem e culturas agrícolas). Ainda que a distribuição dos pontos de amostragem não ficou visualmente uniforme pelas razões expostas acima, encontrou-se ao longo da área de estudo um número de remanescentes de vegetação natural (Mata ou Cerrado) adequado para coletar o número almejado de amostras (Apêndice A). Adicionalmente amostras foram coletadas também em áreas com cobertura antropizada.

Sabendo-se que os processos regulatórios de armazenamento e ciclagem do C e do N variam expressivamente entre as profundidades 0 – 20 cm e 20 – 100 cm e sabendo que as alterações na qualidade dos solos em decorrência da alteração da cobertura da terra ocorrem nos primeiros 20 centímetros superficiais (HOBBIE e OUIMETTE, 2009; SALOMÉ et al., 2010), foram coletadas amostras de solo na profundidade 0 – 20 cm em todas as classes de cobertura.

As coletas em campo foram feitas em duas datas distintas, sendo o primeiro dia de coleta 12 de outubro de 2011 em que foram coletadas as primeiras 24 amostras e o segundo dia de coleta 19 de outubro de 2011 em que foram coletadas as 5 amostras complementares.

A metodologia foi a mesma para todos os pontos. Após chegar ao local de coleta, consistiu na raspagem superficial do local, de modo a retirar qualquer vegetação ou material orgânico existente sobre a superfície do solo com auxílio de um enxadão. Em seguida, com o auxílio de um martelo, inseriu-se o anel volumétrico na camada superficial do solo, retirando-o cuidadosamente quando este estivesse totalmente cravado no solo. O anel com a amostra era então colocado em um saco plástico e em seguida lacrado, identificado e armazenado.

A segunda amostra (deformada) foi coletada num local bem próximo ao primeiro ponto (num raio geralmente menor que 1 metro) com auxílio do enxadão, colocada em um saco plástico e em seguida lacrada, identificada e armazenada. Em cada ponto coletava-se cerca de 800 gramas de amostras.

Durante a coleta de campo, cada ponto de amostragem foi georreferenciado e em cada também foi anotada a cobertura do solo no entorno próximo (dentro de um raio de 10 metros). Cada amostra foi transportada para o laboratório do Campus de Sorocaba – UNESP.

4.3. Confecção dos Mapas.

4.3.1. Mapas de variação espacial de indicadores.

Para a confecção dos mapas que demonstram a distribuição espacial dos indicadores estudados no trabalho, utilizou-se o software Surfer versão 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002). Dentro do software, usou-se como opção de interpolador espacial a Krigagem, que se mostrou com maior confiabilidade (SHINKAWA, 2012).

4.3.2. Mapa de cobertura da terra do município de Iperó.

Para confecção do mapa utilizou-se uma imagem do satélite Landsat (cena 200/76) de 3 de setembro de 2011. Utilizando-se o software Idrisi versão Kilimanjaro (EASTMAN, 2003) procedeu-se a interpretação visual das cenas, na qual cada um dos identificadores numéricos (IDs) existentes na imagem foi analisado e reclassificado, conforme já descrito e utilizado por Silva (2004). Nesta reclassificação o ID analisado

adquiriu um novo valor numérico, este agora pertencendo a uma das oito categorias de cobertura da terra.

Optou-se por realizar este tipo de classificação pelo fato de que neste método há, de forma expressiva, o máximo uso do bom senso e do olho clínico do interpretador, que não é a máquina (computador, como nos métodos de classificação digital), mas sim o usuário. Neste sentido, em situações onde pixels com ID cuja resposta espectral pudesse gerar dúvidas de interpretação, características complementares tais como posição do pixel na paisagem, geometria do polígono formado pelo conjunto de pixels com mesmo ID, comparação com pixels vizinhos, entre outras, proporcionaram um ganho de informações e uma maior certeza no momento da interpretação (SILVA, 2005).

É importante frisar que a etapa de elaboração do mapa digital de cobertura da terra foi iniciada antes da etapa de coleta de amostras de solo, ou seja, as classes de cobertura da terra escolhidas para compor o presente estudo foi de acordo com a porcentagem de maior ocorrência no município.

4.4 Análises laboratoriais e estimativas.

4.4.1. Análises físicas do solo.

No Laboratório da UNESP – Campus de Sorocaba, as amostras superficiais coletadas com anel volumétrico foram pesadas e posteriormente colocadas em estufa a 80°C até peso constante. Como o anel volumétrico possui volume conhecido, foi calculada a densidade do solo dividindo-se o peso seco do solo - descontando-se o peso

do anel - pelo volume ocupado no anel. As demais amostras, coletadas com auxílio da enxada, também foram colocadas em estufa a 80°C para secagem até peso constante.

Por sua vez, as amostras coletadas com a enxada, uma vez já secas, foram destorroadas, passadas em peneira de malha de 2,00 milímetros e cuidadosamente homogeneizadas. O conteúdo que passou por esta peneira foi separado em três alíquotas. A primeira permaneceu em Sorocaba para cálculo dos índices físicos.

A segunda alíquota foi enviada ao laboratório de análises de solo do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ – USP para as análises descritas a seguir. A terceira alíquota foi novamente peneirada utilizando-se uma peneira de malha de 0,35 mm. O material que passou por esta peneira foi transportado ao Centro de Isótopos Estáveis do Instituto de Biociências de Botucatu (CEI – IBB - Unesp) para análise dos teores de C, N e da assinatura isotópica do C e N.

4.4.1.1 Densidade do solo.

Calculou-se o volume do anel utilizando-se a fórmula de volume de um cilindro e em seguida utilizada a equação (1) (pág. 7), dividindo o valor de massa de solo seco pelo volume calculado.

4.4.1.2 Densidade das partículas.

Foi calculada pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). Consistiu em colocar 10 gramas de amostra de solo seco peneirado em um balão volumétrico de 25 mL, completando o volume do balão com água destilada utilizando-se de bureta de 50 mL certificando que os vazios estão todos cobertos por água. Após completado o

volume do balão, anotou-se o volume de água gasto na bureta e, utilizando-se, a equação (2) (pág. 7), calculou-se a densidade das partículas. A massa de solo utilizada foi de 10 gramas e o volume de solo consiste no volume do balão (25 mL), subtraído do volume de água utilizado.

4.4.1.3 Porosidade.

A porosidade foi determinada matematicamente após a obtenção dos valores das densidades anteriores a partir da equação (3) (pág. 9).

4.4.1.4. Cor.

A cor de cada amostra de solo foi determinada por comparação com padrões contidos na Carta de Cores de Munsell (1975) em amostras secas (OLIVEIRA et al. 1998; BOTELHO et al., 2006; TEIXEIRA et al.2007).

4.4.1.5. Umidade relativa.

A umidade relativa foi determinada utilizando-se a equação (4) (pág. 10) utilizando os valores obtidos das massas de amostras de solo antes e depois de secas na estufa.

4.4.2. Análises químicas do solo.

A alíquota enviada à ESALQ foi submetida à análise das variáveis químicas descritas a seguir, conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001).

No laboratório foram feitas: uma extração única dos cinco cátions com NH_4Cl 1 mol.L⁻¹, uma extração de Ca, Mg e Al com KCl 1 mol L⁻¹ e uma extração de Na com o extrator Mehlich-1 (H_2SO_4 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹). Em todas as extrações, utilizou-se a relação solo:solução extratora de 1:10 (massa de amostra de 5,0 g e volume da solução extratora de 50 mL). A agitação das suspensões solo-soluções foi feita em agitador orbital, por 5 min, à velocidade de 120 ciclos/min.

As extrações, em duplicata, eram realizadas à tarde, ficando as suspensões em repouso até a manhã do dia seguinte, quando eram feitas as determinações nos extratos já límpidos, sem necessidade de filtração. Nos respectivos extratos de solo, os teores de Ca e Mg foram determinados por espectrometria de absorção atômica (RAIJ et al., 2001); K, por fotometria de chama (EMBRAPA, 1997), e Al, por espectrofotometria, utilizando-se o método do alaranjado de xilenol com leitura da cor em $\lambda = 555$ nm (COSCIONE et al., 2004).

4.4.3 Teores e análises isotópicas do C e N.

A partir da alíquota de cada amostra que foi enviada ao Centro de Isótopos Estáveis do Instituto de Biociências da Unesp - campus de Botucatu foram pesados aproximadamente 50 µg de solo para análise da razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e aproximadamente 600 µg de solo para a medida da razão isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. As amostras foram pesadas dentro de cápsulas de estanho e introduzidas por meio de amostrador

automático no analisador elemental (EA 1108 – CHN – *Fisons Instruments*, Rodano, Itália) onde, em presença de oxigênio (O_2) e óxido de cobre (CuO), a amostra foi queimada quantitativamente para a obtenção de CO_2 e NO_x ; este último será então reduzido a N_2 na presença de cobre.

Os gases formados foram separados em coluna cromatográfica gasosa e analisados no espectrômetro de massas de razões isotópicas (Delta S – Finnigan MAT, Bremen, Alemanha) (DUCATTI et al., 1982).

Os equipamentos (espectrômetro de massa e analisador elemental) forneceram, de forma integrada, os valores dos sinais isotópicos do C e N (espectrômetro) e valores dos teores de C e N (analisador). O espectrômetro de massas é um instrumento que separa íons, positivos ou negativos, produzidos a partir de átomos ou moléculas, quer sejam das mais simples às mais complexas, de acordo com a razão massa/carga (m/q).

O analisador elemental é um sistema acessório acoplado ao espectrômetro e visa reduzir o trabalho com o preparo de amostras (transformação do elemento de interesse da forma combinada a uma forma gasosa desejável) (ZAGATTO, 2000).

4.5. Análises estatísticas.

Para validação do mapa de cobertura da terra, foi efetuada a análise comparativa entre o mapa elaborado na classificação e pontos que mostram a “verdade de campo”. A análise foi feita usando-se o índice Kappa e o software usado foi o Idrisi 32.2.

Para os resultados obtidos sobre as variáveis do solo foi analisada a significância estatística de diferenças conforme a classe de cobertura da terra através da análise de variância não-paramétrica (teste de Kruskal-Wallis), a 5% de probabilidade. O software usado foi o Bioestat (AYRES et al., 2007).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

5.1. Mapa de Cobertura da terra.

O índice Kappa obtido para o mapeamento foi 0,76. Este valor, segundo Câmara (2003), é classificado como “muito bom” e o mapeamento foi então validado. A classe de cobertura predominante é a Mata, ocorrendo em 33,3% da área de estudo (Tabela 5.1 e Figura 5.1.). A principal razão destes números é o fato do município de Iperó abrigar parte do território da Floresta Nacional de Ipanema, que é uma Unidade de Conservação Federal criada em 1992 e mantida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

A ocorrência de Cerrado também foi significativa (27,8%). O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro e também do estado de São Paulo. No município de Iperó encontra se Cerrado Sensu Lato (ALBUQUERQUE e RODRIGUES, 2000). As classes Mata e Cerrado totalizam 61,1% de vegetação remanescente natural, um valor altamente significativo superior a média para o estado de São Paulo.

Tabela 5.1. Cobertura do solo conforme a classe de cobertura para o município de Iperó em 2011.

Classes de cobertura	Área (ha)	% de ocorrência
Mata	56,6	33,3
Pastagem	50,3	29,6
Cerrado	47,2	27,8
Solo exposto	6,9	4,1
Área urbana	4,6	2,7
Corpos d'água	3,0	1,7
Agricultura	1,2	0,7
Outros	0,2	0,1

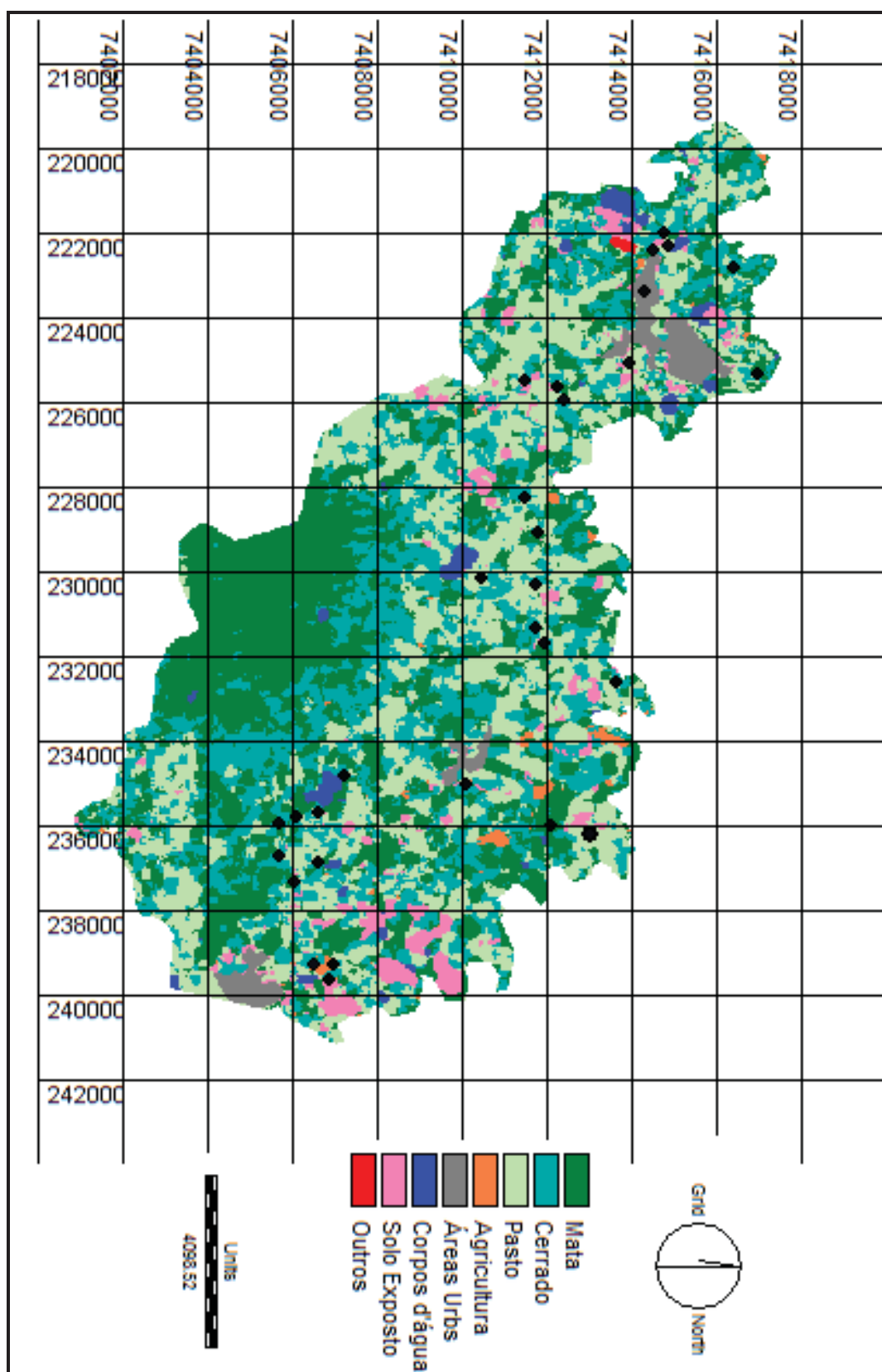


Figura 5.1. Mapa de cobertura da terra de Iperó-SP para o ano 2011 (pontos pretos= pontos de coleta).

A pastagem teve uma ocorrência de 29,6%. Esta classe de cobertura é predominante em muitas regiões do estado de São Paulo (SILVA et al., 2007). A área urbana possui 2,7% está concentrada principalmente na porção oeste do município. A classe “agricultura”, ocorreu em 0,7% da área de estudo. Nesta categoria a principal cultura foi a cana-de-açúcar. A classe “solo exposto” obteve 4,1% na área de estudo, predominando, mas na porção leste no município. A classe “corpos-d’água” ocorreu em 1,7%, é representada pelos sistemas lânticos ocorrentes ao longo da área de estudo. Por fim, a classe “outros” que apresenta 0,1% é referente a uma mineradora de ferro localizada no município.

Valores mais altos para solo exposto e áreas agrícolas são usualmente mais altos do que os encontrados para Iperó. Estas foram as duas classes de cobertura que apresentaram maior dificuldade para interpretar na imagem do satélite Landsat, pelo fato de apresentarem comportamento espectral semelhante a outras classes. Ambas as classes geralmente são de ocorrência efêmera. A classe solo exposto representa um processo de transição temporária (por exemplo, períodos de entressafras) ou ainda pode ser confundido com regiões específicas dentro de áreas urbanas (novos loteamentos, especialmente aqueles cujas ruas ainda estão desprovidas de cobertura asfáltica) e até mesmo pastagens em situações precárias, enquanto áreas agrícolas, dependendo da cultura ali instalada, podem ser confundidas com pastagem, eventuais áreas de cerrado e campo aberto.

5.2 Análises das variáveis físicas do solo.

A partir dos dados coletados nas análises laboratoriais, construiu-se a Tabela 5.2 que apresenta a estatística descritiva das variáveis quantificadas. O teor de umidade

relativa apresentou pouca variação entre as classes de cobertura de solo. Os valores de umidade apresentaram valores alto devido as condições climáticas do período da coleta. Para a pastagem, esperava-se um teor de umidade inferior a apresentada devido suas características naturais.

Tabela 5.2 – Valores médios, coeficientes de variação (CV) e teste de Kruskal-Wallis dos valores físicos de umidade relativa (UR), densidade do solo (DS), densidade de partículas (DP) e porosidade do solo conforme o tipo de cobertura da terra. Para cada coluna, letras diferentes mostram diferenças significativas ($P = 0,05$, teste de Kruskal-Wallis).

Variáveis →		UR	DS	DP	Porosidade
↓ Categorias de cobertura		(%)	(g.cm ⁻³)	(g.cm ⁻³)	(%)
Cerrado	Média	17,5 a	1,0 a	2,1 a	48,2 a
	CV (%)	30,7	16,7	10,7	15,1
Mata	Média	18,3 a	1,1 a	2,1 a	43,8 a
	CV (%)	37,7	16,7	9,4	22,8
Pastagem	Média	18,5 a	1,2 a	2,1 a	42,5 a
	CV (%)	35,9	14,0	11,1	20,9

Os valores de densidades do solo e de partículas e também da porosidade ficaram em conformidade com o que é geralmente reportado na literatura. Maiores valores de densidades do solo e menores para porosidade ocorreram para pastagem e agricultura, enquanto Cerrado e remanescentes de Mata apresentaram valores de densidade menores e conseqüentemente porosidade maior.

Adicionalmente, pode-se observar que na porosidade, comparando-se o valor do mesmo para a classe agricultura com a de pastagem, o primeiro se encontra inferior ao segundo, ou seja, a classe de pastagem, onde ocorre pisoteio de gado, apresentou maior

quantidade de espaços vazios que a agricultura, em que teoricamente ocorre uma maior movimentação de terra. Duas hipóteses podem ser levantadas: (1) como ambas as classes de agricultura eram plantações de cana, existiu passagem de máquinas pesadas e as amostras podem ter sido coletadas nas mesmas; (2) na análise individual dos resultados de porosidade para as amostras de pastagem, existem amostras que apresentaram valor muito alto de porosidade, o que pode indicar que provavelmente, embora essas regiões apresentem aspectos de pastagens, não ocorra a criação de gado e conseqüentemente o pisoteio do solo, o grande causador de compactação de solos em pastagens. Ambos indicadores físicos não apresentaram valores distintos entre as classes, porém estão dentro das regularidades.

5.3 Análises químicas.

Dos atributos químicos, destaca-se a regularidade do pH, ou seja, os resultados encontrados já eram esperados para esse tipo de solo (Tabelas 5.3 e 5.4). As médias das três classes de cobertura do solo não apresentam diferença estatisticamente significativa. Os solos apresentam elevada acidez, a qual constitui uma característica natural de solos tropicais (EMBRAPA, 1999).

Tabela 5.3. Valores médios, coeficientes de variação (CV) e teste de Kruskal-Wallis dos valores químicos pH, P, K, Ca, Mg do solo conforme o tipo de cobertura da terra. Para cada coluna, letras diferentes mostram diferenças significativas ($P = 0,05$, teste de Kruskal-Wallis).

Variáveis →		pH	P	K	Ca	Mg	Al
↓ Categorias de cobertura		(mg kg ⁻¹)					
Cerrado	Média	5,5 a	25,3 a	5,4 a	73,1 a	20,0 a	0,2 a
	CV (%)	4,9	62,8	30,1	41,2	47,7	198,4
Mata	Média	5,2 a	25,3 a	3,9 a	178,1 a	31,4 a	0,5 a
	CV (%)	15,8	49,0	90,6	129,8	88,1	182,4
Pastagem	Média	4,8 a	29,6 a	4,0 a	43,0 a	13,1 a	1,5 a
	CV (%)	12,0	118,7	78,1	40,1	47,5	204,2

Tabela 5.4. Valores médios, coeficientes de variação (CV) e teste de Kruskal-Wallis dos valores químicos H + Al, SB, CTC, V, m e M. O. do solo conforme o tipo de cobertura da terra. Para cada coluna, letras diferentes mostram diferenças significativas ($P = 0,05$, teste de Kruskal-Wallis).

Variáveis →		H + Al	SB	CTC	V	M	M.O.
↓ Categorias de cobertura		(cmol _c .dm ⁻³)	(cmol _c .dm ⁻³)	(cmol _c .dm ⁻³)	(%)	(%)	(g/dm ³)
Cerrado	Média	26,7 a	98,4 a	125,2 a	77,3 a	0,2 a	46,22 a
	CV (%)	19,2	40,0	31,7	8,5	198,4	36,3
Mata	Média	28,4 a	213,4 a	241,8 a	73,6 a	2,6 a	42,1 a
	CV (%)	52,3	120,9	102,3	34,0	272,3	45,3
Pastagem	Média	39,8 a	59,9 a	99,9 a	59,7 a	4,0 a	35,0 a
	CV (%)	44,6	40,0	27,5	31,0	233,0	50,5

A maior diferença foi encontrada na classe de cobertura pastagem que apresentou valor de pH mais ácido. Em Campo constatou-se que a maioria das pastagens estava em situação precária, bastante degradadas, aparentando não apresentarem um programa de adubação e correção de solo, o que provavelmente contribuiu para esse baixo índice.

O pH do solo se apresenta como ácido, essa relação está diretamente ligada a H^+ e Al^{3+} . Essa acidez é responsável pela liberação do Al^{3+} . Assim, quanto maior a presença de H^+ e Al^{3+} , maior a acidez do solo. Os resultados de H^+ e Al^{3+} apresentaram igualdade estatística entre os solos de Cerrado, Mata e pastagem. Outro atributo que explica o baixo acúmulo de cálcio, magnésio e potássio é devido o pH do solo ser ácido, pois solos alcalinos ocorrem quando possuem acúmulo destes (CAIRES et al., 2002; RAMOS et al., 2006).

5.4. Isótopos de Carbono e Nitrogênio.

Há diferenciação do C no solo, sendo as variações de metabolização de plantas C_3 e C_4 as responsáveis por essa característica (Tabela 5.5). As plantas C_3 representam a Mata e Cerrado (VNR) e as plantas C_4 a pastagem (Figura 5.2). Ocorre maior degradação na cobertura de solo pastagem, pois na Mata e Cerrado a ciclagem dos materiais é constante e maior. O teste de Kruskal-Wallis comprova a semelhança entre os resultados isotópicos de C da Mata e Cerrado, e a distinção da pastagem; deixando bem clara a distinção entre plantas C_3 e C_4 .

Tabela 5.5. Valores médios, coeficientes de variação (CV) e teste de Kruskal-Wallis dos valores isotópicos de C e N do solo conforme o tipo de cobertura da terra. Para cada coluna, letras diferentes mostram diferenças significativas ($P = 0,05$, teste de Kruskal-Wallis).

Classes de cobertura	C		N	
	Média (‰)	CV (%)	Média (‰)	CV (%)
Cerrado	- 26,4 a	1,8	4,4 a	28,4
Mata	- 24,6 a	5,3	5,8 ab	24,4
Pastagem	- 17,1 b	14,9	7,0 b	20,6

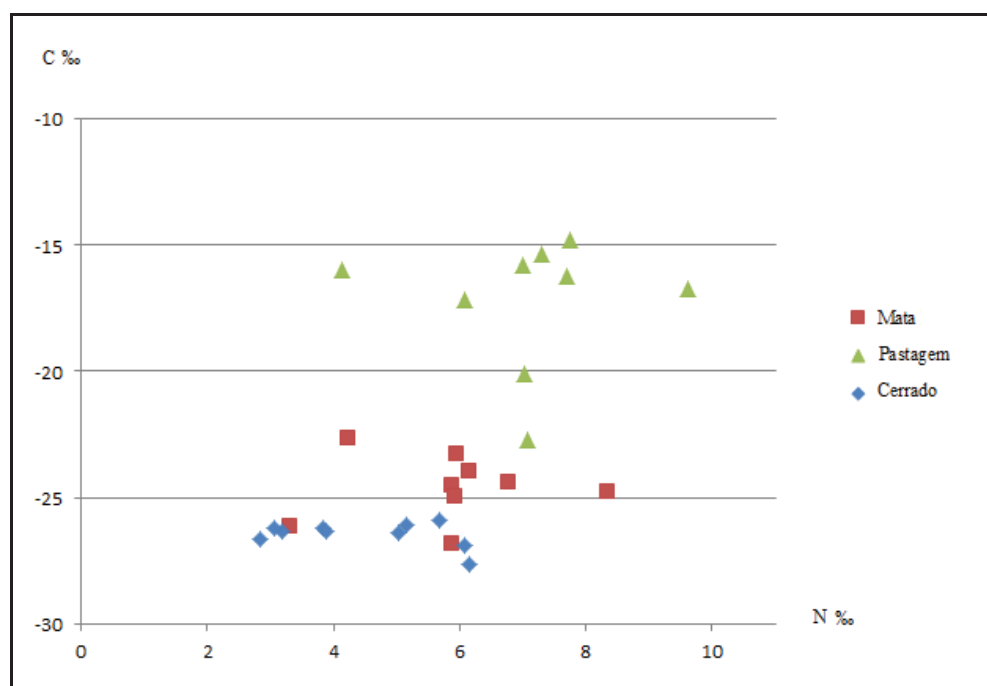


Figura 5.2– Relação entre Isótopos de C e N.

As áreas com pastagem apresentaram valores diferenciados em relação à área de referência. Normalmente, à medida que as pastagens tornam-se mais antigas, o ^{13}C do solo aumenta progressivamente. Tal enriquecimento é devido à entrada de material vegetal rico em ^{13}C proveniente do material orgânico da pastagem (BERNOUX et al.,

1999). Valores mais altos de $\delta^{13}\text{C}$ ocorreram na forma de manchas descontínuas e de maneira mais pronunciada nas porções centrais e norte da área de estudo (Figura 5.3).

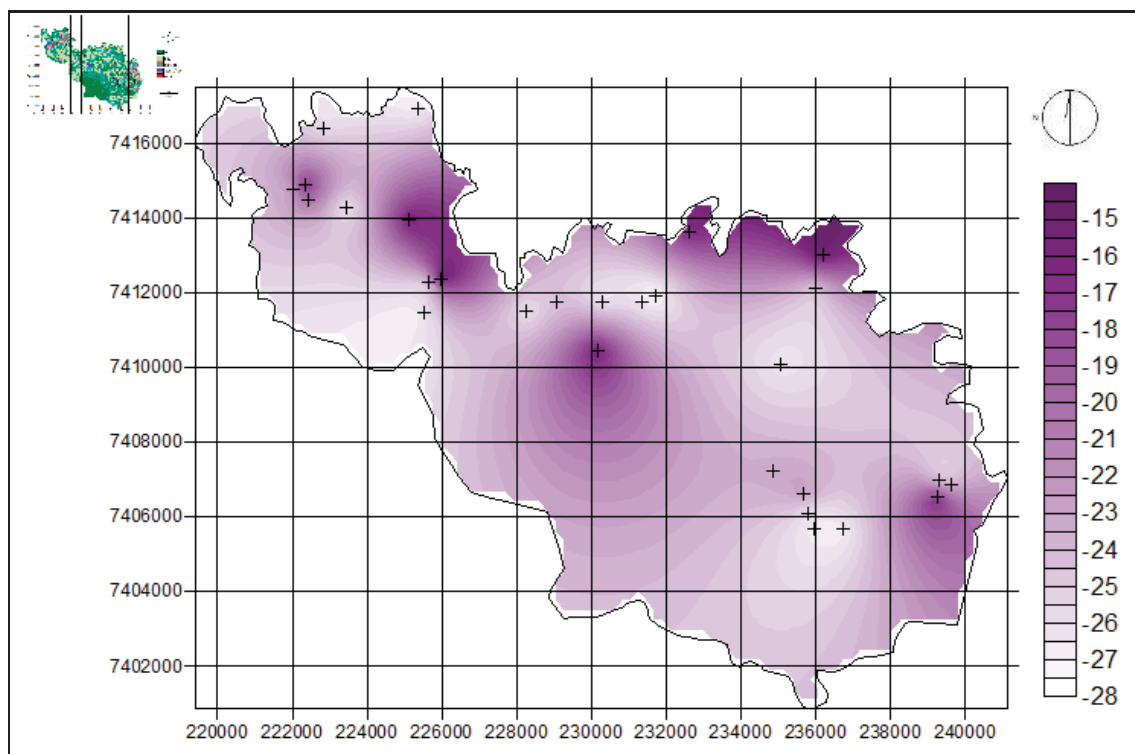


Figura 5.3. Mapa de variação espacial dos valores de $\delta^{13}\text{C}$.

Os dados de isótopos de N indicam valores médios de 4,49‰ no Cerrado, 5,82‰ na Mata e 7,07‰ na pastagem, para o município de Iperó (Tabela 5.5). Em relação aos valores de $\delta^{15}\text{N}$, pode-se dizer que podem variar de 6,38‰ até 10,07‰, valores estes que remetem ao enriquecimento do $\delta^{15}\text{N}$ nas amostras de solo quando comparados os resultados ao N_2 atmosférico. Segundo Moraes (1995), valores próximos a 7‰ são considerados solos agrícolas, sendo que os remanescentes de vegetação possuem valores distantes do considerado típicos para áreas florestais (1‰), ainda que a formação florestal na área de pesquisa seja caracterizada pela transição entre Cerrado e mata estacional.

Este enriquecimento de $\delta^{15}\text{N}$ nas áreas de remanescente de vegetação pode ser devido ao aporte de N proveniente de outras fontes além do N atmosférico. Somado a isso, se entende que o processo de metabolização do referido nutriente libera N empobrecido em ^{15}N por conta dos processos de denitrificação, volatilização de amônia e lixiviação de nitrato (HÖGBERG, 1997 *apud* LEMMA e OLSSON, 2006), já que se trata de um ambiente com N em excesso (MARTINELLI et al., 1999).

Os fatores que podem afetar a concentração de ^{15}N no solos são: clima (especialmente a variação sazonal da pluviometria), tipo de vegetação, adição de fertilizantes nitrogenados, presença de gado. O teste de Kruskal-Wallis demonstra distinção entre os resultados de Cerrado e Pastagem, sugerindo que a Mata seja transição entre ambos em termos de assinatura isotópica.

Outra resposta ao enriquecimento em ^{15}N nos solos sob remanescente de vegetação pode estar relacionada à quantidade de material orgânico disponível para decomposição. A maior disponibilidade de N no solo corresponde a um ciclo mais aberto deste nutriente, no qual ocorre perda preferencial do isótopo leve pelo fracionamento, resultando na acumulação residual de ^{15}N no solo e indicando que há abundância de N no ambiente (MARTINELLI et al., 1999; OMETTO et al., 2006).

Ao contrário dos valores de $\delta^{13}\text{C}$, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ apresentaram amplitude menor de variação a uma distribuição espacial mais uniformizada ao longo da área de estudo (Figura 5.4).

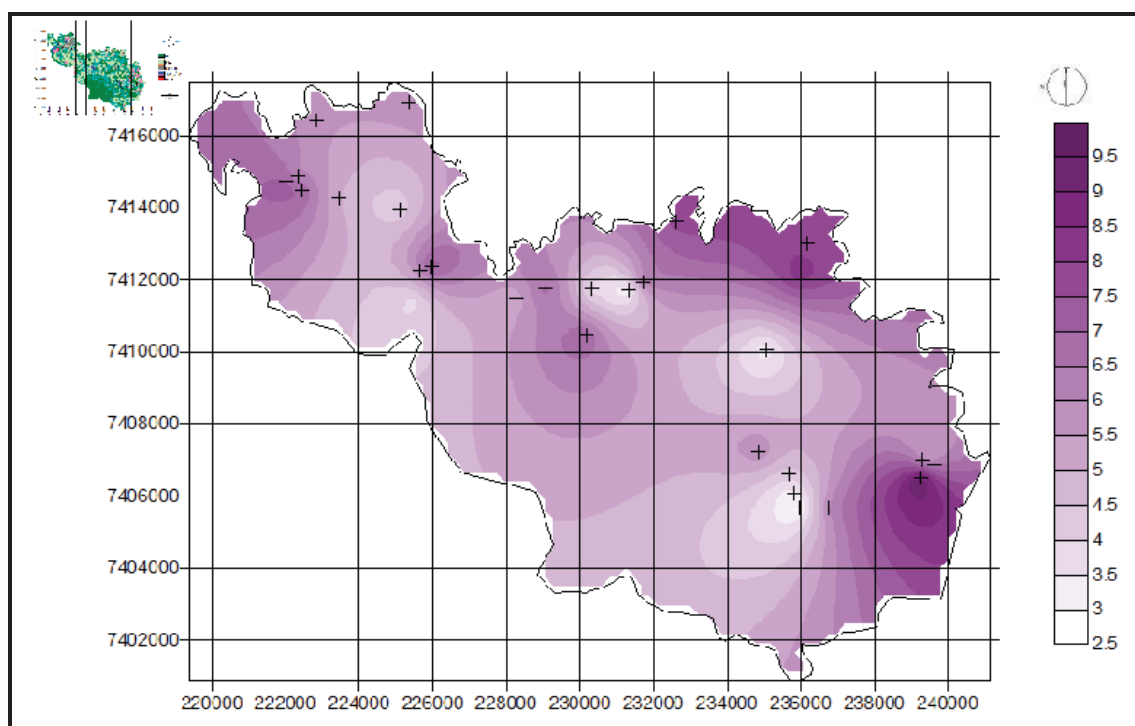


Figura 5.4. Mapa de variação espacial dos valores de $\delta^{15}\text{N}$.

5.5. Teores de C e N.

Maior valor médio do teor de C ocorreu na área de Mata (Tabela 5.6). No entanto, pelo teste de Tukey as médias não possuem diferença significativa entre as classes de cobertura. Em relação aos teores de N nos solos amostrados o Cerrado e a Mata possuem a mesma média, diferindo da pastagem, porém pelo teste de Tukey as médias não possuem diferença significativa.

Observou-se correlação positiva entre os teores de C e N no solo (Figura 5.5). A relação entre teores de C e N é observada independentemente da classe de cobertura da terra e independentemente se a amostra possui muito ou pouco C. Tal relação já vem sendo amplamente relatada na literatura (D'ANDRÉA et al., 2004) e foi confirmada também neste estudo. Esta relação reflete na decomposição da matéria orgânica do solo.

Tabela 5.6. Valores médios, coeficientes de variação (CV) e teste de Kruskal-Wallis dos valores teor de C e N do solo conforme o tipo de cobertura da terra. Para cada coluna, letras diferentes mostram diferenças significativas ($P = 0,05$, teste de Kruskal-Wallis).

Classes de cobertura	C		N	
	Média (%)	CV (%)	Média (%)	CV (%)
Cerrado	2,0 a	58,9	0,2 a	66,2
Mata	2,3 a	65,0	0,2 a	54,2
Pastagem	1,6 a	38,6	0,1 a	39,1

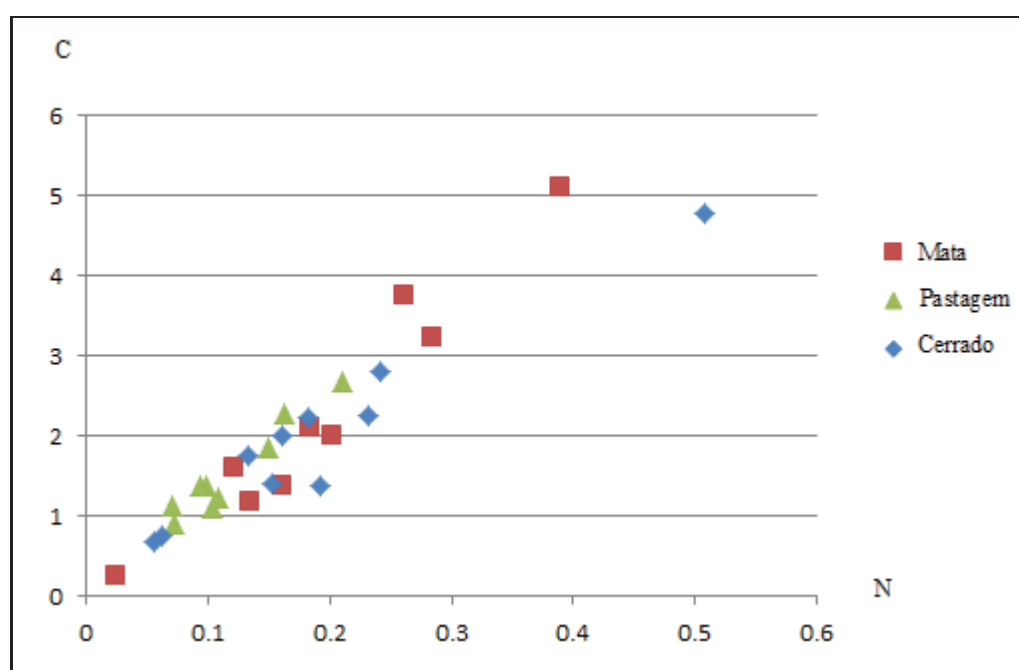


Figura 5.5. Relação entre teor de C e N.

No caso dos resultados obtidos para os teores de C e N, pode-se dizer que há uma correlação linear positiva, pois os pontos se aglomeram próximos da reta de regressão. Isso quer dizer que se a quantidade de C diminui, a de N também diminui, e vice-versa. O diagrama de dispersão permite que essa correlação seja observada e, através do resultado do coeficiente de correlação de Spearman estabelece-se que a

relação entre as variáveis é da ordem de 0,80, o que significa que há uma forte correlação entre as variáveis e que o aumento ou diminuição de uma delas acarreta na aumento ou diminuição da outra.

A Figura 5.6 representa a variação espacial do teor de C distribuído em todo o município de Iperó. As regiões mais escuras indicam valores mais altos do C, sendo regiões de VNR. A parte oeste do mapa é onde se localiza a zona urbana, apresentando valores menores. A região leste do município é estritamente rural, apresentando valores maiores.

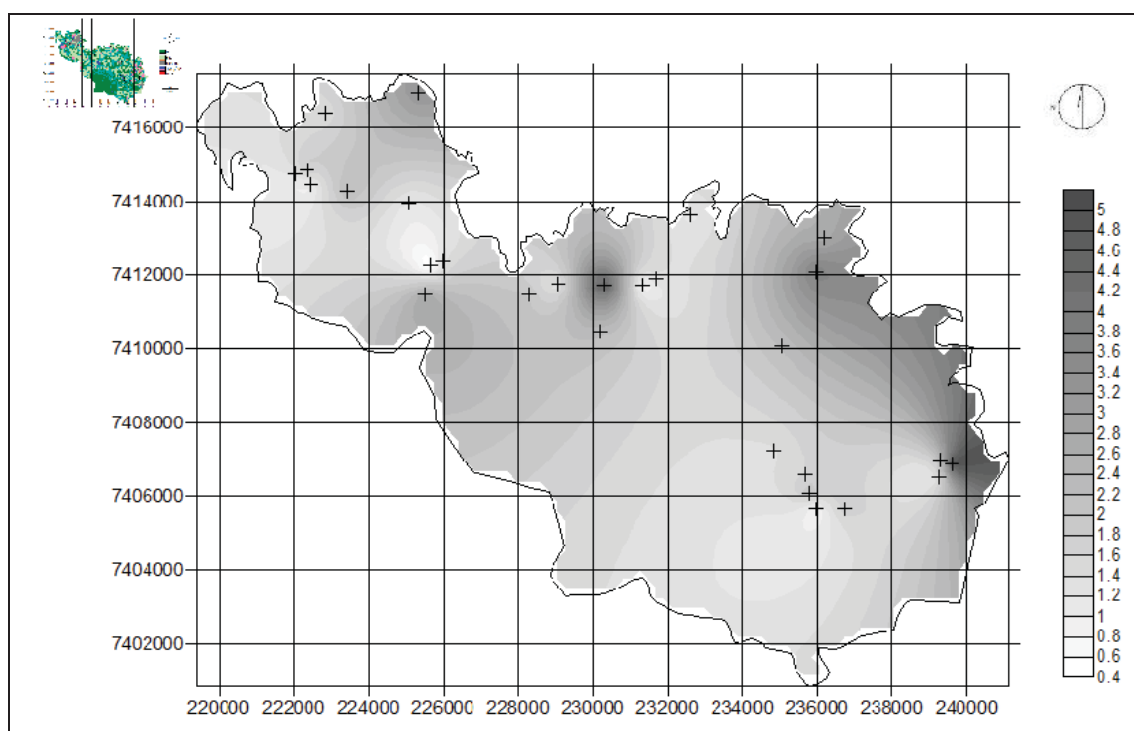


Figura 5.6. Mapa de variação espacial para o teor de C (valores em %).

A Figura 5.7 representa a variação espacial do teor de N distribuídos em todo o município de Iperó. Podemos observar que os maiores índices estão localizados na zona rural, devido à existência de pastos e criação de gado onde a concentração do nitrogênio é maior devido ao uso de fertilizantes.

Comparativamente os mapas dos teores de C e N estão bem parecidos, devido à correlação que existe entre ambos, se o teor de C aumenta o de N também e vice versa.

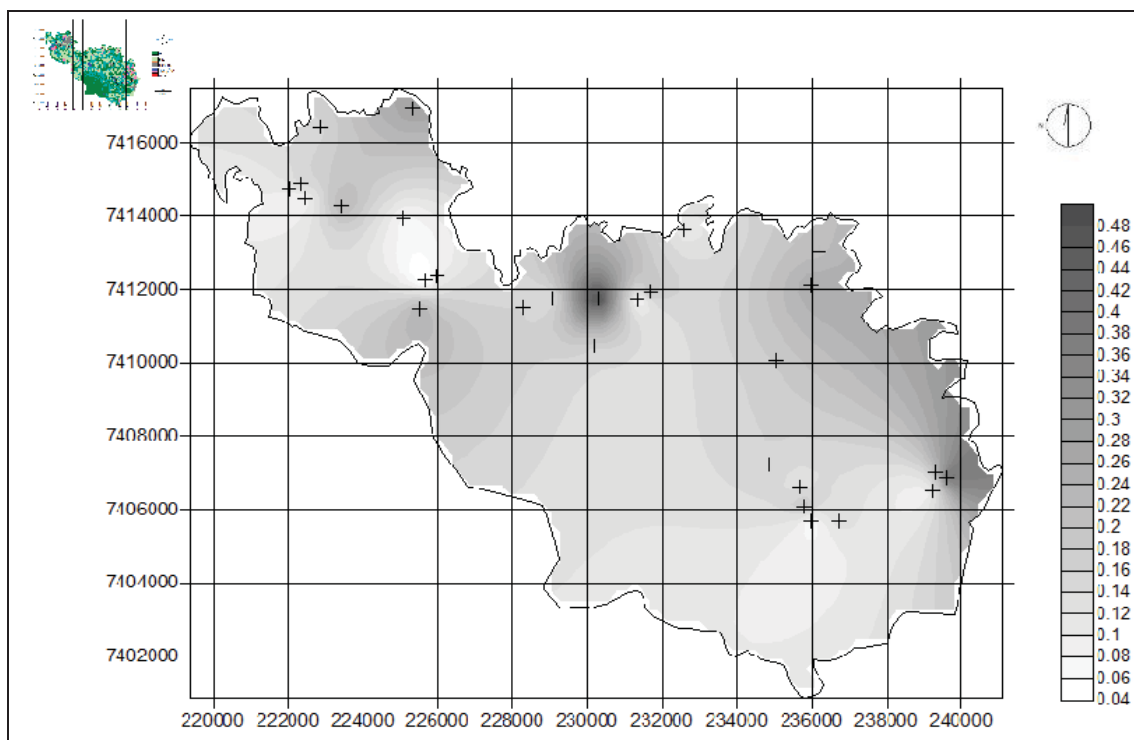


Figura 5.7. Mapa de variação espacial para o Teor de N (valores em %).

A Figura 5.8 representa a relação entre o teor de C e a assinatura isotópica. Há uma clara distinção entre as plantas C_3 (Mata e Cerrado) e C_4 (pastagem) em relação aos isótopos de C. Comparando apenas a Mata e o Cerrado, pode-se observar um leve deslocamento dos valores do Cerrado para -26‰ em diante, significando que apresenta menor quantidade de ^{13}C no solo, pois quanto mais negativo menor é a quantidade de ^{13}C no solo, porém não temos uma distinção significativa entre Mata e Cerrado. Podemos observar que 2 pontos de pastagem apresentaram sinais isotópicos quase nos valores estimados para plantas C_3 . Isto pode ser atribuído ao fato desses pontos ter apresentado um maior acúmulo de matéria orgânica ou que seja uma área recentemente

desmatada, apresentando valores isotópicos de C em transição de uma área de VNR para pastagem. Em relação ao teor de C no solo não há uma clara distinção entre as classes de cobertura de solo, mas nota-se que a pastagem se concentra com valores até 3 % de C.

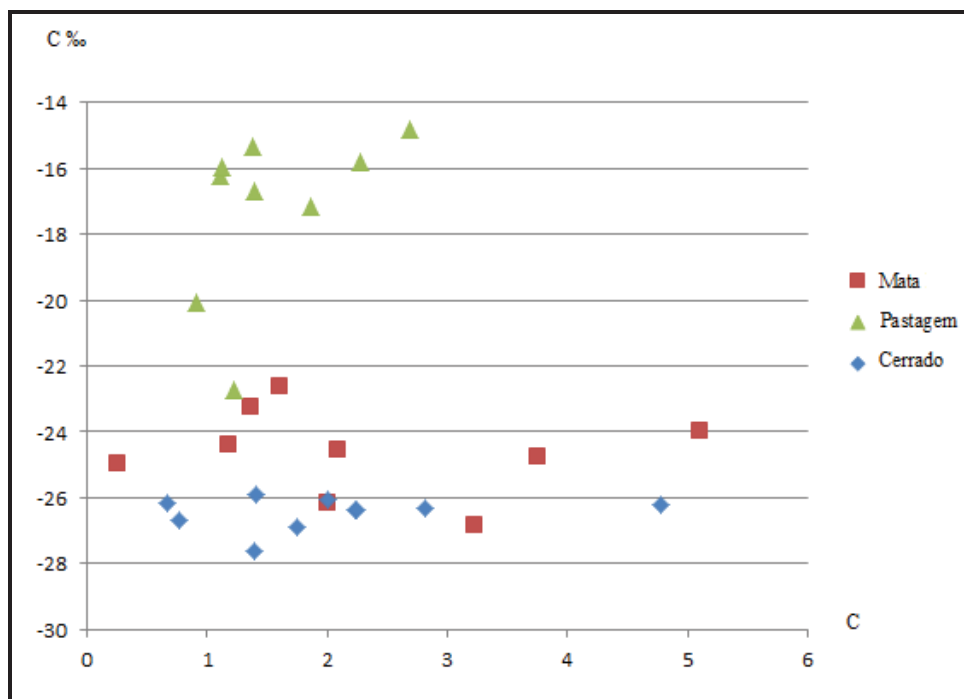


Figura 5.8. Relação entre valores de $\delta^{13}\text{C}$ e teor de C.

Em relação às assinaturas isotópicas do N, observa-se que os dados da pastagem se concentram numa determinada região do gráfico da Figura 5.9. Por sua vez, os valores de Cerrado e pastagem estão bem distintos entre si e a Mata se mistura entre os dois. O teor de N não apresenta distinção visual entre as três classes de cobertura do solo.

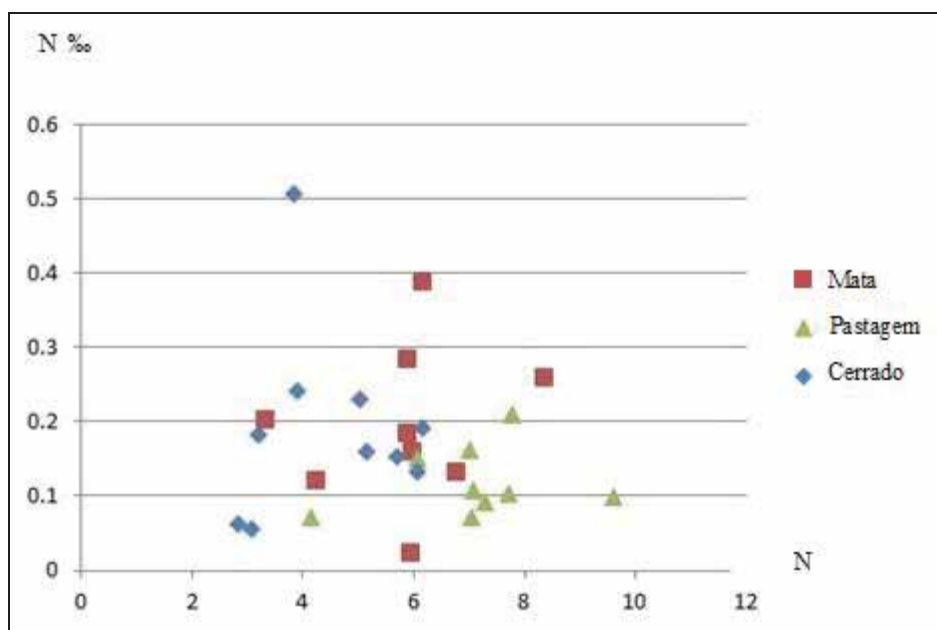


Figura 5.9. Relação entre isótopo e teor de N.

5.6 Estoque de C.

Os resultados referentes ao estoque de C para a uma camada 0-20 cm de profundidade indicaram que a Mata acumulou mais C que as demais classes. A pastagem obteve o menor acúmulo de C (Tabela 5.7).

Tabela 5.7. Valores médios dos estoques de C.

Classe de cobertura.	Estoque de C (em Mg de C ha ⁻¹)
Cerrado	42,0
Mata	53,8
Pastagem	38,4

Comparativamente, Salimon et al., (2007) 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 do solo e teores de C em distintas profundidades.

O estoque de C tem o mesmo comportamento da MOS, ou seja, diminui exponencialmente com a profundidade. Em geral, 39-70% do C total 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.

Porém, os autores mencionaram que 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 (BERNOUX, 1998; DEMATTÊ, 2000). Os resultados levam a crer que está sim ocorrendo mudanças ecológicas nos solos devido a mudança na sua cobertura.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Este trabalho constitui um estudo pioneiro sobre os solos da região do município de Iperó. De modo geral, os indicadores de qualidade física e química utilizados se apresentaram condizentes com a realidade, embora com diferenças discretas entre as classes de cobertura da terra, não apresentando diferenças significativas.

Em relação às análises isotópicas, o $\delta^{13}\text{C}$ apresentou diferença significativa do ponto de vista estatístico, confirmando que o material orgânico gerado por plantas C_3 e C_4 apresentam sinais isotópicos de C distintos e isto se reflete na MOS, ou seja, ocorre uma diferenciação entre plantas C_3 (VNR) e C_4 (pastagem), porém não ocorre distinção significativa entre os biomas de Mata e Cerrado.

Já o $\delta^{15}\text{N}$ apresentou diferença significativa, a pastagem por ser um local onde o uso de fertilizantes é maior mostra-se com resultados maiores de N, sendo uma área mais degradada e com pouco fluxo de matéria orgânica. A Mata e o Cerrado apresentam maior ciclagem da matéria e maior fixação biológica do N, por isso apresentam resultados menores. Nota-se a relação de que quanto maior a quantidade de C maior é a de N.

O estoque de C indicou que a mata acumulou mais C que as demais classes representando um maior balanço dinâmico entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição.

Mais da metade da área de estudo ainda é coberta por algum tipo de vegetação natural, pioneira ou não. A pastagem é a cobertura antrópica predominante. Provavelmente devido ao fato de haver cerca de 60% da área ainda sob vegetação natural (Mata ou Cerrado), os resultados obtidos no presente trabalho, analisados com suporte estatístico, permitiram concluir que, na média, o solo que vem passando por um

processo de conversão de cobertura encontra-se evoluindo para um estágio de degradação.

A afirmação acima baseia-se nos fatos visuais observados ao longo da área de estudo, onde pode-se verificar que a maioria das pastagens encontra-se, ao menos aparentemente, degradada. Porém, o atual estágio parece ainda não ser comprometedor, talvez devido à baixa densidade de cabeças de gado ali existente. Isto é atestado pelos dados levantados e aqui apresentados. Ou seja, ao que parece, o solo ainda está conseguindo prover os serviços ecossistêmicos essenciais, tais como estoque de C, de N e de água, bem como de alguns nutrientes.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ALBUQUERQUE, G. B.; RODRIGUES, R. R. A vegetação do Morro de Araçoiaba, Floresta Nacional de Ipanema, Iperó (SP). **Scientia Florestalis**, v. 38, p. 145 – 159, 2000.
- ALMEIDA, C.X.; CENTURION, J.F.; FREDDI, O.S.; JORGE, R.F.; BARBOSA, J.C. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo a penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, 2235-2243, 2008.
- ALVES, B. J. R. et al. Emprego do Isótopo Estável C para o Estudo da Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo. p 163-198. In: Roscoe, R. (org.). Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2006.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. 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**, vol. 25, núm. 1, pp. 189-197, 2001.
- ANDREUX, F.; CERRI, C. C. Current trends in the research on soil changes due to deforestation, burning and cultivation in the Brazilian tropics. **Toxicology and Environmental Chemistry**, v. 20, p. 275-283, 1989.
- ARAÚJO, E.A.; LANI, J.L.; AMARAL, E.F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de ARGISSOLO AMARELO distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 307-315, 2004.

- ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 88, pág.153-160, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.
- AYRES, M.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. A. **Bioestat 5.0 – Manual do usuário**. Universidade Federal do Pará, p. 364, 2007.
- AWITI, A. O.; WALSH, M. G.; KINYAMARIO, J. Dynamics of topsoil carbon and nitrogen along a tropical forest–cropland chronosequence: Evidence from stable isotope analysis and spectroscopy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 127, p. 265–272, 2008.
- AZEVEDO, A.C. **Solos e ambiente**: Uma introdução. Santa Maria: ed. Pallotti, 2006.
- BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v. 47, n. 2, p. 151-163, 1996.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. 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, 1997.
- BELLANGER, B.; HUON, S.; VELASQUEZ, F.; VALLES, V.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. Monitoring soil organic carbon erosion with $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ on experimental field plots in the Venezuelan Andes. **Catena**, n. 2, v. 58, p. 125–150, 2004.
- BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; NEILL, C.; MORAES, J. F. L. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. **Geoderma**, n. 82, p. 43-58, 1998.

- BERNOUX, M., FEIGL, B. J., CERRI, C. C. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronosequência de floresta tropical - pastagem de Paragominas. **Science Agricultural**. n. 56, p. 777-783, 1999.
- BERVEGLIERI, A.; Junior, M. M.; Piteri, M. A. Aplicação do interpolador krigagem em modelos digitais de terrenos, comparando-se os casos de isotropia e anisotropia. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. Curitiba, 2011.
- BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; COGO, N. P. Conservação do solo em pastagens. In **XXIII Simpósio sobre Manejo da Pastagem**, FEALQ, p. 139- 163, 2006.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5ª ed. São Paulo: Ícone, 2005.
- BIEDENBENDER, S. H.; McCLARAN, M. P; QUADE, J.; WELTZ, M. A.. Landscape patterns of vegetation change indicated by soil carbon isotope composition. **Geoderma**, n. 119, p. 69–83, 2004.
- BIGGS, T. H.; QUADE J.; WEBB, R.H. $\delta^{13}\text{C}$ values of soil organic matter in semi arid grassland with mesquite (Prosopis) encroachment in southeastern Arizona. **Geoderma**, n. 110, p. 109–130, 2002.
- BOTELHO, M.R.; DALMOLIN, R.S.D.; PEDRON, F.A.; AZEVEDO, A.C.; RODRIGUES, R.B.; MIGUEL, P. Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria. **Ciência Rural**, v. 36, n. p. 1179-1185, 2006.
- BOUTTON, T. W.; YAMASAKI, S. (eds). **Mass spectrometry of soils**. Library of Congress cataloging-in-publication data. New York – NY - USA, 517 p., 1996.
- CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na

- superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.4, 2002.
- CÂMARA, G. **Processamento digital de imagens**. Apostila digital obtida junto a página do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos – SP, p.35, 2003.
- CAMPBELL, C. A. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. In: SCHINITZER, M.; KHAN, S. U. (Ed.). **Soil Organic Matter**. New York: Elsevier Sc. Pub., p 173-271, 1978.
- CAMPOS, R. C.; DEMATTÊ, J. A. M. Cor do solo: uma abordagem da forma convencional de obtenção em oposição à automatização do método para fins de classificação de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 28, p. 853-863, 2004.
- CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em latossolo amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 1-4, 1985.
- CERRI, C. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema de cana-de-açúcar**. Tese, (livre-docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.
- COSCIONE, A.R.; ANDRADE, J.C.; RAIJ, B. van & ABREU, M.F. An improved analytical protocol for the routine spectrophotometric determination of exchangeable aluminum in soil extracts. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, n. 31, p. 2027-2037, 2000.
- CHONE, T.; ANDREUX, F.; CORREA, J. C.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Changes in organic matter in an oxisol from central Amazonian forest during eight years under pasture determined by ¹³C composition. In: BERTHELIN, J. (Ed.). **Diversity of environmental biogeochemistry**. New York: Elsevier, p. 397-405, 1991.

- DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; PEDRON, F. A. **Solos & Ambiente**, II Fórum. Santa Maria: Orium, 2006.
- DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v.35, n.2, p.481-489, 2005.
- DAWSON, T. E.; BROOKS, P. D. 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, 2001.
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.
- DEMATTÊ, J.L.I. Solos. In: SALATI, E.; ABSY, M.L.; VICTORIA, R.L. (Ed.). Amazônia: um ecossistema em transformação. **INPA**, cap. 6, p. 119-162, 2000.
- DETWILLER, R. P. Land use changes and the global carbon cycle: the role of tropical soils. **Biogeochemistry**, v. 2, p. 67-93, 1986.
- DUCATTI, C.; MATSUI, E.; SALATTI, E. Fundamentos teóricos dos fatores de correção para a análise das variações relativas das razões $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ por espectrometria de massa. **Energ. Nucl. Agric**, v. 4, n.1, p. 41-58, 1982.
- DUMIG, A.; SCHAD, P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M.; KOGEL-KNABNER, I. *Araucaria* forest expansion on grassland in the southern Brazilian highlands as revealed by ^{14}C and $\delta^{13}\text{C}$ studies. **Geoderma**, n. 145, p. 143 – 157, 2008.
- EASTMAN, R. **Idrisi Kilimanjaro** - users manual. Clark University, Worcester, MA, USA. 2003.

- EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, Rio de Janeiro, p. 212, 1997.
- EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). Centro Nacional de pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, Rio de Janeiro, p. 412, 1999.
- FARQUHAR, G.D.; EHLERINGER, J. R.; HUBICK, K. T. Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, n. 40, p. 503-537, 1989.
- FERNANDEZ, F. A.; CERRI, C. C., FERNANDES, A. H. B. M. ¹³C e a Dinâmica do Carbono Orgânico do Solo em Pastagem Cultivada no Pantanal Sul-mato-grossense. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, n. 74, 2007.
- FERNANDEZ, R.N.; SCHULZE, D.G. Munsell colors of soils simulated by mixtures of goethite and hematite with kaolinite. **Pflanzenernähr Bodenk**, n. 155, p. 473-478, 1992.
- FISHER, M. J.; RAO, I. M.; AYARZA, M. A.; LASCANO, C. E.; SANZ, J. I.; THOMAS, R. J.; VERA, R. R. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. **Nature** London, v. 371, n. 6494, p. 236-238, 1994.
- FREIRE, O. Solos das regiões tropicais. Botucatu: **FEPAF** (Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais), 2006.
- GALETTI, P. A. Guia Técnico Agropecuário: Solos. **Instituto Campineiro de Ensino Agrícola**, p. 142, 1989.
- GLEIXNER, G. Stable Isotope Composition of Soil Organic Matter. p. 29-46. In: FLANAGAN, L. B. et al. (org.). Stable Isotopes and Biosphere Atmosphere Interactions. **Hardbound: Academic Press**, 2004.

- GOLDEN SOFTWARE INC. **SURFER, version 8.0**. Contouring, Gridding, and Surface Mapping Package for Scientists and Engineers, Colorado – USA, 2002.
- GROHMANN, F. **Porosidade**. In: Elementos de Pedologia, Editora da Universidade de São Paulo, p. 77-84, 1972.
- HOBBIE, E. A.; OUIMETTE, A. P. Controls of nitrogen isotope patterns in soil profiles. **Biogeochemistry**, 95, p. 355 – 371, 2009.
- IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro, 2007.
- JACOB, A. A. E. A krigagem como método de análise de dados demográficos. **XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais**, 2002.
- KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, v. 114, p. 145– 156, 2003.
- KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia, Relações Solo – Planta**. São Paulo: Agronômica, cap. 15, 1979.
- KRAJEWSKI, S.A.; GIBBS, B.L. Understanding contouring, a practical guide to spatial estimation and contouring using a computer and basics of using variograms: **Gibbs Associates**, 1996.
- LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. **Soil and Tillage Research**, 43, 81-107, 1997.
- LEMMA, B.; OLSSON, M. Soil $\delta^{15}\text{N}$ and nutrients under exotic tree plantations in the southwestern Ethiopian highlands. **Forest Ecology and Management**, n. 1-2, v. 237, p. 127–134, 2006.
- LUGO, A. E.; BROWN, S. Management of tropical soils as sink or sources of atmosphere carbon. **Plant and Soil**, v. 149, p. 27-41, 1993.

MACHADO, P. O. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global.

Química Nova, v. 28, p. 239-334, 2005.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDES, J. C. **Adubos e Adubações**. Nobel, p.200, 2002.

MANN, L. K. Changes in soil carbon storage after cultivation. **Soil Science**, v. 142, p. 279-288, 1986.

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

MORAES, J. F. L. Conteúdos de Carbono e Tipologia de Horizontes nos Solos da Bacia Amazônica. (Tese) - **Centro de Energia Nuclear de Agricultura, Universidade de São Paulo**, São Paulo, 1991.

MORAIS, J. F. L. **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, 1995.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. **Lavras: UFLA**, p. 626, 2002.

OELBERMANN, M.; VORONEY, R. P. Carbon and nitrogen in a temperate agroforestry system: Using stable isotopes as a tool to understand soil dynamics. **Ecological Engineering**, n. 29, p. 342–349, 2007.

OLIVEIRA, J. B. De; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B., **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Legenda Expandida. Campinas: Instituto Agrônômico; Rio de Janeiro: EMBRAPA – Solos, 64 p, 1999.

- OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M.; CRUZ, C.D. Importância relativa dos metais pesados do solo na identificação e separação de materiais de origem. **Revista Ceres**, v. 260, n. 45, p. 359-371, 1998.
- OMETTO, J. P. H. B. et al. The stable carbon and nitrogen isotopic composition of vegetation in tropical forests of the Amazon Basin, Brazil. **Biogeochemistry**, n.79, p. 251–274, 2006.
- PALMIERI, F.; LARACH; J. O. I. Pedologia e Geomorfologia. In: Geomorfologia e Meio Ambiente, **Editora Bertrand Brasil**, p. 59-122, Rio de Janeiro, 2004.
- PAULA, T. A.; VALLE, C. M. Quantificação do estoque de carbono no solo e amitigação da mudança climática. **II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica**, 2007.
- PEREIRA, A.L.; BENEDITO, E. Isótopos estáveis em estudos ambientais: métodos, aplicações e perspectivas. **Revista de Biociências**, Taubaté, v.13, n.1-2, p.16-27, 2007.
- PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; VALENCIA, E. P. E. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal land soil carbon isotopes. **Quaternary International**, n. 114, p. 35–43, 2004.
- PETERSON, B. J.; FRY, B. Stable isotopes in ecosystem studies. **Annual Review of Ecology and Systematics**, n. 18, p. 293 – 320, 1987.
- PILLON, Cl. N.; POTES, M.; MORAES, C.; DA CRUZ, L. E. Avaliação da dinâmica da matéria orgânica do solo cuidados na interpretação. **Pelotas R.S.: EMBRAPA Clima temperado**, p. 19, 2004.
- PONCE-HERNANDEZ, R. Assessing carbon stocks and modeling win–win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. **FAO**, Roma – Italy, 2004.

- POST, W. M.; EMANUEL, W. R.; ZINKE, P. J.; STANGENBERGER, A. G. Soil carbon pool and world life zones. **Nature**, v. 298, p. 156-159, 1982.
- RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; AQUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. **Instituto Agronômico de Campinas**, 284 p, 2001.
- RAMOS, L. A .; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.5, 2006.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, T. G.; GUILHERME, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com café em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 429 – 437, 2008.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B., CORRÊA, G. F. Pedologia: Bases para Distinção de Ambientes. **Núcleo de Estudos de Planejamento e Uso da Terra-NEPUT**, p. 338, 2002.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CÔRREA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. n. 5, 2007.
- ROSA, R. **Levantamento do meio físico do município de Araguari - MG**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, São José dos Campos. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 1993.p.239-47,1993.
- SABINS, F.F. **Remote sensing: principles and interpretations**. 3rd Ed. New York: W.H. Freeman and Company, p. 494, 2000.
- SALOME, C.; NUNAN, N.; POUTEAU, V.; LERCH, T. Z.; CHENU, C. Carbon dynamics in topsoil and in subsoil may be controlled by different regulatory mechanisms. **Global Change Biology**, 16, p. 416–426, 2010.

- SANCHEZ, P. A. Properties and Management of Soils in the Tropics. **New York, NY: John Wiley e Sons**, 1976.
- SANCHEZ, P. A.; PALM, W. J.; SZOTT, L. T.; CUEVAS, E.; LAL, R. Organic input management in tropical agroecosystem. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (ed.). Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems. **Honolulu: University of Hawaii Press**, p. 135-162, 1989.
- SCHIMMEL, D. S. Terrestrial Ecosystems and the Carbon-Cycle. **Global Change Biology**, v. 1, n. 1, p. 77-91, 1995.
- SCHLESINGER, W. H. Changes in soil carbon storage and associated with disturbance and recovery. In: TRABALKA, J. R.; REICHLER, D. E. (Ed.). **Changing carbon cycle**, p. 194-220, 1986.
- SALIMON, C. I.; WADT, P. G. S.; MELO, A. W. F. Dinâmica do Carbono na Conversão de Floresta para Pastagens em Argissolos da Formação Geológica Solimões, no Sudoeste da Amazônia. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 7, n. 1, 2007.
- SHINKAWA, A. **Indicadores de qualidade física, química e hidráulica de solos em áreas com distintas formas de cobertura da terra em Iperó - SP**. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Ambiental. UNESP, Campus de Sorocaba, 2012.
- SILVA, A. M. Análise da cobertura do solo da área de entorno de três unidades de conservação localizadas no estado de São Paulo. **Holos Environment**, Rio Claro, vol. 4, n. 2, p. 130 – 144, 2004.
- SILVA, A. M. Cobertura do solo do município de Sorocaba-SP e implicações na fragmentação dos remanescentes florestais. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 7, p. 38-46, 2005.

- SILVA, A. M.; NOGUEIRA, D. P.; IKEMATSU, P.; SILVEIRA, F. M.; BOMBACK, M.; ALVES, S. H.; PAULA, F. P.; CAMARGO, P. B. Carbon stocks and isotopic composition of the organic matter in soils covered by native vegetation and pasture in Sorocaba, SP, Brazil. **Intern J of Environmental Research**, v. 3, p. 435-440, 2004.
- SILVA, A. M.; NALON, M. A.; KRONKA, F. J. N.; ALVARES, C. A.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Historical land-cover/use in different slope and riparian buffer zones in watersheds of the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 4, 2007.
- SLEIMAN, M.; VENTURINI, W. G.; DUCATTI, C.; NOJINOTO, T. Utilização de isótopos estáveis do carbono e do nitrogênio para determinar o percentual de malte em cervejas tipo Pilsen. **Braz. J. Food Technol.**, 11, p. 95-102, 2006.
- SLEIMANN, M. **Determinação do percentual de malte de cevada em cervejas tipo pilsen utilizando os isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$). Botucatu.** Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agronômicas – Universidade Estadual Paulista, 2006.
- SOMBROEK, W. G.; NACHTERGAELE, F. O.; HEBEL, A. Amounts, Dynamics and Sequestering of Carbon in Tropical and Subtropical Soils. **Ambio**, v. 22, n. 7, p. 417-426, 1993.
- STEVENSON, F. J. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. **New York: J. Wiley**, p. 380, 1986.
- SYLVIA, M. Principles and applications of soil microbiology. **Prentice Hall**, Upper Saddle River, New Jersey, USA, p. 550, 1999.

- TEIXEIRA, L. B.; BASTOS, J. B. Matéria orgânica nos ecossistemas de floresta primária e pastagens na Amazônia Central. Belém, PA: **Embrapa/CPATU**, p. 26 (Boletim de Pesquisa, 99), 1989.
- TEIXEIRA, C.; SANTOS-PINTO, M.; SANTANA, C. **Mapeamento da Cor superficial dos solos do campus da UEFS, Feira de Santana, Bahia**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31., Gramado, Agosto de 2007. Anais 2007. **Anais...** Viçosa: SBCS, 2007.
- UNKOVICH, M.; PATE, J.; McNEILL, A.; GIBBS, D.J. Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems. **Dordrecht: Kluwer Academic Publisher**, p. 289, 2001.
- VAGEN, T. G.; WALSH, M. G.; SHEPHERD, K. D. Stable isotopes for characterization of trends in soil carbon following deforestation and land use change in the highlands of Madagascar. **Geoderma** n, 135, p. 133–139, 2006.
- VRSCAJ, B.; POGGIOM, L.; MARSAN, F. A. A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas. **Landscape and Urban Planning**, 88, p. 81-94, 2008.
- VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in tropical soils under pastures after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 158, p. 180-186, 1994.
- VIEIRA, L. S. **Manual da Ciência do Solo: com ênfase aos solos tropicais**. Editora Agronômica Ceres, p. 464, 1988.
- VILELA, L.; SOUZA, D. M. G.; SILVA, J. E. Adubação Potássica. In: **Cerrado: correção do solo e adubação**, Embrapa Informação e Tecnológica, p. 169-182, 2004.

- WANG, L.; OKIN, G. S.; CAYLOR, K. K.; MACKO, S. A. Spatial heterogeneity and sources of soil carbon in southern African savannas. **Geoderma**, 149, p. 402-408, 2009.
- WATSKA, M.; BUCHGRABBER, K.; WANEK, W. Natural ^{15}N abundance of plants and soils under different management practices in a montane grassland. **Soil Biology & Biochemistry** n. 7, v.38, p. 1564–1576, 2006.
- YARON, B.; CALVET, R.; PROST, R. **Soil Pollution: Processes and Dynamics**. Springer, p. 313, 1996.
- ZAGATTO, E. 2000. **Isótopos de Carbono em Estudos Ambientais**. Apostila-texto de disciplina. Acesso: 27 de junho 2012, <http://web.cena.usp.br/apostilas/Zagatto/FAN2-CarbonoAmbiente.doc>

APÊNDICE A:

Distribuição dos pontos de coleta de acordo com a classe de cobertura da terra.

Amostras	Coordenadas UTM		Classe de cobertura da terra
1	239294	7406987	Mata
2	239255	7406516	Pastagem
3	235971	7405672	Cerrado
5	237316	7406062	Pastagem
6	235977	7412103	Mata
7	236187	7413019	Pastagem
8	235048	7410067	Cerrado
9	231703	7411923	Cerrado
10	232607	7413624	Pastagem
11	230173	7410462	Pastagem
12	230299	7411737	Cerrado
13	238264	7411849	Cerrado
14	225095	7413948	Pastagem

APÊNDICE A – Continuação.

Amostras	Coordenadas UTM		Classe de cobertura da terra
15	233440	7414282	Cerrado
16	222850	7416404	Cerrado
17	235343	7416931	Mata
18	222441	7414474	Pastagem
19	222014	7414742	Pastagem
20	222344	7414866	Pastagem
21	225527	7411468	Cerrado
22	225981	7412368	Pastagem
23	225648	7412258	Mata
24	229070	7411758	Mata
25	231333	7411727	Cerrado
27	239613	7406877	Mata
28	236730	7405670	Cerrado
29	235800	7406085	Mata
30	235681	7406597	Mata
31	234834	7407231	Mata