

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

SILMAR PRIMIERI

**O IMPACTO DA MUDANÇA NO USO DO SOLO SOBRE O SEQÜESTRO DE
CARBONO E SEUS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS**

FLORIANÓPOLIS – SC
2008

SILMAR PRIMIERI

O IMPACTO DA MUDANÇA NO USO DO SOLO SOBRE O SEQÜESTRO DE
CARBONO E SEUS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Henrique de Melo Lisboa
Co-orientador: Prof. Aleksander Westphal Muniz

FLORIANÓPOLIS – SC
2008

TERMO DE APROVAÇÃO

SILMAR PRIMIERI

O IMPACTO DA MUDANÇA NO USO DO SOLO SOBRE O SEQÜESTRO DE CARBONO E SEUS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC como requisito para obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

Aprovada por

Prof. Dr. Henrique de Melo Lisboa
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC
Orientador

Prof. Dr. Masato Kobiyama
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC

Prof. Dr. Paulo Belli
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC

Prof. Dr. Alvaro Luiz Mafra
Departamento de Solos e Recursos Naturais – UDESC – CAV
Membro externo

Prof. Msc. Aleksander Westphal Muniz
Departamento de Solos – EPAGRI
Co-orientador

Florianópolis, março de 2008

AGRADECIMENTOS

- Ao orientador dessa pesquisa, Professor Henrique de Melo Lisboa, pela oportunidade, incentivo, amizade e colaboração.
- À Aleksander Westphal Muniz, pela co-orientação, amizade, incentivo e valioso auxílio para o desenvolvimento do projeto.
- Ao Professor Álvaro Mafra pelas sugestões e ajuda na execução do trabalho;
- À Alisson, Cássia, Giovani e Rech pela contribuição nas análises laboratoriais, coleta e preparo das amostras.
- Aos demais professores do programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental, pelas contribuições;
- À minha esposa, Agnes C. Prachthausen, pelo apoio e compreensão.
- À EPAGRI, pelo apoio durante a execução do trabalho.
- À FAPESC pelo financiamento da pesquisa.

RESUMO

A alteração no uso da terra pode modificar os estoques de carbono no solo e aumentar as emissões de CO₂ para a atmosfera, contribuindo para agravar o aquecimento do planeta. O objetivo desse trabalho foi avaliar a dinâmica do carbono no solo dos diferentes tipos de cobertura vegetal do Planalto Serrano de Santa Catarina. O trabalho foi conduzido em Campo Belo do Sul-SC, em um Nitossolo Háptico e Cambissolo Húmico, com inclusões de Neossolos Litólicos, entre os meses de fevereiro e maio de 2007. As áreas avaliadas foram: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista Clímax (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração (FOMr); Reflorestamento de *Araucaria angustifolia* com 12 anos de idade (RA); Reflorestamento de *Eucalyptus dunnii* com 12 anos de idade (RE) e Reflorestamento de *Pinus taeda* (RP) com 12 anos de idade. As amostras foram alocadas em áreas geograficamente próximas, com no máximo 5 km de distância, minimizando interferências de características pedológicas, climáticas e topográficas. Para quantificar os estoques de carbono no solo foram analisados a densidade e o teor de carbono no solo de 0-20cm de profundidade. Os atributos bioquímicos do solo analisados foram o carbono na biomassa microbiana (CBM); a respiração basal do solo (RBS) e seus índices calculados: quociente microbiano (q_{Mic}) e o quociente metabólico (q_{CO_2}). Os maiores estoques de carbono (Ct) foram encontrados na Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração (FOMr) com 79,6 Mg ha⁻¹. Os valores do Ct no Campo nativo (CN), foram de 70,7 Mg ha⁻¹ e na Floresta Ombrófila Mista Clímax (FOMc) de 75,7 Mg ha⁻¹, esses valores foram superiores aos encontrados no reflorestamento de *Araucaria*, com 62,7 Mg ha⁻¹, ao reflorestamento de *Eucalyptus*, com 68,1 Mg ha⁻¹ e no reflorestamento de *Pinus*, com 63,3 ha⁻¹. Os atributos bioquímicos mostram a atividade metabólica do solo (CBM, RBS, q_{Mic} e q_{CO_2}) indicam que o Campo Nativo (CN) e a Floresta Ombrófila Mista em estágio Clímax

(FOMc) possuem a melhor capacidade de armazenar carbono no solo, entre todos os sistemas de uso da terra analisados. Os resultados apresentados no reflorestamento de *Araucaria* indicam boa capacidade de utilização do carbono advindo da decomposição da matéria orgânica. Os valores encontrados na Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração (FOMr) demonstraram um ambiente em transição, com baixas concentrações de carbono na biomassa microbiana ($325,8 \text{ mg kg}^{-1}$) e altos índices de respiração basal do solo ($69,7 \text{ mg CO}_2 \text{ kg solo}$), o que indica um ambiente em desequilíbrio emitindo muito CO_2 para a atmosfera e armazenando pequena quantidade no solo. Nos reflorestamentos de *Eucalyptus* (RE) e *Pinus* (RP), os altos índices de RBS, ($51,8$ e $46,6 \text{ mg CO}_2 \text{ kg solo}$, respectivamente) e $q\text{CO}_2$ ($0,23$ e $0,24 \text{ } \mu\text{g CO}_2 / \mu\text{g C g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, respectivamente) e as baixas concentrações de CBM ($263,78$ e $293,31 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectivamente) sugerem que esses sistemas de uso da terra emitem maior quantidade de CO_2 para a atmosfera, pela respiração microbiana. As mudanças na precipitação e na temperatura atmosférica ao longo dos meses analisados causaram variações diferentes para cada sistema de uso da terra analisado. De modo geral, os maiores resultados no estoque de carbono (Ct), no carbono da biomassa microbiana (CBM), na respiração basal do solo (RBS) e no quociente microbiano ($q\text{Mic}$) foram encontrados nos meses de abril e maio, que caracterizam o início da diminuição da temperatura.

Palavras-chave: Estoque de carbono no solo. Carbono da Biomassa microbiana. Mudança no uso da terra. Respiração do solo

ABSTRACT

The land-use change can modify the carbon stocks in soil and increase the CO₂ efflux to atmosphere, contributing to make worse the heating of the planet. The objective of this work was to evaluate the carbon dynamic in the soil in the different types of plant cover in Planalto Serrano of Santa Catarina. The work was conducted in Campo Belo do Sul – SC, Brazil, in a Haplic Nitosol and Humic Cambisol, with inclusions of Litholic Neosols, between the months of February and May 2007. The evaluated areas were: the Native Grassland (CN); the Native Forest Climax (FOMc); the Native Forest in advanced stage of regeneration (FOMr); the Reforestation of *Araucaria angustifolia* with 12 years old (RA); the Reforestation of *Eucalyptus dunnii* with 12 years old (RE) and the Reforestation of *Pinus taeda* with 12 years old. The samples had been placed in geographically next areas, less than 5 Km apart, minimizing interferences of pedologics, climatic and topographical characteristics. To quantify the carbon stocks in soil were analyzed the bulk density and the content carbon in the lager of 0-20cm of depth. The biochemical soil attributes analyzed were carbon in microbial biomass (CBM); the basal respiration of soil (RBS) and its calculated indices: microbial quotient (*qMic*) and metabolic quotient (*qCO₂*). The higher carbon stocks (Ct) had been found in the Native Forest in advanced stage of regeneration (FOMr) with 79,56 Mg ha⁻¹. The Ct values in the Native Grassland (CN), had been of 70,71 Mg ha⁻¹ and 75,71 Mg ha⁻¹ in the Native Forest Climax (FOMc), these values were higher than those ones found in the reforestation of Araucaria, with 62,68 Mg ha⁻¹, reforestation of Eucalyptus, with 68,13 Mg ha⁻¹ and reforestation of Pinus, with 63,27 ha⁻¹. The biochemical attributes show the metabolic activity of soil (CBM, RBS, *qMic* and *qCO₂*) indicate that the Native Grassland (CN) and the Native Forest Climax (FOMc) have the best capacity to stock carbon in soil, between all the land use systems analyzed. The results presented in the reforestation of

Araucaria indicate a good capacity of using carbon from the of organic matter decomposition. The values found in the Native Forest in advanced stage of regeneration (FOMr) demonstrate a transition environment, with low carbon levels in microbial biomass (325,81 mg kg⁻¹) and high levels of basal respiration in soil (69,73 mg CO₂ Kg solo), that indicates an instable environment that emitting high rates of CO₂ to the atmosphere and storing small amount in soil. In the reforestations of Eucalyptus (RE) and Pinus (RP), the high levels of RBS, (51,8 e 46,6 mg CO₂ kg soil, respectively) and qCO₂ (0,23 e 0,24 μg CO₂/ μg C g⁻¹ solo h⁻¹, respectively) and the low concentrations of CBM (263,78 e 293,31 mg kg⁻¹, respectively) suggest that these systems of land use emit higher amount of CO₂ to the atmosphere, through the microbial respiration. The changes in precipitation and the atmospheric temperature during the months analyzed had caused different variations to each system of land use. In general way, the higher results in carbon stocks (Ct), carbon in microbial biomass (CBM), basal respiration of soil (RBS) and microbial quotient (*qMic*) had been found in the months of April and May, which characterize the beginning of the reduction of the temperature.

Keywords: Carbon stocks in soil. Microbial biomass. Land use change. Soil respiration

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Tendências nas principais concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxidos de nitrogênio nos últimos 10 mil anos (símbolos com diferentes cores para diferentes estudos).....	23
Figura 2 –	Ciclo do Carbono. Estoques (Gt C) e fluxos (Gt/ano).....	24
Figura 3 –	Ciclo do Carbono com Bioenergia.....	26
Figura 4 –	Fatores que afetam a capacidade de fixação de carbono do solo.....	28
Figura 5 –	Principais processos pedológicos que afetam o conteúdo de CO do solo..	30
Figura 6 –	Representação esquemática do processo de ordenação do solo, destacando os principais sub-processos e fluxos de energia e matéria.....	33
Figura 7 –	Funções do solo, atributos a elas relacionados e indicadores de qualidade do solo para produção vegetal.....	37
Figura 8 –	Decomposição de resíduos vegetais e ciclagem dos constituintes da matéria orgânica.....	39
Figura 9 –	Mapa de acesso à empresa Florestal Gateados.....	46
Figura 10 –	Localização (em verde) da área da empresa Florestal Gateados em Santa Catarina e dos pontos de amostragem do solo (X1, X2...), em seis tipos de cobertura vegetal: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração (FOMr); Reflorestamentos de <i>Pinus taeda</i> (RP); Reflorestamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> (RE) e Reflorestamento de <i>Araucária angustifolia</i> (RA).....	47
Figura 11 –	Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax.....	48
Figura 12 –	Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração.....	49
Figura 13 –	Campo Nativo.....	50
Figura 14 –	Reflorestamentos de <i>Pinus taeda</i> com 12 anos de idade.....	50
Figura 15 –	Reflorestamentos de <i>Eucalyptus dunnii</i> com 12 anos de idade.....	51
Figura 16 –	Reflorestamento de <i>Araucaria angustifolia</i> com 12 anos de idade.....	51

Figura 17 – Médias mensais de temperatura e total mensal de precipitação registrados entre os meses de fevereiro e maio de 2006 e 2007.....	53
Figura 18 – Relevo de Santa Catarina.....	54
Figura 19 – Detalhe da coleta de solo em reflorestamento de Eucalipto (RE), de 0-20cm de profundidade.....	55
Figura 20 – Esquema demonstrativo da implantação de uma parcela 20m X 20m no Campo Nativo (X1) e na Floresta Ombrófila Mista (X2). Os pontos pretos e brancos dentro das parcelas significam os pontos de amostragem do solo (repetições).....	56
Figura 21 - Coletor de anéis volumétricos usado na determinação da densidade do solo..	58
Figura 22 – Esquema simplificado do procedimento analítico para determinação do carbono da biomassa microbiana pelo método da fumigação-extracção.....	62
Figura 23 – Estoque de carbono na camada de 0-20cm de profundidade (Ct) em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração(FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP). Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%	72
Figura 24 – Estoque de carbono na camada de 0-20cm de profundidade (Ct) entre os meses de fevereiro e maio de 2007 em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração(FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP). Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.....	74
Figura 25 – Interações entre os usos da terra e os meses de coleta sobre o estoque de carbono no solo (Ct): (a) Campo Nativo (CN); (b) Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração (FOMc); (c) Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); (d) Reflorestamento de Araucária (RA); (e) Reflorestamento de Eucalipto (RE) e (f) Reflorestamento de Pinus (RP). Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p>0,05$).....	76
Figura 26 – Carbono na biomassa microbiana (CBM) em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração(FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP). Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%	78

- Figura 27 – Carbono na biomassa microbiana (CBM) entre os meses de fevereiro e maio de 2007 em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP). Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 80
- Figura 28 – Interações entre os usos da terra e os meses de coleta sobre o Carbono na biomassa microbiana (CBM): (a) Campo Nativo (CN); (b) Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração (FOMc); (c) Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); (d) Reflorestamento de Araucária (RA); (e) Reflorestamento de Eucalipto (RE) e (f) Reflorestamento de Pinus (RP). Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 82
- Figura 29 – Quociente Microbiano (%) (a) em seis tipos de cobertura vegetal: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP) e durante (b) os meses de fevereiro, março, abril e maio. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 85
- Figura 30 – Respiração Basal do Solo (RBS) em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração(FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP). Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 87
- Figura 31 – Respiração Basal do solo (RBS) entre os meses de fevereiro e maio de 2007 em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração(FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP). Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 89
- Figura 32 – Respiração Basal do Solo (RBS) e sua variação entre os meses de fevereiro e maio em seis tipos de uso do terra: (a) Campo Nativo (CN); (b) Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração(FOMc); (c) Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); (d) Reflorestamento de Araucária (RA); (e) Reflorestamento de Eucalipto (RE) e (f) Reflorestamento de Pinus (RP). Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 92

- Figura 33 – Quociente Metabólico (%) em seis tipos de cobertura vegetal **(a)**: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP) e durante **(b)** os meses de fevereiro, março, abril e maio. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 94
- Figura 34 – Análise comparativa dos dados de estoque de carbono no solo (Ct); carbono na biomassa microbiana (CBM); quociente microbiano (*qMic*); respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2) em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração(FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP)..... 97

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1 – Composição da atmosfera seca..... 22
- Quadro 2 – Datas das coletas de Solo em 2007..... 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 –	Dados meteorológicos de temperatura máxima, mínima e média (°C) e precipitação (mm) referente aos meses de coleta.....	53
Tabela 02 –	Densidade do solo na profundidade 0-20cm sob Campo Nativo (CN), Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax (FOMc), Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração (FOMr), Reflorestamentos de <i>Pinus taeda</i> (RP), Reflorestamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> (RE) e Reflorestamento de <i>Araucária angustifolia</i> (RA).....	68
Tabela 03 –	Granulometria e composição química do solo.....	69
Tabela 04 –	Coefficientes de correlação de Pearson entre os atributos do solo analisados.....	71

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Justificativa.....	17
1.2 Objetivos.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Ciclo do Carbono e Atmosfera	21
2.2 Ciclo do carbono e seqüestro de carbono.....	24
2.3 Fixação do carbono no Solo.....	27
2.4 Dinâmica da Matéria Orgânica no Solo.....	32
2.5 Indicadores Microbiológicos.....	34
2.5.1 Atividade da Biomassa Microbiana.....	37
2.5.1.1 Biomassa Microbiana e Quociente Microbiano (qMic).....	40
2.5.2 Respiração Basal do Solo.....	41
2.5.2.1 Quociente Metabólico (qCO ₂)	43
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1 Localização e Caracterização da área estudo.....	45
3.1.1 Descrição das áreas amostradas.....	48
3.1.2. Caracterização do Solo.....	52
3.1.3. Clima e Relevo.....	52
3.2 Amostragem do solo.....	54
3.2.1 Preparo das Amostras.....	57
3.3 Determinação das características físico-químicas do solo.....	57
3.3.1 Argila e densidade.....	57
3.3.2 Análises químicas.....	59
3.3.3 Carbono orgânico total do solo (COT)	59

3.4	Quantificação do estoque de carbono.....	60
3.4.1	Cálculo do estoque de carbono.....	60
3.5	Indicadores de qualidade do solo e fluxo de carbono	60
3.5.2	Carbono da Biomassa Microbiana.....	61
3.5.2	Quociente Microbiano (qMic)	63
3.5.3	Respiração Basal do Solo (RBS)	64
3.5.4	Quociente Metabólico (qCO ₂)	65
3.5	Análise Interpretativa dos Dados.....	66
3.7	Análise estatística.....	66
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
4.1	Densidade do solo.....	68
4.2	Granulometria e Composição Química do Solo.....	69
4.3	Estoque de Carbono no Solo (Ct)	71
4.4	Carbono da Biomassa Microbiana (CBM).....	77
4.5	Quociente Microbiano (qMic)	84
4.6	Respiração Basal do Solo (RBS)	86
4.7	Quociente Metabólico do Solo (qCO ₂)	93
4.8	Análise Interpretativa dos Dados.....	96
5.	CONCLUSÕES.....	99
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
	ANEXOS.....	111

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são processos naturais, que acontecem continuamente. No entanto, as alterações medidas desde a revolução industrial vêm alertando sobre uma rápida modificação no sistema climático global.

De acordo com o relatório do IPCC (2007), a velocidade e a magnitude das mudanças climáticas podem afetar seriamente a sucessão de espécies, populações e a adaptação de comunidades. Muitas alterações já foram descritas, como alterações na temperatura do Ártico e derretimento da neve, mudanças generalizadas de precipitações, salinidade dos oceanos, alterações nos padrões nos fenômenos meteorológicos extremos, incluindo secas, fortes precipitações, ondas de calor e da intensidade dos ciclones tropicais.

A ratificação do Protocolo de Kyoto por mais de 140 países, incluindo o Brasil, demonstra a preocupação mundial em torno desse problema. O objetivo do protocolo é a estabilização e diminuição das emissões dos gases que causam o efeito estufa, GEE (CO₂, CH₄, NO_x), para isso, esse acordo estabeleceu metas de redução dos GEE para os países industrializados até 2012.

Para possibilitar a implementação desse propósito pelos países industrializados, o protocolo de Kyoto estabeleceu a criação de mecanismos comerciais, chamados de “mecanismos de flexibilização”:

- Comércio de Emissões e Implementação Conjunta (Emissions Trading e Joint Implementation) – correspondem a negociações entre os países industrializados¹, instrumentos pelos quais um país industrializado pode contabilizar reduções nas emissões de CO₂, realizado em outro país, também industrializado.

¹ No acordo de Kyoto, em 1997, os países considerados industrializados estão listados no Anexo I do protocolo.

- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL (Clean Development Mechanism - CDM) - permite que países do Anexo I financiem projetos de redução ou comprem os certificados de redução de emissões resultantes de iniciativas desenvolvidas nos países não industrializados (aqueles que não estão no Anexo I, os quais, nesse primeiro período de cumprimento do Protocolo de Kyoto, 2008 a 2012, não têm metas definidas de redução de emissões) (LOPES, 2001)

Para o Brasil, o que interessa é o MDL, que permite o desenvolvimento de projetos em países fora no Anexo I. Para que o projeto tenha validade, ele deve garantir as reduções, através do uso de métodos aprovados por organismos nacionais e internacionais, garantindo benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo para a mitigação da mudança no clima.

Esta dissertação faz parte do programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que prioriza o desenvolvimento de tecnologias para diminuição dos impactos ambientais causados pela atividade antrópica. O conhecimento sobre a dinâmica do carbono no solo é estratégico para o desenvolvimento de metodologias de manutenção e seqüestro de carbono em projetos destinados ao MDL.

1.1 Justificativa

O principal gás responsável pelo efeito estufa é o dióxido de carbono (CO_2), que é encontrado em diferentes reservatórios. O solo contém 1.050 a 3.000 Gt^2 , os combustíveis fósseis contém 10.000 Gt e os sedimentos 20.000.000 de Gt . O oceano contém 35.000 Gt e é o seu principal reservatório. A atmosfera contém apenas 750 Gt de carbono sob a forma de

² Gt - Gigatonelada = 1 bilhão de toneladas

CO₂ e o carbono armazenado na biomassa acima do solo é avaliado em 550 Gt (DAJOZ, 2005, p.313).

As trocas de carbono entre os diferentes reservatórios são difíceis de quantificar. No entanto, o teor de CO₂ na atmosfera, que era de em torno de 280 ppm³ na era pré-industrial, passou, em 2005, para 379 ppm (IPCC, 2007, p.2)

Isso se deve principalmente ao uso de combustíveis fósseis, que adicionam à atmosfera 5,4 Gt de carbono por ano, e ao desmatamento acelerado, que diminui o carbono da biomassa de vegetais, animais e do solo em média 1,9 Gt ao ano (DAJOZ, 2005, p.313).

A vegetação natural localizada na área de abrangência dessa dissertação é a Floresta Ombrófila Mista ou floresta com araucária (IBGE, 1992), que cobria originalmente cerca de 200.000 km² em todo o Brasil, ocorrendo no Paraná (40% da superfície), Santa Catarina (31%) e Rio Grande do Sul (25%) e em manchas esparsas no sul do estado de São Paulo (3%), adentrando até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (1%) (CARVALHO, 1994 apud WATZLAWICK, 2002)⁴.

Ao longo da história de ocupação do Estado de Santa Catarina, a Floresta Ombrófila Mista (FOM) foi alvo de intensa exploração madeireira, e uma grande mudança no uso do solo foi configurada. No início do século XXI, a Floresta Ombrófila Mista não ultrapassava 5% da cobertura original, da qual se estima que somente 0,7% poderia ser considerada primitiva (SANTA CATARINA, 2004, p.7).

Essa alteração no uso da terra modifica os estoques de carbono tanto na vegetação como no solo. A liberação de CO₂ contido nas árvores, pelo desmatamento, contribui para o agravamento do aquecimento global, mas o impacto dessa mudança no solo pode alterar suas

³ ppm – partes por milhão

⁴ CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisas Florestais. Colombo: EMBRAPA-CNPq; Brasília, 1994. 640p.

condições orgânicas e microbiológicas e acelerar as perdas de carbono contidos neste reservatório, e por sua vez, aumentar as emissões de gases do efeito estufa.

A dinâmica do fluxo de carbono no ecossistema depende da interação entre os inúmeros ciclos biogeoquímicos, que podem ser modificados pelo ser humano. O carbono é trocado naturalmente entre seus reservatórios e a atmosfera através da fotossíntese, respiração e decomposição da matéria orgânica, entre outros. As atividades humanas mudam os estoques de carbono nesses reservatórios através dos diferentes usos do solo, a modificação de florestas, pelas atividades industriais e a queima de combustíveis. A captação de carbono acontece tanto na vegetação como no solo, em ecossistemas terrestres, e suas concentrações são maiores no solo, em relação à vegetação (IPCC, 2007).

O seqüestro de carbono terrestre tem potencial para reduzir o CO₂ na atmosfera, e reduzir o aquecimento global. Uma vez que grande quantidade de carbono está alocado na superfície do solo, as mudanças na agricultura e produção florestal tem potencial para reduzir esses gases, incrementando-o aos estoques do solo. Os governos devem planejar os efeitos das mudanças no uso da terra, pois poderiam mitigar os impactos da mudança no clima. É fundamental conhecer como ocorre o ciclo do carbono na superfície do solo. Apenas depois de uma análise de custo/benefício, o seqüestro de carbono no solo pode ser um instrumento de gestão na mitigação das emissões dos gases do efeito estufa (MARKEWICH H.W.; BUELL G.R., 2001).

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho em nível de mestrado consiste em:

Contribuir na formação de conhecimentos acerca da dinâmica do carbono no solo dos diferentes tipos de cobertura vegetal do Planalto Serrano de Santa Catarina. Deste modo, avaliar os impactos causados na atmosfera com a mudança no uso do solo.

Como objetivos específicos:

- Avaliar as alterações químicas e biológicas do solo em relação a seis diferentes tipos de cobertura vegetal: Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Campo Nativo (CN); Reflorestamento de *Araucaria angustifolia* com 12 anos; Reflorestamento de *Eucalyptus dunii* (RE) com 12 anos e reflorestamento de *Pinus taeda* (RP) com 12 anos;
- Avaliar as diferenças quantitativas de biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente microbiano (qMic) e quociente metabólico (qCO₂) ao longo de quatro meses (fevereiro, março, abril e maio), nos diferentes tipos de coberturas vegetais estudadas, no Planalto Serrano de Santa Catarina;
- Verificar as concentrações de carbono orgânico do solo e calcular o estoque de carbono (Mg/ha⁻¹)⁵ nos diferentes tipos de coberturas vegetais estudadas do Planalto Serrano de Santa Catarina.

⁵ Mg = 1.000kg = 1 tonelada

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ciclo do Carbono e Atmosfera

De acordo com DE MELO LISBOA (2008), a atmosfera é uma mistura de gases, inodora e incolor que forma uma camada delgada ao redor da Terra e composta principalmente pelos gases relacionados na Quadro 1.

O carbono passa a fazer parte da biomassa através do processo da fotossíntese. Os seres fotossintetizantes incorporam o gás carbônico atmosférico, transformando-se em moléculas orgânicas. Segundo Ambiente Brasil (2005), os passos mais importantes do ciclo do carbono são:

- O dióxido de carbono na atmosfera é absorvido pelas plantas e convertido em açúcar, pelo processo de fotossíntese;
- Os animais comem as plantas e ao decomporem os açúcares, parte do carbono é incorporado aos tecidos animais, outra parte é liberado o ambiente;
- Outros organismos se decompõem, como as plantas e os animais, devolvendo carbono ao meio ambiente;
- O carbono também é trocado entre os oceanos e a atmosfera. Isto acontece em ambos os sentidos na interação entre o ar e a água.

Quadro 01. Composição da atmosfera seca.

Componentes gasosos	Composição ppm (vol)	Composição ppm (peso)
Nitrogênio	780.900	755.100
Oxigênio	209.500	231.500
Argônio	9.300	12.800
Dióxido de carbono	300	460
Neônio	18	12,5
Helio	5,2	0,72
Metano	2,2	1,2
Criptônio	1	2,9
Oxido nitroso	1	1,5
Hidrogênio	0,5	0,03
Xenônio	0,08	0,36

Fonte: NEFUSI, apud DE MELO LISBOA. H. M., 2008.

No passado, grandes quantidades de carbono foram removidos da atmosfera e armazenados juntos com organismos que morreram e que foram enterrados em sedimentos que careciam de oxigênio, transformando-se em petróleo, gás natural, carvão ou turfa. Os seres humanos estão descobrindo e usando esses depósitos, conhecidos como combustíveis fósseis, em taxas sempre crescentes durante os últimos 150 anos. Como resultado, o dióxido de carbono, o produto final da queima desses combustíveis está sendo liberado para a atmosfera mais rápido do que está sendo transferido para os oceanos e incorporado na biomassa terrestre (PURVES, 2005, p.1001).

Segundo Odum (2000), até o início da idade industrial os fluxos de carbono entre a atmosfera, continentes e oceanos estavam equilibrados. Durante o século XX, porém, o conteúdo de CO₂ tem-se elevado por causa de novas entradas de origem antropogênicas, devido principalmente a queima dos combustíveis fósseis.

IPCC (2007, p.4) relata o aumento da concentração atmosférica de CO₂, metano (CH₄) e óxidos de nitrogênio nos últimos 10 mil anos (Figura 1).

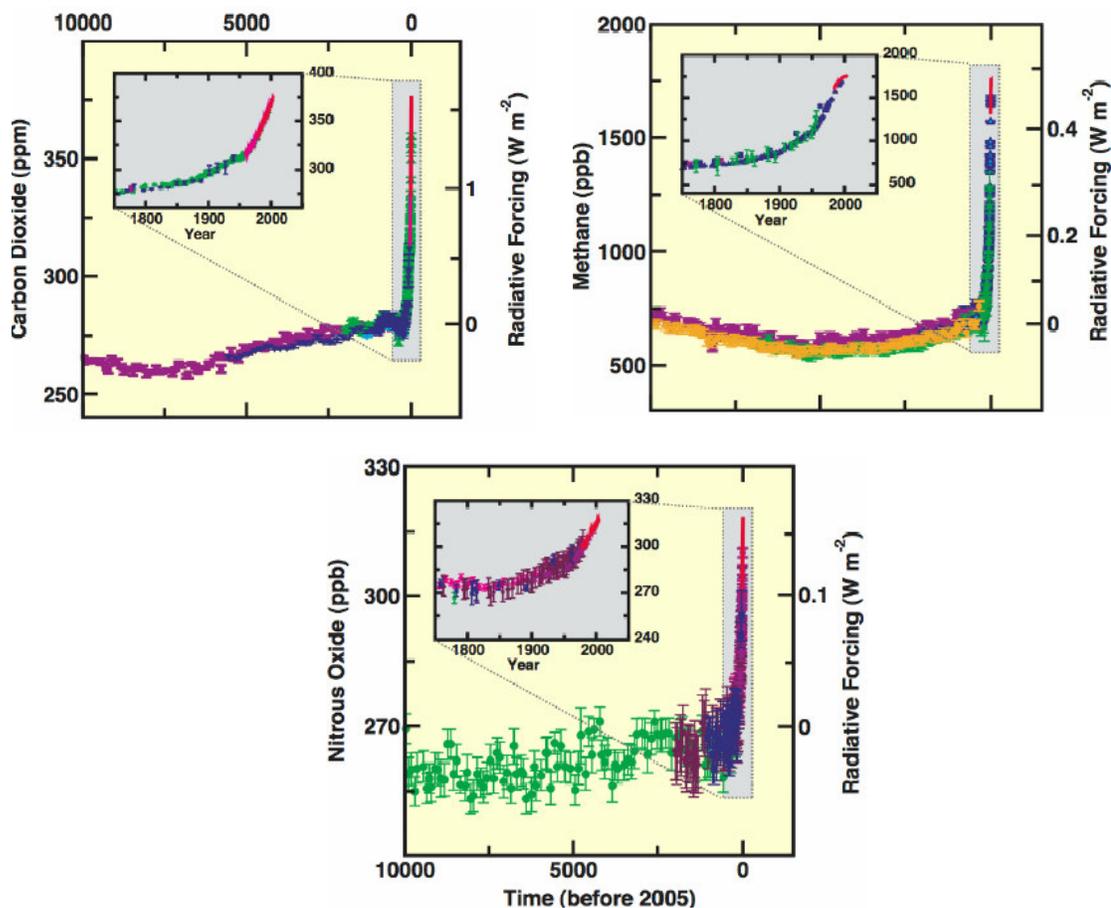


Figura 1 – Tendências nas principais concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxidos de nitrogênio nos últimos 10 mil anos (símbolos com diferentes cores para diferentes estudos).

Fonte: IPCC, 2007, p. 4.

Segundo De Melo Lisboa (2008), as principais fontes de poluição antrópica que contribuem para esse aumento são as fontes industriais, queima de combustíveis fósseis e resíduos sólidos.

2.2. Ciclo do carbono e seqüestro de carbono

O dióxido de carbono tem função fundamental na regulação da temperatura terrestre, e seu aumento, juntamente com outros gases como o vapor d'água, o metano (CH₄) e o óxido nítrico (N₂O) que fazem parte dos gases do efeito estufa (GEE), são responsáveis pelo aquecimento global (YU, 2004, p.40).

A dinâmica dos ecossistemas terrestres depende da interação entre vários ciclos biogeoquímicos, principalmente o próprio ciclo do carbono, o ciclo de nutrientes e o ciclo hidrológico (ibidem).

O ciclo global de carbono é controlado pelo fluxo de combustíveis fósseis para a atmosfera, estimado em 6,3 Gt C ano⁻¹ durante a década de 1990 e seu retorno aos oceanos, plantas e solos. O carbono estocado no fundo dos oceanos é fundamental para um equilíbrio das concentrações atmosféricas a longo prazo e seu potencial de armazenagem é enorme (KIRSCHBAUM, 2002).

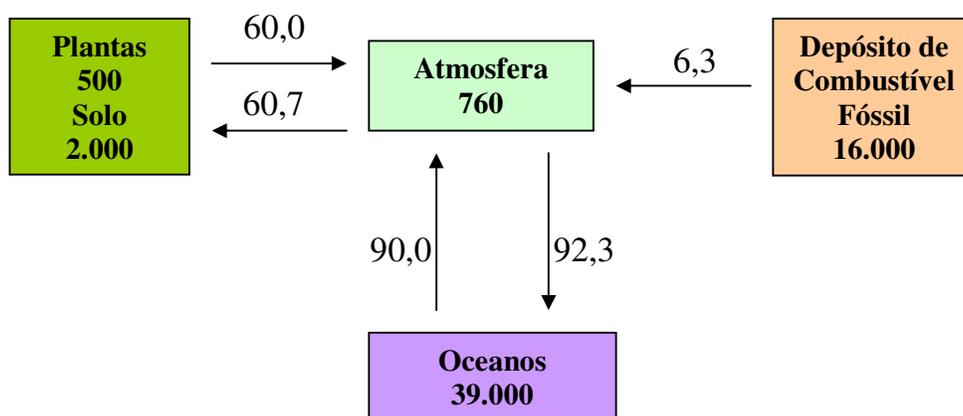


Figura 2 – Ciclo do Carbono. Estoques (Gt C) e fluxos (Gt/ano)
 Fonte: YU, Chang M., 2004, p.41

Cada vez mais a pesquisa científica vem comprovando que grande parte do incremento de CO₂ e respectivo aquecimento global têm origem antropogênica e que a própria ação

humana poderia e deveria intervir para o seu refreamento. Uma alternativa para diminuir a quantidade de carbono emitido para a atmosfera seria desenvolver novas tecnologias, menos poluentes, evitando sua emissão. Outra opção é manter o carbono preso à biomassa da terra, nas florestas e no solo, por exemplo, através do seqüestro de carbono (IPCC, 1997).

Olschewski, e Benítez, (2003, p.382), demonstraram em seu trabalho o grande potencial de seqüestro de carbono das florestas tropicais em relação à pastagem, principal uso da terra na região. No entanto, o custo de implantação de uma floresta e seu retorno financeiro torna esta alternativa inviável. Com o pagamento dos “créditos de carbono” previstos no protocolo de Kyoto, acordo internacional para a diminuição do aquecimento global, esta situação deve mudar, esses pagamentos poderiam ser um incentivo para os proprietários trocarem o uso da terra de pastagem para o desenvolvimento de florestas. Da mesma forma, o crescimento natural de florestas secundárias poderia tornar-se uma importante atividade, uma vez que traz benefícios adicionais, tais como a proteção do solo e água e conservação da biodiversidade.

De acordo com Kraxner, Nilsson, e Obersteiner (2001), a remoção de carbono da atmosfera e seu estoque na biomassa, reduz apenas temporariamente a taxa de carbono da atmosfera, onde subseqüentemente, depois do corte da árvore, o carbono estocado voltaria imediatamente para a atmosfera. No entanto, o ecossistema terrestre combinado com o uso da biomassa para a produção de energia pode oferecer uma redução permanente de gases do efeito estufa pela troca do uso de combustíveis fósseis.

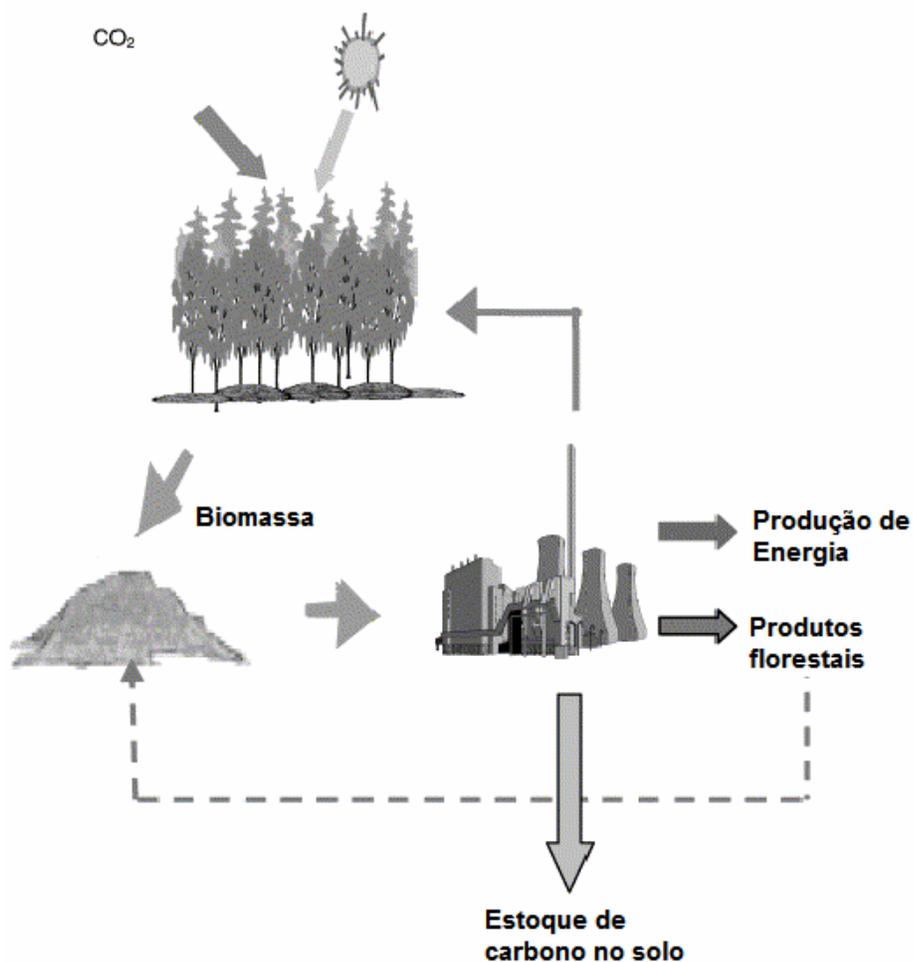


Figura 3 – Ciclo do Carbono com Bioenergia
 Fonte: KRAXNER, NILSSON, E OBERSTEINER, 2001.

Uma pesquisa publicada na revista Nature verificou durante 24 anos, de 1979 a 2003, os estoques de carbono no solo da Reserva de Dinghushan, na Província de Guangdong, na China. Os resultados demonstraram aumento gradativo de quase 68% na quantidade de carbono armazenado no solo, o que sugere que mesmo depois de uma floresta atingir a chamada "maturidade", ela pode continuar retirando gás carbônico da atmosfera (AMBIENTEBRASIL, 2007).

2.3. Fixação do carbono no Solo

Os solos são importantes no ciclo do carbono – globalmente, eles estocam o equivalente a 300 vezes o montante de carbono hoje liberado anualmente através da queima de combustíveis fósseis (SCHULZE e FREIBAUER, 2005, p.205).

O processo de transferência do carbono atmosférico para o carbono do solo é chamado de seqüestro de carbono do solo, que acontece por um processo natural que envolve a fixação do carbono atmosférico na biomassa, via fotossíntese (LAL, R. et al., 2006, p. 50).

As mudanças nas concentrações de carbono abaixo do solo podem ter um grande impacto no estoque de carbono nos ecossistemas terrestres e mudanças nos fluxos de carbono da atmosfera. As plantas enviam de 35-80% do carbono fixado na fotossíntese para baixo do solo na produção e respiração das raízes, micorrizas e exsudatos (RYAN e LAW, 2005, p.5).

Como atividades agrícolas e reflorestamentos têm mostrado uma redução nos estoques de carbono no solo, pode-se dizer que a capacidade do solo em retirar o carbono atmosférico depende da diferença entre os níveis de carbono existentes no solo de uso agrícola e florestal comparado com o estoque de carbono de um ecossistema natural, sem perturbação. Muitas perdas de carbono do solo acontecem com a conversão de ecossistemas naturais para ecossistemas manejados. A magnitude dessas perdas pode ser de 25 a 75% dependendo dos estoques iniciais de carbono, uso da terra, manejo, clima e das interações entre todos os fatores (figura 4). As perdas ocorrem devido à diminuição no montante de biomassa que retorna ao solo e um aumento nas taxas de mineralização por causa do regime de umidade e temperatura (LAL, R. et al., 2006, p. 54).

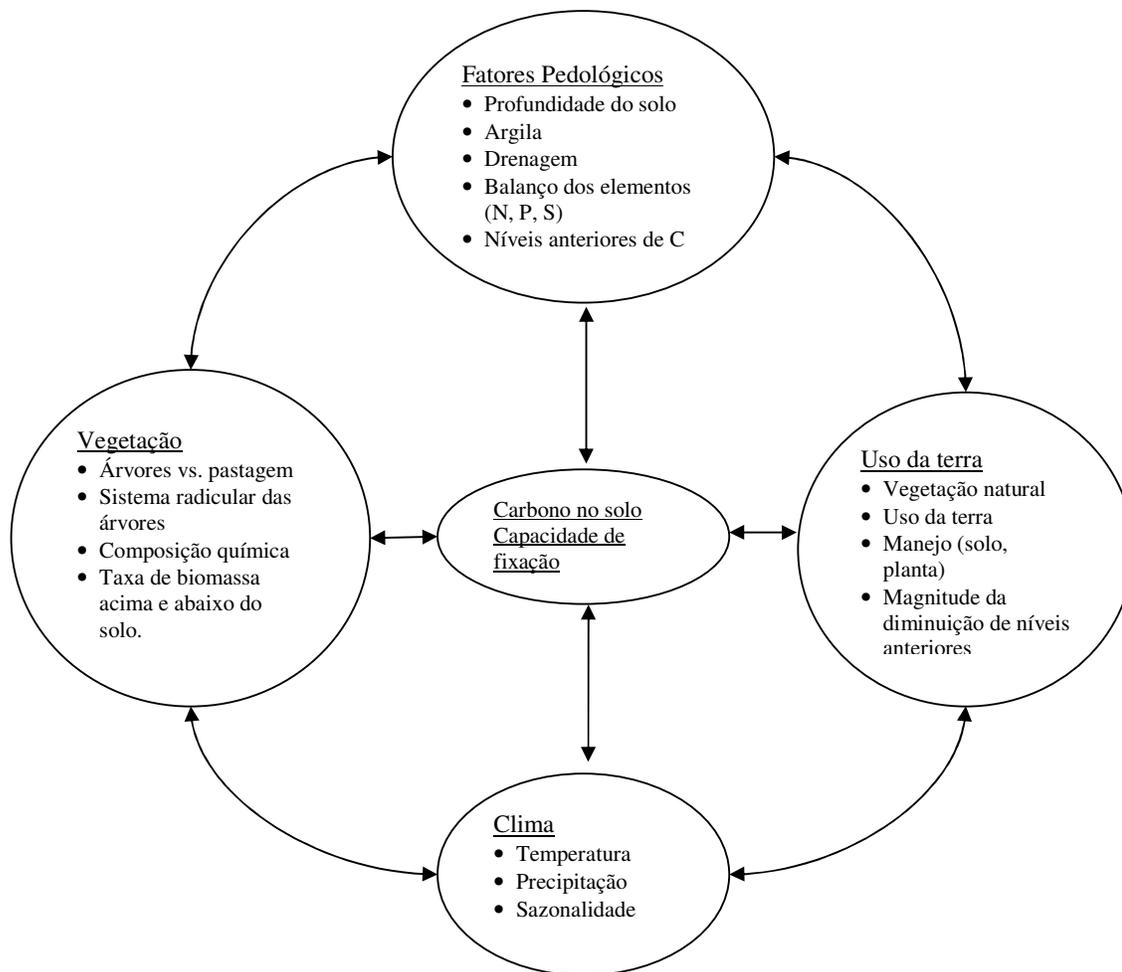


Figura 4 – Fatores que afetam a capacidade de fixação de carbono do solo.
Fonte: Adaptado de LAL et al., 2006, p.55.

Schulze e Freibauer (2005, p.205) descreveram algumas mudanças em estoques de carbono orgânico no solo nos 15 cm da superfície através de inventários de solos da Inglaterra e País de Gales, durante os últimos 25 anos. Eles encontraram perdas do carbono orgânico do solo em uma magnitude alarmante, perdas anuais de 13 milhões de toneladas de carbono, o equivalente a 8% das emissões do Reino Unido em 1990.

O estabelecimento de florestas naturais ou plantações florestais pode influenciar a distribuição de carbono orgânico (CO) nos diferentes componentes do material orgânico do ecossistema, tais como solo, serrapilheira, raízes, biomassa e a ciclagem biogeoquímica de nutrientes. Swamy e Puri (2003) determinaram a taxa de carbono orgânico no solo em

plantações florestais com *Gmelina arborea* e em sistemas agrossilviculturais, onde o carbono contido no solo aumentou significativamente nos diferentes projetos com *G. arborea* depois dos cinco anos de plantação. No entanto, diminuiu com a profundidade. De 0-20 cm de profundidade do solo, aumentou em 34% e 14% respectivamente em plantação e sistemas agrossilviculturais depois dos cinco anos da plantação.

De acordo com Lal (2006, p.56), a taxa de seqüestro de carbono na América Latina, em solos de ecossistemas temperados é de 300 a 1000 kg C ha⁻¹ por ano. Em comparação, a taxa de seqüestro de carbono em solos com clima tropical árido e semi-árido vai de 0 a 250 kg C ha⁻¹ por ano. Procedimentos de recuperação de áreas com grande quantidade de biomassa, especialmente associados com sistema radicular profundo e condições de irrigação, poderiam aumentar esses números acima de 1 Mg⁶ C ha⁻¹ por ano. Segundo Salomão; Nepstad e Vieira (1998)⁷ apud Sanquetta et al. (2002, p.192), no fluxo global do gás carbônico estão envolvidos o homem, as plantas, os animais (incluindo decompositores) e os oceanos.

Os processos pedológicos ocorrem entre a interface da litosfera e atmosfera. Na pedosfera ocorrem todos os processos relacionados a atividades bióticas entre os ecossistemas terrestres e a interação com a atmosfera, litosfera, biosfera e hidrosfera. Essas interações influenciam no ciclo biogeoquímico dos principais nutrientes, por exemplo N, P, K, S e C, bem como no ciclo da água (LAL; KIMBLE e FOLLETT, 2000a apud SANQUETTA et al, 2002)⁸.

Existem dois tipos de entrada de carbono na pedosfera. O primeiro chamado Carbono orgânico (CO) e o segundo Carbono inorgânico (CI). O carbono inorgânico pode ser

⁶ Mg = 1.000kg = 1 tonelada.

⁷ SALOMÃO, R.P.; NEPSTAD, D.C.; VIEIRA, I.C.G. Biomassa e estoque de carbono de florestas tropicais e secundárias. In: GASCON, C.; MOUTINHO, P. (eds) **Floresta amazônica: dinâmica e manejo**. Inpa/Smithsonian Institute, 1998. p.99-119.

⁸ LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLETT, R.F. Pedospheric processes and carbon cycle. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A. (eds) **Soil processes and the carbon soil**. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 2000a, p. 1-8, 609p.

encontrado na forma de carbonato e bicarbonato. O carbono orgânico é constituído por microorganismos, húmus estabilizado, resíduos vegetais e animais em vários estágios de decomposição e carbono inerte constituído por carvão vegetal e/ou carvão mineral (TEDESCO et al.,1995).

No ciclo global do carbono, alguns tipos de solos possuem mais influência do que outros, devido a extensas áreas que predominam alguns solos. Os solos com maior estoque de carbono em ordem decrescente são: Histisols > Inceptisols > Oxisols > Alfisols (SANQUETTA et al., 2002, p.197).

A dinâmica do carbono orgânico nos processos pedológicos pode ser agrupada em duas categorias. A primeira se refere aos processos que aumentam o estoque do carbono orgânico do solo (COS) e a segunda os processos que diminuem esse estoque (Figura 5).

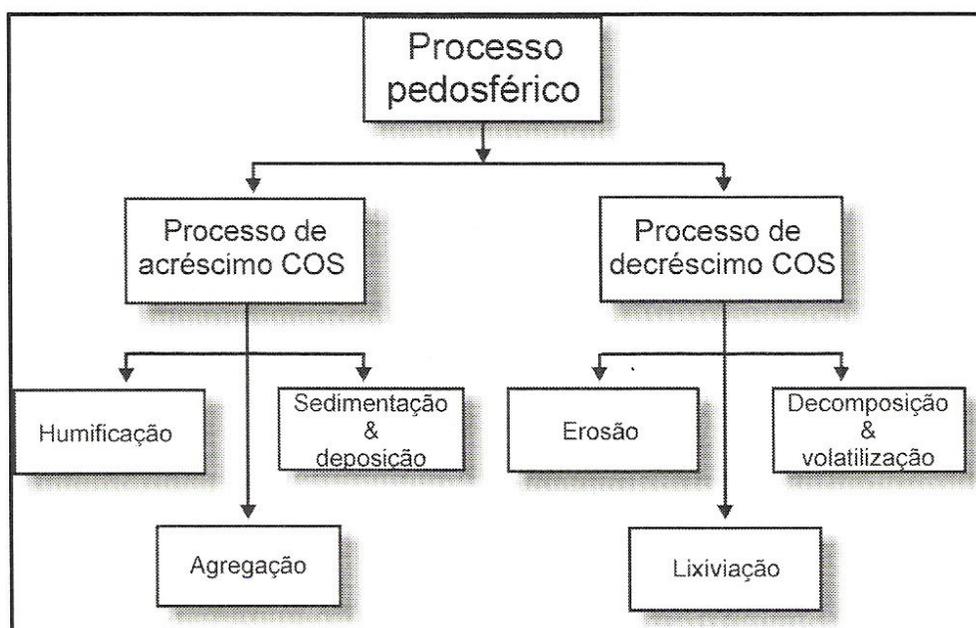


Figura 5 – Principais processos pedológicos que afetam o conteúdo de CO do solo.

Fonte: Adaptado de LAL , KIMBLE e FOLLETT (2000a)⁹ apud SANQUETTA et al. 2002, p.199.

⁹ LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLETT, R.F. Pedospheric processes and carbon cycle. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A. (eds) **Soil processes and the carbon soil**. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 2000a, p. 1-8, 609p.

Nos processos que aumentam o estoque de carbono estão a produção de biomassa das plantas, humificação, agregação e deposição de sedimentos. Porém, os fatores que podem diminuir esse estoque são a erosão, lixiviação e a decomposição da matéria orgânica. O balanço entre os processos que aumentam e diminuem o estoque de carbono é influenciado pelo uso da terra e fatores antropogênicos, sendo esses fatores que determinam o estoque do elemento na pedosfera (LAL , KIMBLE e FOLLETT, 2000a, apud SANQUETTA et al, 2002)¹⁰.

Qualquer alteração no uso do solo altera os estoques de carbono, seja aumentando ou diminuindo. Quando uma floresta é transformada, pelo desmatamento, em campo, considera-se que todo carbono estocado na vegetação foi automaticamente emitido para a atmosfera.

O protocolo de Kyoto considera as mudanças no uso do solo como fatores que devem ser considerados juntamente com o montante de carbono emitido por florestamentos, reflorestamentos e desflorestamentos. Esta modalidade, o Intergovernmental Panel Climate Change (IPCC), definiu como **Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF)** (IPCC, 2000).

Ponce-Hernandez, (2004, p.2), sugere que as metodologias de LULUCF poderiam ser utilizadas com sucesso no seqüestro de carbono atmosférico, enquanto novas tecnologias são desenvolvidas. As atividades que incrementam o montante de carbono nos ecossistemas terrestres deveriam ser incentivadas, enquanto atividades inapropriadas deveriam sofrer uma taxaço.

¹⁰ LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLETT, R.F. Pedospheric processes and carbon cycle. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A. (eds) **Soil processes and the carbon soil**. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 2000a, p. 1-8, 609p.

2.4. Dinâmica da Matéria Orgânica no Solo

A matéria orgânica do solo desempenha diversas funções no ambiente, estando ligada a processos fundamentais como a ciclagem e retenção de nutrientes, agregação do solo e dinâmica da água, além de ser fonte básica de energia para a atividade biológica (ROSCOE; BODDEY; SALTON, 2006, p.20).

O solo comporta-se como um sistema aberto, trocando matéria e energia com o meio. O sistema atinge um estado estável quando as taxas de adição e perdas se equivalem. Sendo assim, a adição de matéria orgânica ocorre via adição de carbono pela síntese de compostos orgânicos no processo da fotossíntese. A quantidade de carbono adicionada depende do tipo de cultura e das espécies utilizadas. Já as perdas de carbono ocorrem principalmente pela liberação de CO₂ na respiração, pela decomposição microbiana dos resíduos e da matéria orgânica do solo e pelas perdas de compostos orgânicos por lixiviação e erosão. A magnitude desses processos dependem direta ou indiretamente do manejo do solo (MIELNICZUK, 1999, p.2).

A decomposição da matéria orgânica do solo envolve o fracionamento físico, transformações bioquímicas e estabilização biofísica do material orgânico. Microorganismos heterotróficos que promovem a decomposição primária utilizam o carbono do material orgânico para seu metabolismo, aproveitando cerca de 95% da energia contida na matéria orgânica do solo. A subsequente decomposição desses organismos e seus produtos resultam na formação de materiais húmicos complexos e heterogêneos (MELO e AZEVEDO, 1977, p.84).

Os materiais orgânicos adicionados ao solo podem ter diferentes graus de degradabilidade. Sua decomposição é determinada pela quantidade e qualidade do resíduo,

além da atividade da biota, que é regulada por fatores ambientais. Parte desse substrato se transforma rapidamente em CO_2 e biomassa. Em seguida, compostos químicos mais resistentes como celulose, lignina e outros carboidratos são atacados e transformados em biomassa. O processo pode durar meses ou anos até a completa degradação e mineralização dos constituintes orgânicos, com a produção de grande quantidade de CO_2 , formação de húmus e biomassa (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002, p. 195).

O solo é um sistema aberto, onde o fluxo de matéria e energia é controlado por processos internos e suas relações com o ambiente externo. A matéria orgânica do solo (MOS), formada por todo o carbono orgânico presente no solo, pode ser encontrada em três formas: a MOS transitória é composta por materiais orgânicos, resíduos de plantas e organismos de solo de fácil decomposição; a MOS humificada é composta por materiais recalcitrantes, os quais passaram por um processo intenso de transformação; e a biomassa, formada pela meso e macrofauna, além da microbiota do solo (Figura 6).

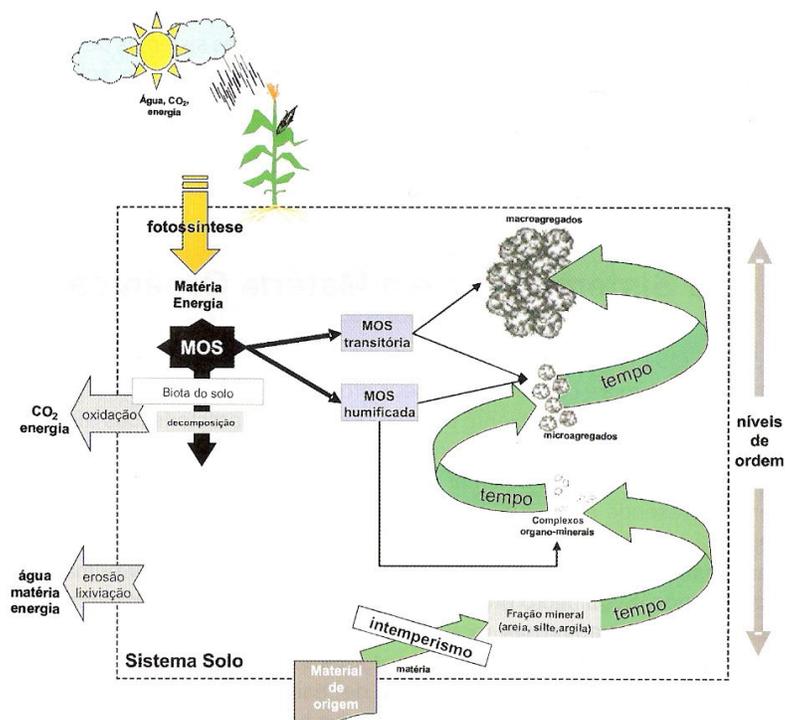


Figura 6 – Representação esquemática do processo de ordenação do solo, destacando os principais sub-processos e fluxos de energia e matéria.

Fonte: ROSCOE; BODDEY; SALTON, 2006, p.22.

A matéria orgânica é uma das fontes de entrada de carbono orgânico no solo, sendo resultante, principalmente, da deposição de resíduos de origem animal e vegetal. Esses resíduos, ao serem depositados, sofrem inicialmente decomposição parcial pela mesofauna e, posteriormente, ação decompositora de microorganismos. Parte do carbono presente nos resíduos é liberado para a atmosfera como dióxido de carbono (CO₂), e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica, como um componente do solo (BAYER e MIELNICZUK, 1999, p.21)

Os sistemas de manejo usados na exploração dos solos, além de seu efeito sobre os teores de matéria orgânica, afetam a quantidade de CO₂ liberada do solo para a atmosfera. Bayer (1996) estimou que o sistema agrícola aveia/milho associado ao preparo convencional libera, através da decomposição da matéria orgânica do solo, aproximadamente 5,3 t de CO₂ ha⁻¹ ano para a atmosfera. No entanto, esse mesmo sistema retira, via fotossíntese, 3,2 t de CO₂ ha⁻¹ ano da atmosfera. Isso representa uma liberação líquida de 2,1 t ha⁻¹ano⁻¹. Essa diferença no balanço de fixação-liberação de CO₂ evidencia a importância da adequação dos sistemas de manejo na redução da emissão de CO₂ para a atmosfera.

2.5. Indicadores Microbiológicos

Os processos de transformações dos elementos químicos e transferências de energia no sistema solo-planta-atmosfera, são realizados direta ou indiretamente por microorganismos que habitam o solo e constitui a base produtiva nos ecossistemas terrestres (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002, p.153).

A organização e funcionamento dessas comunidades é que governam as transformações bioquímicas que ocorrem no ecossistema solo. A microbiota do solo é responsável não apenas pela formação de húmus e ciclagem de nutrientes, mas pela definição da estrutura física do solo (LYNCH e BRAGG, 1985, p.138).

Um solo de qualidade possui intensa atividade biológica e contém populações microbianas balanceadas, sendo vários os indicadores microbiológicos que podem ser utilizados para estimar a qualidade do solo. Por isso, o conhecimento dos fatores que afetam os microrganismos do solo é fundamental para a manutenção sustentável do ambiente (TÓTOLA e CHAER, 2002, p.197).

Por atuarem nos processos de mineralização/imobilização, os microrganismos do solo são considerados fonte e dreno de nutrientes. Nos processos de mineralização, formas orgânicas de N, P e S, dentre outros nutrientes no solo, são disponibilizados para as plantas pela ação microbiana que libera formas inorgânicas desses elementos no solo. Como os microrganismos também possuem seus próprios requerimentos nutricionais, parte dos nutrientes liberados durante o processo de decomposição pode ser imobilizada na biomassa microbiana (ROSCOE; BODDEY e SALTON, 2006, p.20).

O carbono orgânico do solo (CO) inclui os resíduos de plantas, animais e microorganismos em todos os estágios de decomposição. Muitos componentes orgânicos do solo estão associados com partículas inorgânicas, e as alterações em suas quantidades variam por complexas interações nos processos biológicos, químicos e físicos (POST e KWON, 2000).

Influências antropogênicas podem alterar a estabilidade e funcionalidade dos microorganismos no solo. O tempo necessário para o ecossistema retornar ao seu estado inicial, após um distúrbio qualquer, define a resiliência do sistema. Reber (1992, p.182) sugere que a diversidade das comunidades microbianas está diretamente relacionada com a

resiliência do ecossistema, pois a diminuição de diversidade pode resultar em diminuição da redundância de funções bioquímicas e conseqüentemente uma redução da diversidade metabólica.

O manejo adequado do solo contribui para aumentar ou conservar sua qualidade e produtividade. Sua avaliação deve ser realizada por indicadores que sejam substitutos mensuráveis dos atributos do solo (TÓTOLA e CHAER , 2002, p.199).

Para a utilização das propriedades microbianas no monitoramento da qualidade do solo, alguns critérios básicos devem ser considerados:

1. as propriedades do solo devem ser exatas e precisamente avaliadas para se obter êxito em uma ampla escala de tipos e condições de solo;
2. devido ao alto número de amostras analisadas normalmente, as propriedades microbianas devem ser avaliadas de acordo com o tempo e viabilidade econômica;
3. as propriedade microbianas devem ser sensíveis a estresses, mas também suficientemente estáveis para não fornecer alarmes falsos;
4. devem ter validação científica, com base na realidade e conhecimento atual;
5. duas ou mais propriedades do solo, independentes, devem ser utilizadas. Neste caso, suas interrelações no ambiente devem ser conhecidas (BROOKES,1995, apud LOPES, 2007)¹¹.

A figura 7 mostra a relação entre as funções do solo e os principais indicadores de sua qualidade.

¹¹ BROOKES, P.C. The use microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metal. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, p. 269-279, 1995.

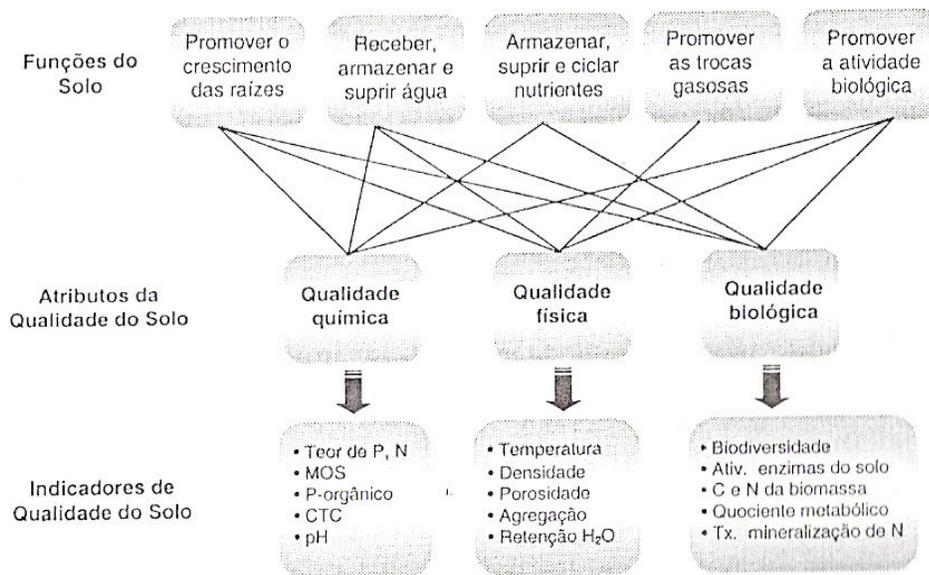


Figura 7 – Funções do solo, atributos a elas relacionados e indicadores de qualidade do solo para produção vegetal.

Fonte: TÓTOLA e CHAER, 2002, p.198.

2.5.1. Atividade da Biomassa Microbiana

A biomassa microbiana (BM) é considerada a parte viva da matéria orgânica do solo, constituída por bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários, algas e microfauna. Excluindo-se raízes de plantas e animais maiores que 5 .000 mm³, a biomassa microbiana representa, em média, de 2 a 5% do carbono orgânico do solo, o restante encontra-se na matéria orgânica morta, principalmente na forma de húmus (GAMA-RODRIGUES, 1999, p.227).

O solo contém alto número e diversidade de microorganismos com ampla quantidade de atividades metabólicas e propriedades fisiológicas. Solos agrícolas possuem na ordem de 10⁸ células bacterianas em cultura por grama de solo seco. Isto representa menos de 10% da população total, pois muitos microorganismos não podem ser cultivados em laboratório. A biomassa bacteriana é estimada de 1 a 2 t ha⁻¹. O total de biomassa microbiana pode ser muito

maior se considerarmos a contribuição dos demais microrganismos encontrados no solo (fungos, protozoários, algas) (PROSSER, 1997, p.183)

De acordo com Grisi (1996), apud Moreira; Siqueira, (2002, p.182)¹², a biomassa microbiana é uma característica muito dinâmica e sua quantificação significa:

- a) Estimar o potencial microbiano de um solo e sua capacidade de transformação;
- b) Quantificar substâncias relacionadas às quantidades de elementos essenciais à vida microbiana;
- c) Relacionar estas quantidades de microrganismos com formas inorgânicas de interesse agrônômico e ecológico do solo;
- d) Relacionar as características acima com qualidade do solo e produtividade agroecológica.

A estimativa do carbono na BM (CBM) tem sido usada nos estudos de fluxo de carbono, associação de quantidade de nutrientes imobilizados, ciclagem de nutrientes e produtividade das plantas nos ecossistemas. Como a biomassa microbiana constitui a maior parte da fração ativa, seu resultado pode aferir alterações na matéria orgânica causadas pelo manejo do solo (GAMA-RODRIGUES, 1999, p.230).

A resposta da matéria orgânica do solo às mudanças do uso da terra e às técnicas de manejo podem passar despercebidas por décadas, enquanto que a resposta da fração ativa (biodegradável), que contém principalmente a biomassa microbiana e seus metabólitos, ocorre muito mais rapidamente. Informações sobre as alterações da biomassa microbiana são importantes por indicarem mudanças que estão ocorrendo na matéria orgânica através do sistema de manejo empregado (FEIGL; CERRI e BERNOUX, 1998, P.428).

¹² GRISI, B.M. Participação da microbiota na ciclagem de nutrientes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 4., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Campinas: Software Gráfico Comércio e Serviços/Bicca Produções S/C, 1996. ICD-ROM.

A biomassa microbiana do solo (BMS) pode variar, significativamente, em função das condições ambientais, como disponibilidade de C, N, P e S, umidade, aeração, pH, mineralogia e textura do solo. Tem-se observado correlação positiva e altamente significativa entre BMS e teor de argila, o que confirma a teoria de que os teores mais elevados de argila beneficiam processos de proteção da matéria orgânica do solo, criando ambientes favoráveis à manutenção de populações microbianas. Vale ressaltar, no entanto, que a estimativa da BMS deve ser distinguida de sua atividade, uma vez que não se trata de uma medida da atividade dos microrganismos do solo, mas sim da massa microbiana viva total do solo, em um determinado momento. Em geral, os maiores valores são encontrados nos sistemas naturais, destacando-se os ambientes onde há um fluxo maior de resíduos (ROSCOE; BODDEY e SALTON, 2006, p.23).

A biomassa microbiana é ponto central do fluxo de carbono no solo. A figura 8 representa a biomassa microbiana como considerável reservatório de nutrientes no solo, que pode exercer função catalizadora, de fonte e/ou reserva.

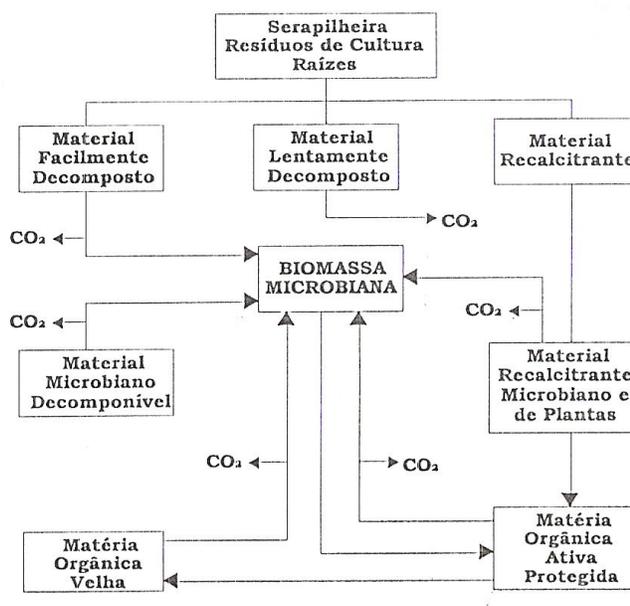


Figura 8. Decomposição de resíduos vegetais e ciclagem dos constituintes da matéria orgânica.

Fonte: adaptado de PAUL & CLARCK (1989) apud SANTOS; CAMARGO, 1999, p.229. ¹³

Segundo Moreira e Siqueira (2002, p.183), a quantidade de biomassa encontrada no solo está relacionada à quantidade de carbono que este recebe. Normalmente, apresenta teores mais elevados em solos com vegetação e cultivo mínimo, e mais baixa nos solos cultivados.

De acordo com Powlson, Brookes e Christensen (1987), o CBM é um ótimo indicador para prover informações rápidas sobre mudanças na propriedade orgânicas de solo, detectar mudanças causadas por cultivos ou devastação de florestas, ou determinar a regeneração de solos após a remoção da camada superficial.

2.5.1.1. Biomassa Microbiana e Quociente Microbiano (qMic)

O quociente microbiano (qMic) refere-se à relação entre o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o carbono orgânico total do solo (COT) e é um índice bastante utilizado para fornecer indicações sobre a dinâmica da matéria orgânica, expressando a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono orgânico do solo. Este índice pode variar de acordo com o pH, sistemas de preparo do solo, quantidade e qualidade do aporte de carbono. De acordo com Wardle (1994)¹⁴ apud Tótola e Chaer (2002, p. 203), em circunstâncias de estresse (deficiência de nutrientes, acidez), a capacidade de utilização de carbono é diminuída. Nesse caso, a relação CBM:COT diminui (< qMic). Caso contrário, quando a matéria orgânica é de boa qualidade, a biomassa microbiana pode aumentar (> qMic), mesmo sem alterações de COT.

¹³ PAUL, E.A.; CLARCK, F.E. **Soil microbiology and Biochemistry**. California: Academic Press, 1989. 275p.

¹⁴ WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Eds.) Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 542 p.

2.5.2. Respiração Basal do Solo

A respiração basal do solo (RBS) consiste na medida da produção de CO₂ resultante da atividade metabólica no solo, por microorganismos, raízes vivas e macro-organismos, como minhocas, nematóides e insetos, é um importante componente do ciclo de carbono do ecossistema terrestre (PARKIN et al. 1996¹⁵ apud TÓTOLA E CHAER, 2002, p. 206; WAGAI, et al., 1998, p.1501).

Fungos e bactérias são responsáveis por 96% da respiração total do solo, enquanto a fauna contribui com apenas 4%. Portanto, os fungos e as bactérias são os principais responsáveis pela metabolização do carbono depositado no solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2005, p.192).

A RBS é o caminho de saída do carbono do ecossistema terrestre e tem um grande potencial como indicador do seu metabolismo. No entanto, a RBS não reflete apenas os processos heterotróficos, mas também o metabolismo da planta, juntamente com a atividade de raízes, micorrizas e a respiração da rizosfera (RYAN e LAW, 2005).

O CO₂ transferido do solo para a atmosfera pode ser controlado por cinco fatores (SOTTA,1998¹⁶, apud DIAS,2006):

- Pela sua taxa de produção no solo;
- Pelos gradientes de temperatura;
- Pela sua concentração na interface solo-atmosfera;
- Pelas propriedades físicas do solo;

¹⁵ PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996, p. 231-245.

¹⁶ SOTTA, E.D., **Fluxo de CO₂ entre solo e atmosfera em Floresta Tropical Úmida da Amazônia Central**, 1998. 150p. Dissertação de (Ciência Florestais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1998.

- Pelas flutuações da pressão atmosférica do ambiente.

De acordo com Lê Dantec,; Epron e Dufrene (1999, p.125), analisando áreas muito próximas e muito similares em tipo de solo e cobertura vegetal, a RBS pode apresentar resultados muito diferentes, tanto no campo como no laboratório. Os fluxos de carbono são extremamente variáveis no espaço e no tempo, devido a heterogeneidade e dinâmica dos fatores que o controlam.

Pangle (2000, p.7) encontrou diferentes estimativas de fluxo de CO₂ calculados para florestas tropicais, temperadas e savanas nos três primeiros metros de profundidade. A discrepância na distribuição do carbono orgânico do solo no tipo de bioma e vegetação e sua liberação para a atmosfera pode ser atribuído a diferenças na metodologia de análise e da compilação dos dados.

O fluxo de carbono no solo é altamente sensível à temperatura e umidade. Portanto, pequenas mudanças nesses fatores, podem alterar a magnitude do fluxo de CO₂ e aumentar as emissões para a atmosfera (KIRSCHBAUM, 1995).

O entendimento do fluxo de CO₂ do solo é a chave para entender a troca do fluxo solo-planta-atmosfera. O conhecimento da respiração total do solo em função de variáveis como temperatura e umidade de solo, pode esclarecer e quantificar melhor este gás e assim poderá também melhorar modelos de interações (DAVIDSON, TRUMBORES e AMUNDSON, 2000, P. 790).

Outros fatores que afetam a decomposição e a liberação de CO₂ para atmosfera são tipos de vegetação, conteúdo e frações da matéria orgânica do solo, as raízes finas e a biodiversidade das comunidades de plantas e microorganismos (WAGAI et al, 1998, p.1502).

A respiração pode ser avaliada pela medição da liberação de CO₂ ou pelo consumo de O₂. O uso de respirômetros teve grande avanço, pois faz uma leitura contínua da produção de CO₂ por meio de detectores de infravermelho e permite a análise de um grande número de

amostras. Outros instrumentos medem a atividade respiratória pela redução de pressão interna em frascos de incubação, cuja leitura é feita por sensores nanométricos (TÓTOLA E CHAER, 2002, p.208).

O uso de câmaras e analisadores de gás infra-vermelhos (IRGA) para a quantificação de CO₂ tem sido muito estudado. No entanto, o fluxo só pode ser medido com exatidão por sistemas que não alterem a atividade respiratória do solo, o gradiente de concentração de CO₂ e o movimento do ar próximo à superfície do solo (JANSSENS et al, 2000, p.24).

As avaliações da respiração microbiana em laboratório têm a vantagem de eliminar organismos da mesofauna e partes da planta que poderiam mascarar as avaliações. Além disto, a temperatura e a umidade podem ser facilmente controladas, o que permite, inclusive, simulações (KELTING; BURGER e EDWARDS, 1998, p.962).

Todas as metodologias disponíveis apresentam algumas desvantagens. Entretanto, não existe padrão ou referência para testar a acurácia dos métodos (JANSSENS et al, 2000, p.24).

2.5.2.1. Quociente Metabólico (qCO₂)

O quociente metabólico (qCO₂) é a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana e representa um indicador mais adequado para determinar a atividade microbiana do solo (TÓTOLA e CHAER, 2002, p.206).

Conforme Odum (1969) apud Tótola e Chaer (2002, p.207)¹⁷, à medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização dos recursos do ecossistema, menos

¹⁷ ODUM, Eugene P. **Ecologia**. trad. Chistopher J. Tribe. Editora Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, 1969. 434p.

carbono é perdido pela respiração (CO_2) e maior proporção de carbono é incorporada aos tecidos microbianos. Assim, uma biomassa microbiana eficiente tem menor $q\text{CO}_2$, o que indica um solo mais equilibrado e que incorpora menos carbono à atmosfera. De acordo com Anderson & Domch (1990, p.252) quocientes metabólicos elevados são um indicativo de comunidades microbianas em estágios iniciais de desenvolvimento, com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos, ou seja, um indicativo de populações microbianas sob algum tipo de estresse metabólico.

Baseado na teoria do ecossistema em sucessão de Odum (1969), que diz que o $q\text{CO}_2$ declina durante a sucessão e com o tempo tende a recuperar seu equilíbrio, Whardle e Guani (1995, p.1602) analisaram vários trabalhos sobre o uso do $q\text{CO}_2$ como bioindicador de ecossistemas perturbados e sugerem que o uso dos índices de $q\text{CO}_2$ podem ser limitados, devido à dependência de vários fatores ambientais como, por exemplo, a disponibilidade de nutrientes, pH e argila e que nem sempre refletem as alterações no ambiente. No entanto, existe inúmeros casos em que o $q\text{CO}_2$ pode ser utilizado como bioindicador de estresses ambientais.

Estudos demonstraram que solos sob monoculturas prolongadas têm necessidade energética mais elevada para sua manutenção do que solos sob rotação de culturas ou não submetidos a estresses. Solos sob interferência antrópica apresentam mudanças na composição e atividade dos microrganismos e apresentam maiores atividades metabólicas específicas, devido ao estresse da população (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002, p.186).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi avaliado o fluxo do carbono no solo por meio de indicadores químicos e biológicos, em seis diferentes sistemas de coberturas vegetais, localizados na região Serrana de Santa Catarina.

A área utilizada para a pesquisa localiza-se na cidade de Campo Belo do Sul, na serra Catarinense. As análises laboratoriais foram conduzidas nos Laboratórios de Solos (LS) da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – Epagri, situados em Lages e Chapecó.

3.1. Localização e Caracterização da área de estudo

As parcelas e os pontos de amostragem de solo foram alocadas na Região Serrana de Santa Catarina, na área da empresa Florestal Gateados LTDA, às margens da Rodovia SC – 459, km 159 em Campo Belo do Sul – SC (Figura 9).



Figura 9 – Mapa de acesso à empresa Florestal Gateados.

A área da empresa é de 18.488 ha, (figura 10), distribuída em cinco municípios (Campo Belo do Sul, Correia Pinto, Ponte Alta, São José do Cerrito e Capão Alto), desses, mais de 50% são formados por vegetação nativa e os demais dedicados a atividades de reflorestamentos de espécies nativas e exóticas.

Como discutido anteriormente, fatores ambientais como o tipo de solo, níveis de precipitação, temperatura podem influenciar significativamente nos resultados. Para minimizá-los, as amostras foram alocadas em áreas geograficamente próximas, com no máximo 5 km de distância, localizados dentro dos limites da área da empresa Florestal Gateados em Campo Belo do Sul – SC, assim, diminuindo a interferência desses fatores (figura 10).

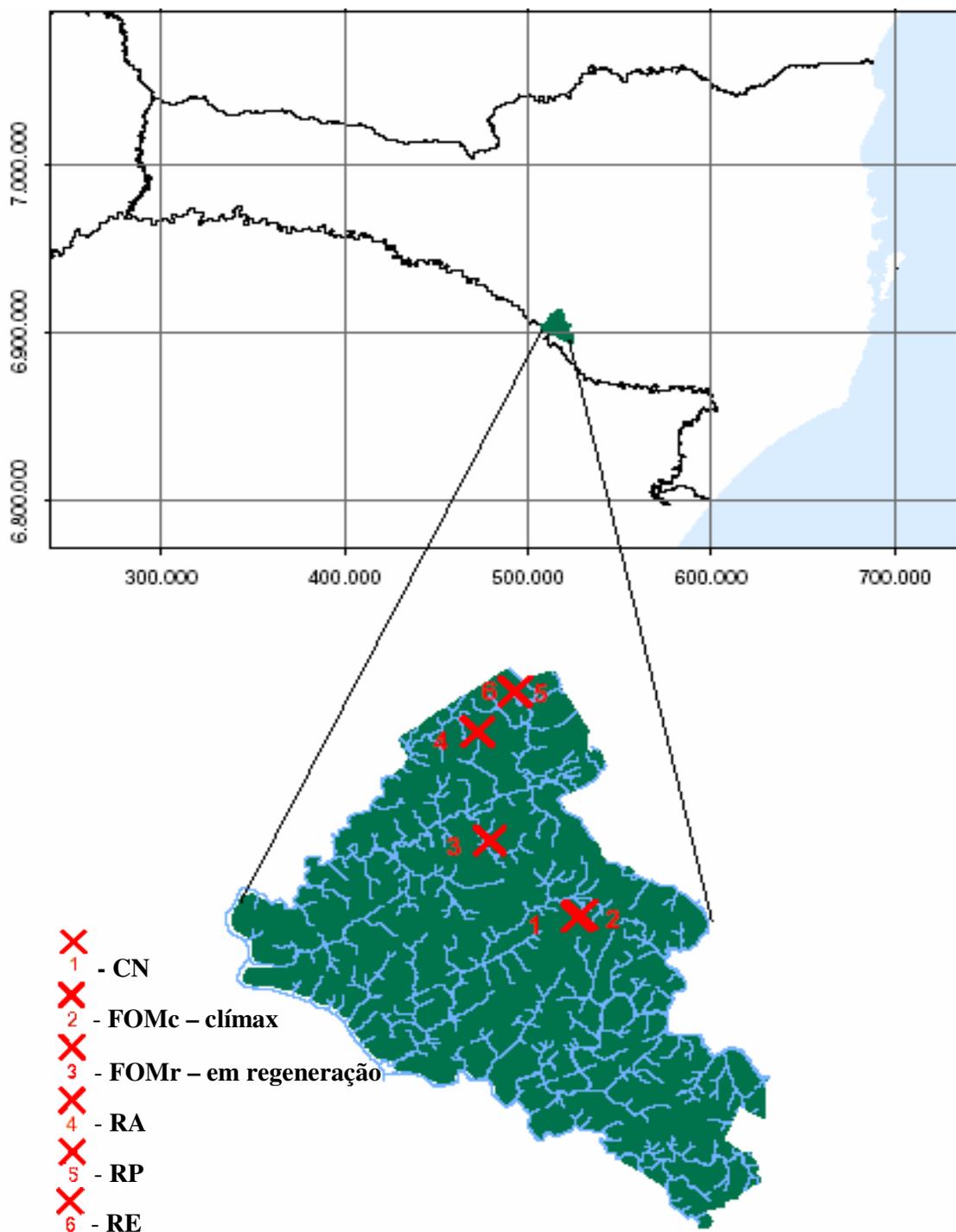


Figura 10 – Localização (em verde) da área da empresa Florestal Gateados em Santa Catarina e dos pontos de amostragem do solo (X1, X2...), em seis tipos de cobertura vegetal: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração (FOMr); Reflorestamentos de *Pinus taeda* (RP); Reflorestamento de *Eucalyptus dunnii* (RE) e Reflorestamento de *Araucária angustifolia* (RA).

3.1.1. Descrição das áreas amostradas

Os solos analisados são cobertos por seis diferentes tipos de vegetação, sendo três nativos e três reflorestamentos produtivos. Segue abaixo a descrição das áreas estudadas:

- 1) Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax (FOMc): Vegetação símbolo da região, com presença de *Araucaria angustifolia*, pertencente ao Bioma Mata Atlântica. De acordo com a Florestal Gateados, essa área utilizada na pesquisa nunca foi explorada comercialmente, exceto algumas árvores que foram retiradas há mais de 15 anos, para uso na construção de galpões e casas na propriedade - Figura 11.



Figura 11 – Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax.

- 2) Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração (FOMr): de acordo com o artigo 2º da resolução CONAMA 04 (1994), “vegetação secundária ou em regeneração é aquela resultante dos processos naturais de sucessão, após supressão total ou parcial da vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais, podendo ocorrer árvores remanescentes da vegetação primária”. As Araucárias

desse fragmento florestal foram exploradas em 1981-1982. Após essa data abandonou-se a área, que foi tomada pela taquara logo em seguida. Hoje, há predominância de bracatingas (*Mimosa scabrella*) - Figura 12.



Figura 12 – Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração.

- 3) Campo nativo (CN): Como descrito por Santa Catarina (2004, p.12), campo nativo são:

“áreas de cobertura vegetal com fisionomia herbácea intercaladas ou não por pequenos arbustos, como os campos de altitude (situados nas altitudes superiores a 900m, sobre solos rasos, relevo levemente ondulado e clima ameno), as áreas de refúgio, e campos limpos”.

Na empresa, desde 1991 não há pastoreio e uso do fogo. Desde então é roçado anualmente para a manutenção da vegetação de campo - Figura 13.



Figura 13 – Campo Nativo.

- 4) Reflorestamentos de *Pinus taeda* (RP): reflorestamento plantado em 1995, passou pelo primeiro desbaste em 2004 com média de 1038 árvores/há - Figura 14.



Figura 14 – Reflorestamentos de *Pinus taeda* com 12 anos de idade

- 5) Reflorestamento de *Eucalyptus dunnii* (RE): reflorestamento plantado em 1995, passou por três desbastes, em 1998, 2001 e 2005 - Figura 15.



Figura 15 – Reflorestamentos de *Eucalyptus dunnii* com 12 anos de idade.

- 6) Reflorestamento de *Araucaria angustifolia* (RA): reflorestamento plantado em 1995, utilizado como lavoura anteriormente, sem desbastes - Figura 16.



Figura 16 – Reflorestamento de *Araucaria angustifolia* com 12 anos de idade.

3.1.2. Caracterização do Solo

A caracterização do solo foi realizada através de tradagens, observação em cortes de estradas e avaliação da cor (Anexo 1).

De acordo com Embrapa (2006) e com o Mapa de Solos confeccionado pela Epagri – Ciram (Anexo 2), todos os solos analisados são formados a partir do riodacito (formação Serra Geral). O solo predominante é considerado TBa8 – associação de Nitossolo Háplico e Cambissolo Húmico, com inclusões de Neossolos Litólicos.

Os solos mais profundos encontrados na Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax (FOMc); Campo Nativo (CN); Reflorestamento de Araucaria (RA) e Reflorestamento de Eucalipto (RE) são classificados como Nitossolo Háplico. O solo de média profundidade encontrado no Reflorestamento de Pinus (RP) é um Cambissolo Húmico. Na Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração (FOMr), o solo é mais raso e classificado como Neossolo Litólico.

3.1.3. Clima e Relevo

O clima na região é do tipo subtropical úmido, com as quatro estações do ano bem definidas, temperaturas negativas no inverno e chegando a 30°C no verão, precipitação bem distribuída ao longo do ano. É classificado parcialmente como Cfb (subtropical, sem estação seca e temperatura do mês mais quente < 22°C) e Cfa (subtropical, sem estação seca e temperatura do mês mais quente > 22°C) de acordo com o método de Köppen.

A temperatura média mensal e a precipitação mensal foram medidas pela Estação Meteorológica da Epagri de Lages durante os meses de fevereiro a maio de 2007. Comparando ao mesmo período do ano anterior, houve alterações na precipitação mensal. No entanto, em 2006, houve período de forte estiagem nessa época, o que significa que a disponibilidade hídrica nos meses de coleta foi melhor. A temperatura média mensal manteve valores similares, com os meses de abril e maio mostrando o início do período de frio (figura 17). Os dados climáticos referente aos meses de coleta estão na tabela 01.

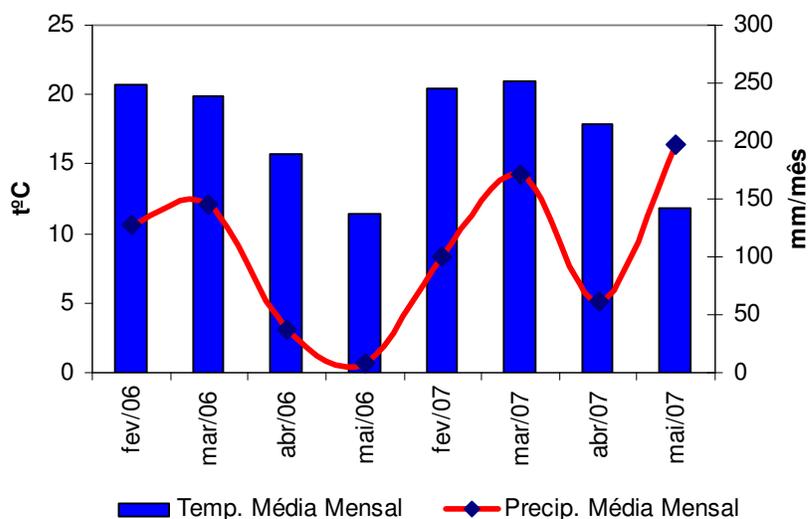


Figura 17 – Médias mensais de temperatura e total mensal de precipitação registrado entre os meses de fevereiro e maio de 2006 e 2007.

Tabela 01 – Dados meteorológicos de temperatura máxima, mínima e média (°C) e precipitação (mm) referente aos meses de coleta.

Período	T°C Máxima	T°C Mínima	T°C Média	Precipitação (mm)
FEV/2007	24,68	17,34	20,47	100,4
MAR/2007	25,49	17,85	21,01	171,2
ABR/2007	21,78	15,19	17,89	60,8
MAI/2007	15,22	9,28	11,83	196,4

O relevo da área de estudo é do tipo planalto (figura 18), com altitudes que variam de 700 metros à 1050 metros acima do nível do mar.

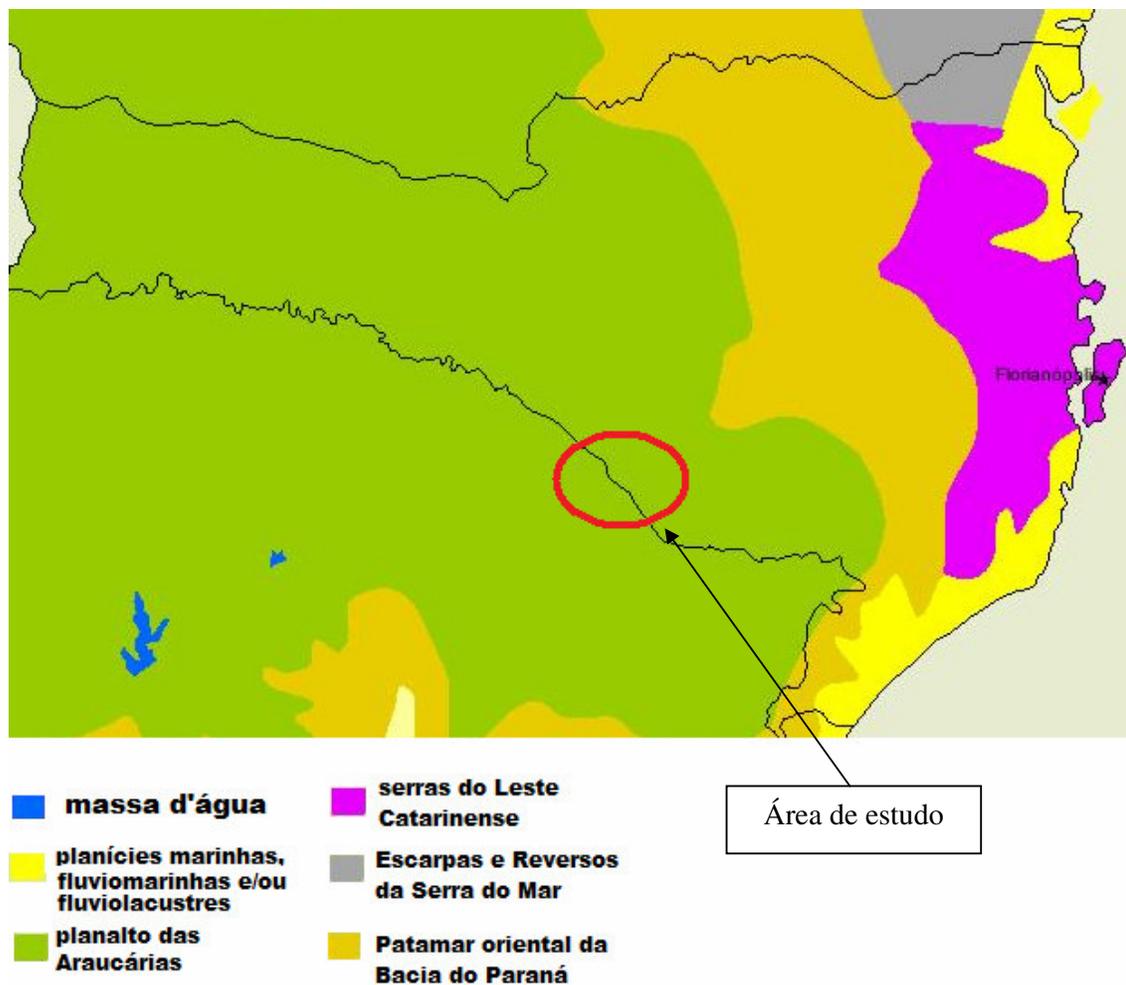


Figura 18 – Relevo de Santa Catarina.
Fonte: IBGE, 2008.

3.2. Amostragem do solo

A amostragem do solo foi realizada mensalmente, no período de fevereiro à maio de 2007 (Quadro 2), na área da empresa Florestal Gateados, em seis diferentes tipos de cobertura vegetal: Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em

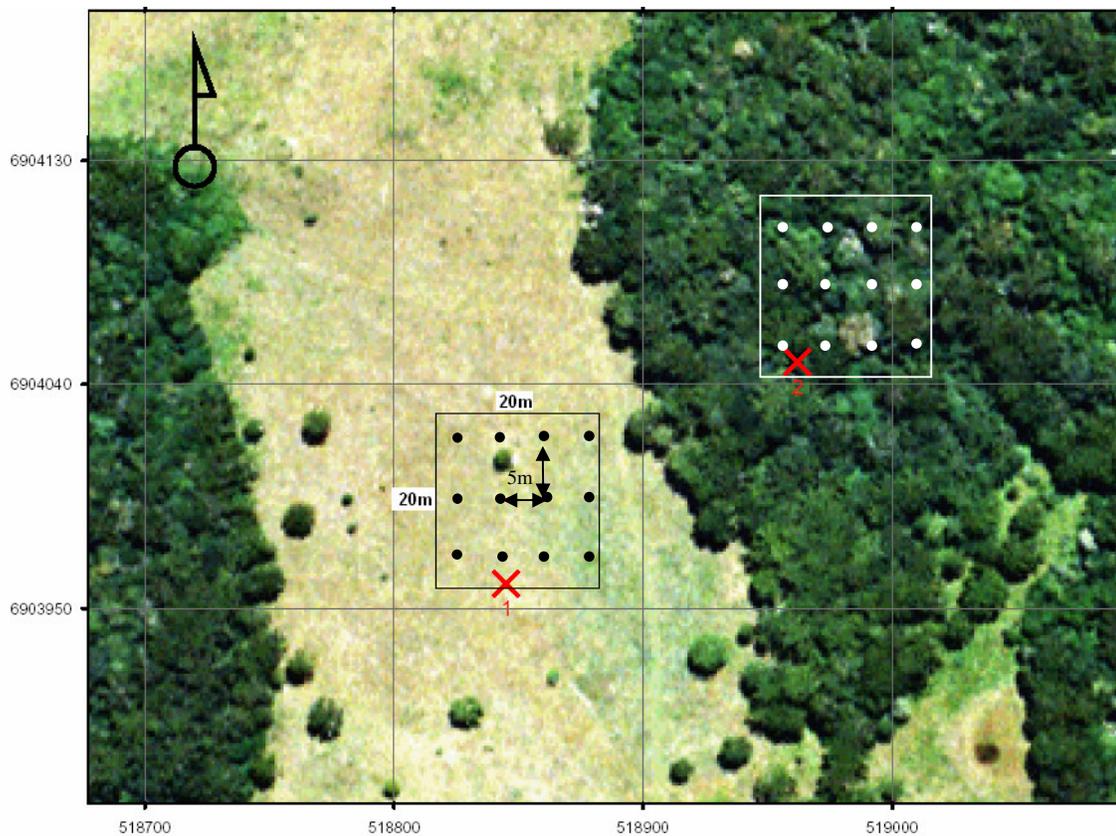
estágio avançado de regeneração (FOMr); Campo Nativo (CN); Reflorestamento de *Pinus taeda* (RP); Reflorestamento de *Eucalyptus dunnii* (RE) e Reflorestamento de *Araucária angustifolia* (RA).

A coleta do solo aconteceu de forma sistemática, eliminando a serrapilheira sobre a superfície (Figura 19), com 12 amostras de solo para cada tipo de cobertura vegetal, dentro de uma parcela 20x20m, distantes num raio de, aproximadamente, 5m (Figura 20).

A profundidade amostrada foi de 0-20 cm (Figura 19), onde acontece a maior atividade microbiológica sobre a matéria orgânica do solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).



Figura 19 – Detalhe da coleta de solo em reflorestamento de Eucalipto (RE), de 0-20cm de profundidade.



ESCALA: 1:3.000

Figura 20 – Esquema demonstrativo da implantação de uma parcela 20m X 20m no Campo Nativo (X1) e na Floresta Ombrófila Mista (X2). Os pontos pretos e brancos dentro das parcelas significam os pontos de amostragem do solo (repetições).

Quadro 2 - Datas das coletas de Solo em 2007.

Mês	Data da coleta
Fevereiro	15
Março	20
Abril	26
Maiο	25

3.2.1. Preparo das Amostras

As amostras de solo foram coletadas com auxílio de pá de corte, acondicionadas em sacos plásticos e levadas imediatamente ao laboratório.

No laboratório, as amostras de solo foram peneiradas em malha 2mm e uma alíquota de 5g de solo foi utilizada para determinar a umidade. Uma porção em torno de 500g (de cada amostra) foi separada em sacos plásticos, acondicionada e mantida sob refrigeração, entre 4 e 8°C, visando determinar a biomassa microbiana e a respiração basal do solo. Outra porção de 200g (de cada amostra) foi separada, acondicionada e enviada para o Laboratório de análise de solo da Epagri – Chapecó, para análise dos atributos químicos do solo. O espaço de tempo entre a coleta e a análise do carbono da biomassa microbiana e respiração basal do solo não ultrapassou 15 dias. As análises químicas do solo foram analisadas em um prazo de 30 dias.

3.3. Determinação das características físico-químicas do solo

3.3.1. Argila e densidade

A determinação do teor de argila do solo foi feita por densímetro, após dispersão do solo com solução de hidróxido de sódio (TEDESCO et al, 2005, p.28).

A densidade das amostras de solo coletadas na profundidade média de 0-20 cm com três repetições para cada parcela, foi determinada pelo método de anel volumétrico, que consiste no uso de um anel de aço de bordas cortantes e volume interno conhecido (Figura

21). O material coletado é transferido para estufa à 105°C por 48 horas, para a determinação do peso seco do solo (EMBRAPA, 1997).

Com o peso seco da amostra e o volume conhecido da amostra, a densidade pode ser calculada, utilizando a fórmula:

$$\delta(g / cm^{-3}) = \frac{m}{V}$$

Onde: δ = densidade global

m = massa da amostra seca

v = volume.



Figura 21 – Coletor de anéis volumétricos usado na determinação da densidade do solo.

3.3.2. Análises químicas

As análises químicas do solo foram avaliadas em todas as amostras coletadas nos diferentes tipos de cobertura vegetal durante os meses de fevereiro à maio de 2007. As determinações foram realizadas no laboratório de solos da Epagri – Chapecó.

O pH foi determinado por meio de eletrodo imerso em suspensão com água e KCl (1 mol L⁻¹) na relação 1:2,5. O fósforo e potássio disponível foram quantificados por espectrofotometria (EMBRAPA, 1997). O Ca, Mg e Al foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹, e com determinação de Ca e Mg em espectrofotômetro de absorção atômica e de Al por titulometria (TEDESCO et al., 1985).

A capacidade de troca de cátions (CTC) foi obtida pela soma total de cátions trocáveis e H + Al (EMBRAPA, 1997, p.93).

3.3.3. Carbono orgânico total do solo (COT)

O COT foi estimado pelo método de oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico e titulado com solução padrão de sulfato ferroso (EMBRAPA, 1997).

A análise das amostras foi realizada em parceria com o Laboratório de Solos da Epagri – Chapecó, entre os meses de fevereiro e maio de 2007, na profundidade de 0-20cm. O tempo médio para análise das amostras foi de trinta dias após a coleta.

3.4. Quantificação do estoque de carbono

3.4.1. Cálculo do estoque de carbono

O cálculo do estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}) foi realizado multiplicando o teor de carbono orgânico do solo, por sua densidade (g cm^3), convertida para Mg^{18} e pela profundidade (cm) (SZAKÁCS, 2003, pg. 11).

A fórmula usada é a seguinte:

$$Ct \left(\text{Mg / ha} \right) = C \times D \times P$$

Onde: Ct = estoque de carbono no solo

C = teor de carbônico orgânico no solo (%)

D = densidade do solo

P = profundidade da camada do solo analisado.

3.5. Indicadores de qualidade do solo e fluxo de carbono

A vegetação influencia positivamente na atividade microbiana do solo, auxilia no incremento de matéria orgânica e fornece os nutrientes necessários. Além disso, o solo de florestas não sofre interferência dos métodos agrossilviculturais que podem removê-lo e compactá-lo, resultando na maior presença de raízes. A rizosfera é a região do solo sob

¹⁸ Mg = megagramas = 1000kg

influência das raízes, onde é possível encontrar até 1000 vezes mais microorganismos em um solo não rizosférico (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002, p.361).

Os atributos biológicos sofrem grande influência sazonal, principalmente nas camadas superficiais do solo, onde as oscilações da temperatura e umidade são maiores (CAMPBELL e BIERDERBECK, 1976, p.296).

Com o objetivo de verificar as flutuações do carbono nos diferentes tipos de coberturas vegetais do solo (fluxo de carbono), foram determinados parâmetros como o carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal microbiana (RBM), teor de carbono orgânico (CO) quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMic$) que são atributos sensíveis ao manejo do solo.

Os parâmetros citados acima foram analisados nas dependências do Laboratório de Solos da Estação Experimental da Epagri – Lages.

3.5.1. Carbono da Biomassa Microbiana

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método de fumigação-extração (VANCE et al., 1987).

A amostra foi dividida em sub-amostras (triplicatas) que sofreram extração imediata (não fumigadas) e outras que foram fumigadas durante vinte e quatro horas. O material liberado pela fumigação foi recuperado com sulfato de potássio (K_2SO_4) a 0,5 M logo após a fumigação (DE-POLLI e GUERRA, 1997, p. 6). (figura 22)

Nesse procedimento, a biomassa microbiana é proporcional ao aumento do carbono orgânico que se torna extraível do solo após a fumigação. A fumigação foi realizada em

dessecador contendo becker com pérolas de vidro e clorofórmio. O clorofórmio foi evaporado sob vácuo. O uso do clorofórmio, além de matar os microorganismos presentes no solo, rompe as células microbianas liberando o constituinte microbiano para o solo. O carbono representa cerca de 47% do peso da célula do microorganismos do solo (CARDOSO, 2004).

Após vinte e quatro horas, o resíduo do clorofórmio do dessecador foi retirado e todas as sub-amostras receberam 30 ml de K_2SO_4 a 0,5 M e, posteriormente, agitadas por 30 minutos. A suspensão resultante foi filtrada em papel de filtro Whatman nº 42 e adicionados a uma mistura de H_2SO_4 e H_3PO_4 . Esta solução ficou aquecida em bloco digestor por 30 minutos a $140^\circ C$. Após seu resfriamento, foi titulada em espectrofômetro a 590 nm.

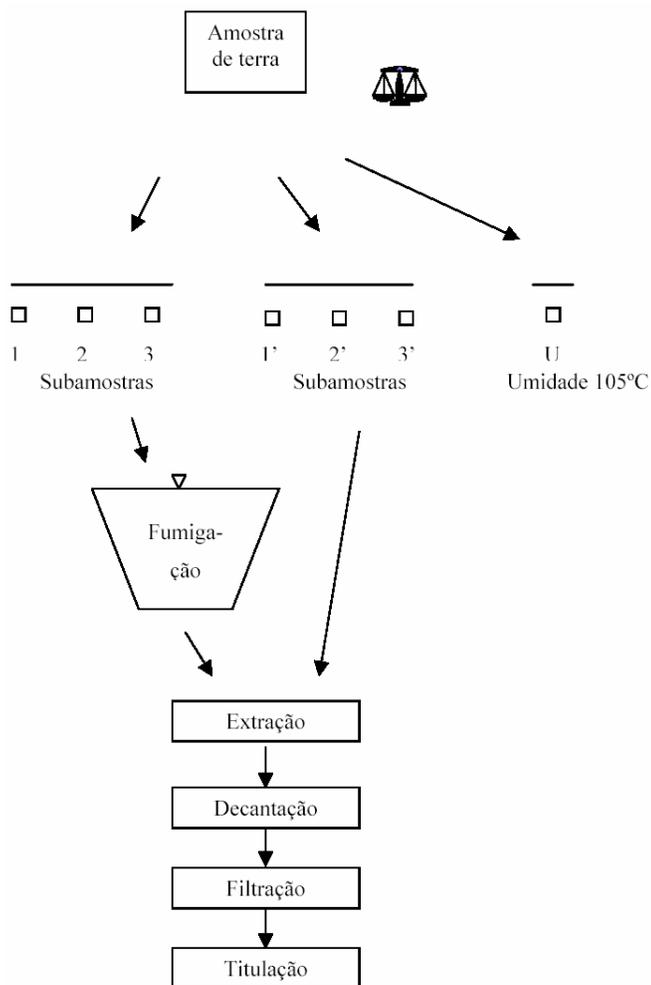


Figura 22 – Esquema simplificado do procedimento analítico para determinação do carbono da biomassa microbiana pelo método da fumigação-extração.

Fonte: DE-POLLI e GUERRA, 1997, p. 8.

O cálculo do CBM é dado pela fórmula:

$$CBM \left(mg \ kg^{-1} \right) = \frac{FC(C_F - C_{NF})}{kc}$$

Onde: CBM = biomassa de carbono microbiano do solo em mg de Carbono por kg de solo (ou $\mu g \ g^{-1}$);

FC = fluxo obtido da diferença entre a quantidade de carbono ($mg \ kg^{-1}$) nas amostras fumigadas (C_F) e não fumigadas (C_{NF}).

kc = fator de correção.

O fator de correção (kc) para os solos do Brasil ainda não foi determinado, portanto, pode-se utilizar o valor 0,33 preconizado por Sparling e West (1988)¹⁹ apud De-Polli e Guerra (1997, p.9), a fim de expressar a fração do C da BMS recuperada após o processo de fumigação-extração.

3.5.2. Quociente Microbiano (qMic)

O Quociente Microbiano (qMic) reflete o aporte de carbono e a conversão de substratos orgânicos para o carbono da biomassa microbiana. É calculado pela relação entre o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o carbono orgânico total do solo (COT) (SPARLING, 1992).

O cálculo do qMic é dado pela fórmula:

¹⁹ SPARLING, G.P.; WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labelled cells. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.20, p.337-343, 1988.

$$qMic = \frac{CBM}{COT} \times 100$$

3.5.3. Respiração Basal do Solo (RBS)

A metodologia utilizada na determinação da respiração basal do solo foi descrita por Jenkinson e Powlson (1976). As amostras de solo foram divididas em quatro sub-amostras de 50g e acondicionadas em frascos de vidro de 100mL. Os frascos são hermeticamente fechados, para evitar entrada de CO₂ do ar externo ou fuga do CO₂ interno, posteriormente, as amostras foram incubadas durante setenta e duas horas à 25°C, juntamente com as provas em branco. O CO₂ liberado pela atividade no solo foi capturado em solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,05 M (SILVA; AZEVEDO e DE-POLLI, 2007, p.2).

Após a incubação, foi adicionado 5mL de BaCl₂, para completa precipitação do CO₂ e três gotas do indicador fenolftaleína à amostra. Em seguida procedeu-se a titulação do excedente de NaOH com solução de ácido clorídrico (HCl) a 0,05 M, anotando-se a quantidade de HCl gasto na titulação. A quantidade de CO₂ liberado do solo, expressa em mg CO₂ g⁻¹ de solo por hora.

O cálculo da respiração basal do solo é dado pela fórmula:

$$RBS = CO_2(mg) / SW / t = \frac{(V_0 - V) \times 1.1}{dwt}$$

Onde: RBS = carbono oriundo da respiração basal do solo

SW = massa de solo seco

V_0 (ml) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle (branco)

V (ml) = volume gasto na titulação da amostra

dwt (g) = massa de solo seco de 1 grama de solo úmido

t = tempo de incubação da amostra em horas

1,1 = fator de conversão (1ml 0,05 M NaOH = 1,1 mg CO₂).

3.5.4. Quociente Metabólico (qCO_2)

O qCO_2 é a razão entre a respiração basal do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana (ANDERSON e DOMSCH, 1990). Este parâmetro tem sido usado para estimar a eficiência do uso de substrato pelos microorganismos do solo, podendo ser usado como um sensível indicador de estresse no solo.

O cálculo é feito pela fórmula:

$$qCO_2 \left(\mu g \text{ C-CO}_2 / \mu g \text{ Cg}^{-1} \text{ solo } h^{-1} \right) = \frac{RBS}{CBM}$$

3.6 Análise Interpretativa dos Dados

O objetivo desta análise foi vincular os resultados dos parâmetros analisados, a fim de estabelecer os sistemas de uso da terra mais ou menos eficientes no seqüestro e manutenção do carbono no solo.

3.7 Análise estatística

Os dados do trabalho foram submetidos à análise de variância (ANOVA – analyse of variance) para avaliar se os sistemas de uso da terra apresentam diferenças significativas entre si. É um processo baseado na decomposição da variação total em partes que podem ser atribuídos a causas conhecidas (variação entre usos), e numa parte devido a causas desconhecidas ou não suscetíveis de controle, (variação dentro das amostragens - erro ou resíduo) (FERREIRA, 2000).

A variância (s^2) é calculada pela soma dos quadrados das diferenças entre os dados e a média, e dividindo a soma pelo grau de liberdade, que é número de dados, menos um.

$$s^2 = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}{N - 1}$$

A razão entre as variâncias “entre” e “dentro” origina o valor F, que é confrontado o Ftabelado para determinar as amostras diferem significativamente.

Como estas estimativas de variância são construídas a partir de dois tipos diferentes de variabilidade, quanto mais elas diferirem, mais evidência existe de diferença nas médias.

Quando as análises de variância foram significativas, foi aplicado o teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade para testar qualquer contraste entre duas médias. O teste tem por base a diferença mínima significativa (d.m.s.), representada por Δ e calculada por:

$$\Delta = q \frac{s}{\sqrt{r}}$$

Onde: q = amplitude total estudentizada ao nível de 5% de probabilidade.

s = desvio padrão residual

r = número de repetições das médias confrontadas

Através do teste de Tukey foram atribuídos letras iguais a médias semelhantes e letras distintas a médias que diferem entre si (BONZATTO e KRONKA, 1995, p.44).

As relações entre os diferentes atributos do solo foram determinados por análise de correlação de Pearson, que mede o grau de correlação, se positiva ou negativa, entre duas variáveis.

A análise estatística foi desenvolvida com auxílio do programa SAS 9.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade do solo

Os valores da densidade do solo são importantes para inter-relacionar os atributos do solo e seu manejo e para efetuar o cálculo de estoque de carbono no solo (tabela 02). O manejo incorreto de um solo pode provocar a sua compactação, alterando-se a estruturação e, portanto a densidade.

Tabela 02 – Densidade do solo na profundidade 0-20cm sob Campo Nativo (CN), Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax (FOMc), Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração (FOMr), Reflorestamentos de *Pinus taeda* (RP), Reflorestamento de *Eucalyptus dunnii* (RE) e Reflorestamento de *Araucária angustifolia* (RA).

Profundidade	CN	FOMc	FOMr	RP	RE	RA
cm	----- g/cm-----					
0-20	1,05	1,13	0,92	1,25	1,15	1,11

Os valores de densidade foram menores na Floresta em Regeneração (FOMr), onde foi observado grande quantidade de matéria orgânica em decomposição em sua superfície. Nos demais usos da terra, a densidade encontrada foi similar ao estudo realizado por Guedes (2005, p.25) em solos do mesmo local.

A densidade do solo não é homogênea e apresenta variabilidade espacial. É um atributo que é afetado pela estrutura do solo, grau de compactação, manejo e tipos de culturas. A maioria das culturas é seriamente afetada quando a densidade do solo ultrapassa 1,5 g/cm, essencialmente por duas razões: primeiro, pela falta de O₂ para a respiração das raízes, devido à baixa porosidade e má drenagem e, segundo, por impedimento mecânico para o crescimento

das raízes, limitando-se a zona de absorção de água e nutrientes (SOUZA, COGO e VIEIRA, 1997).

4.2 Granulometria e Composição Química do Solo

As condições físico – químicas do solo regulam a existência e atividade de microorganismos. Qualquer alteração nessas características modifica o metabolismo global do solo. As interações entre essas condições podem dificultar as interpretações de estudos ecológicos e limitar as extrapolações para outros estudos (SIQUEIRA e FRANCO, 1988, p.30).

Os valores encontrados na análise granulométrica e da composição química do solo foram bastante variáveis (Tabela 03), pois refletem o sistema de uso da terra adotado naquele local.

Tabela 03 – Granulometria e composição química do solo

Uso da Terra	Arg (%)	pH	P	K	Al	Ca	Mg	CTC
			----Mg/dm----	-----Cmol _c /dm-----				
CN ⁽¹⁾	46,87	4,30	2,12	102,08	4,95	1,47	1,05	31,39
FOMc ⁽²⁾	41,54	3,82	3,20	73,41	5,42	2,11	0,82	41,69
FOMr ⁽³⁾	20,75	3,51	5,30	83,87	5,39	1,72	0,44	51,37
RP ⁽⁴⁾	56,29	4,96	3,20	39,54	1,01	3,73	2,21	15,29
RE ⁽⁵⁾	51,31	4,21	3,39	34,79	4,55	1,11	1,14	34,10
RA ⁽⁶⁾	56,33	4,79	1,89	32,50	0,85	3,31	1,95	14,51

⁽¹⁾CN: Campo Nativo. ⁽²⁾FOMc: Floresta Ombrófila Mista Clímax. ⁽³⁾FOMr: Floresta Ombrófila Mista em Regeneração. ⁽⁴⁾RP: Reflorestamento de Pinus. ⁽⁵⁾RE: Reflorestamento de Eucalipto. ⁽⁶⁾RA: Reflorestamento de Araucaria. Média de 12 repetições.

Observa-se de modo geral, que a Floresta em regeneração (FOMr) apresentou os menores valores de argila, pH e magnésio, o maior valor de fósforo (P) e entre os maiores valores de potássio (K), alumínio (Al). Isso pode ser explicado pelo fato da FOMr ser um ecossistema em transição, com solo jovem e com grande quantidade de materiais vegetais sendo depositados pela queda de folhas e galhos e pela morte de outras plantas de ciclo curto.

É importante ressaltar que os valores de pH mostram que os solos analisados, para todos os sistemas de usos da terra, são ácidos, sem diferenças significativas entre esses usos. Carvalho, (2005, p.40) afirma que o pH influencia o tipo de comunidade microbiana que habitará o ambiente, interferindo nos processos biológicos, principalmente nas atividades enzimáticas, que são dependentes do pH. De acordo com Anderson e Domsch (1993); Baretta et al, (2005), o pH ácido favorece a atividade metabólica e facilita a liberação de CO₂ para a atmosfera.

Os resultados químicos no Reflorestamento de *Araucaria* (RA) e Reflorestamento de *Pinus* (RP) mostraram valores baixos para o alumínio (Al), menor capacidade de troca de cátions (CTC) e fósforo (P), apenas no RA. No entanto, as maiores concentrações de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) foram encontrados nesses reflorestamentos que, de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004), são considerados níveis médios e altos, respectivamente.

Foram testados os coeficientes de correlação de Pearson entre as características físicas, químicas e biológicas nos diferentes usos do solo. Esta análise mostrou correlação positiva entre o fósforo (P), potássio (K), alumínio (Al) e a capacidade de troca de cátions (CTC) com o estoque de carbono no solo. Já a argila, pH, Cálcio (Ca) e magnésio (Mg) apresentaram correlação negativa com o estoque de carbono. ($p > 0,05$, tabela 04)

Tabela 04 – Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos do solo analisados.

	pH	P	K	Al	Ca	Mg	CTC	CBM	RBS	qCO ₂	qMic	Ct
Arg	0,73*	-0,20*	-0,45*	-0,60*	0,17*	0,51*	-0,75*	-0,17*	-0,10 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,62*
pH		-0,16*	-0,34*	-0,86*	0,52*	0,68*	-0,88*	-0,20*	-0,09 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,51*
P			0,01 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,28 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,29*	0,06 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,26*
K				0,40*	-0,09 ^{ns}	-0,26*	0,33*	0,22*	-0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,49*
Al					-0,69*	-0,70*	0,81*	-0,16*	-0,02 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,40*
Ca						0,65*	-0,46*	-0,20*	-0,10	-0,06 ^{ns}	-0,16*	-0,14*
Mg							-0,055*	-0,21*	-0,03 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,14*	-0,29*
CTC								0,19*	0,19*	-0,10 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,63*
CBM									-0,10 ^{ns}	-0,14*	0,94*	0,21*
RBS										0,14*	0,07 ^{ns}	0,16*
qCO ₂											-0,14*	-0,03 ^{ns}
qMic												-0,11 ^{ns}

pH = pH em água; Arg = teor de argila; P = fósforo; K = potássio; Al = Alumínio; Ca = teor de cálcio trocável; Mg = teor de magnésio trocável; CTC = capacidade de troca de cátions; CBM = carbono na biomassa microbiana; RBS = Respiração Basal do Solo; qCO₂ = quociente metabólico; qMic = quociente microbiano.

* = significativo (p>0,05)

(ns) = não significativo

4.3 Estoque de Carbono no Solo (Ct)

As substituições de ecossistemas nativos por plantações de árvores causam mudanças em muitos níveis no solo, incluindo alterações na distribuição e crescimento espacial e temporal das raízes no solo, na qualidade da serrapilheira²⁰, na biomassa microbiana do solo e na dinâmica do C orgânico do solo (GUO et al., 2007, p.9).

Os resultados do estoque de carbono no solo de seis sistemas de uso da terra no planalto serrano de SC estão descritas na figura 23.

²⁰ Serrapilheira = camada de folhas, galhos e matéria orgânica morta que cobre o solo.

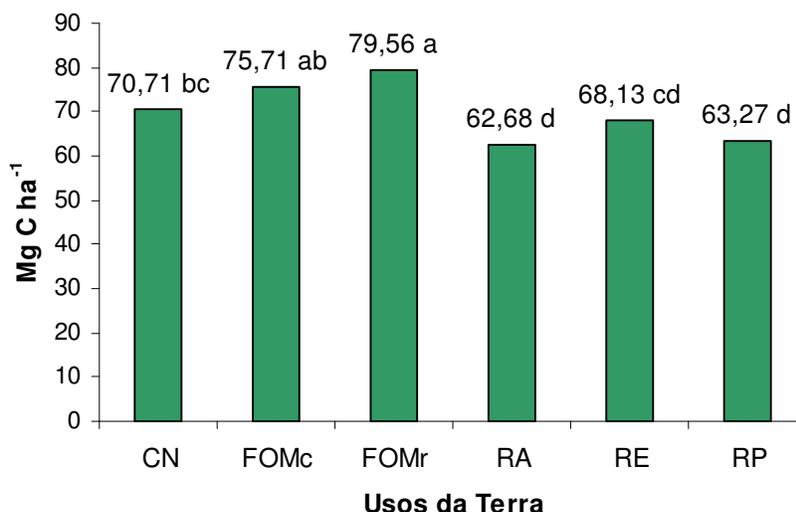


Figura 23 – Estoque de carbono na camada de 0-20cm de profundidade (Ct) em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração(FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP). Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

O estoque de Carbono no solo (Ct) não apresentou diferenças nas Florestas em Regeneração (FOMr) e Clímax (FOMc) (figura 23). Entretanto, as florestas apresentaram um estoque maior do que os reflorestamentos de *Araucaria*, *Eucalipto* e *Pinus*. O Ct na Floresta Clímax (FOMc) e no Campo Nativo (CN) não apresentaram diferenças estatísticas. O Reflorestamento de *Pinus* (RP) e *Araucaria* (RA) apresentaram os menores estoques de carbono entre os sistemas de uso da terra analisados. Entretanto, o reflorestamento de *Eucalipto* (RE) não apresentou diferenças significativas de Ct com relação ao RP, RA e o CN.

A diminuição nas concentrações de carbono no solo devido à mudanças de ecossistemas naturais para sistemas agrícolas ou plantações de árvores já foi relatado em vários trabalhos (JIMÉNEZ et al., 2007; JACKSON et al., 2002; ISLAM; WEIL, 1999).

A diminuição nos estoques de carbono em reflorestamentos de *Araucaria* e *Pinus*, quando comparados a Floresta Nativa de *Araucaria* e Campo Nativo, no mesmo tipo de solo, também foi observado por Souza (2004, p.33), que analisou o solo na profundidade de 0-

10cm e encontrou resultados de 43,6 e 47,6 Mg ha⁻¹ nos reflorestamentos de *Araucaria* e *Pinus* com 12 anos de plantio e de 48,4 e 51,7 Mg ha⁻¹ para o Campo Nativo e para a Floresta Nativa, respectivamente.

Guo e Gifford (2002, p.345) e Guo et al. (2007, p.13) encontraram resultados semelhantes, com reduções nos estoques de carbono no solo de até 20 % para plantações de *Pinus* comparando com estoques de carbono em Florestas nativas e pastagens naturais na Austrália. No entanto, em plantações de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*, citadas por Caldeira et al, (2002, p. 207), plantadas no Paraná, os estoques de carbono no solo aumentaram à medida que a floresta ficou mais velha, ressaltando a importância na manutenção do sistema de uso da terra.

O'Connell e Sankaran (1997) apud Caldeira et al, (2002, p. 207)²¹, definem outros fatores, além da idade, que podem influenciar nos estoques de carbono do solo como baixo nível de nutrientes na serrapilheira, e no solo; condições desfavoráveis para a decomposição como déficit de água, temperaturas muito altas ou baixas, pH alto ou baixo; propriedades físico-químicas da serrapilheira como folhas, conteúdo de substâncias (lignina, celulose, hemicelulose); baixa densidade da população de organismos decompositores, além da estação do ano da coleta. A influência de alguns desses fatores foram destacados pela análise de correlação de Pearson (tabela 04), que mostrou a influência, com exceção dos quocientes metabólicos (qCO_2) e microbiano ($qMic$), dos atributos analisados com a variação no estoque de carbono no solo.

Em monoculturas de *Pinus* na região sul do Brasil, Trevisan et al. (1987), observou um maior acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo em relação às Florestas nativas, devido à dificuldade de decomposição da fitomassa. O acúmulo de carbono no solo depende

²¹ O'CONNEL, A.M.; SANKARAN, K.V. Organic matter accretion, decomposition and mineralisation. IN: NAMBIAR, E.K.S., BROWN, A.G. (eds) **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra, ACIAR Australia/CSIRO, Monograpf, n.43; p.443-480, 571p. 1997.

da quantidade de material orgânico depositado no solo e de sua taxa de decomposição. Sendo assim, em plantações florestais, espera-se que biomassa depositada no solo seja variável no tempo, ao contrário de vegetações já estabelecidas, onde a deposição dessa biomassa tende a ser estável.

Guo e Gifford (2002, p.345) sugerem ainda que as estratégias para a mitigação dos gases do efeito estufa (GEE), devem priorizar ações em florestas nativas e pastagens naturais, que não afetam os estoques de carbono no solo.

Existe uma interação entre o solo e aspectos externos, como as plantas e o clima, o que regula a temperatura e umidade do solo e influencia as taxas de decomposição da matéria orgânica (ROSCOE, BODDEY e SALTON, 2006, p. 23). Em regiões de clima temperado, as alterações na precipitação e na temperatura (tabela 03) influenciam a dinâmica da matéria orgânica no solo, o que pode modificar seus estoques de carbono (Ct). Na figura 24 verifica-se uma flutuação no Ct entre os meses de fevereiro e maio de 2007.

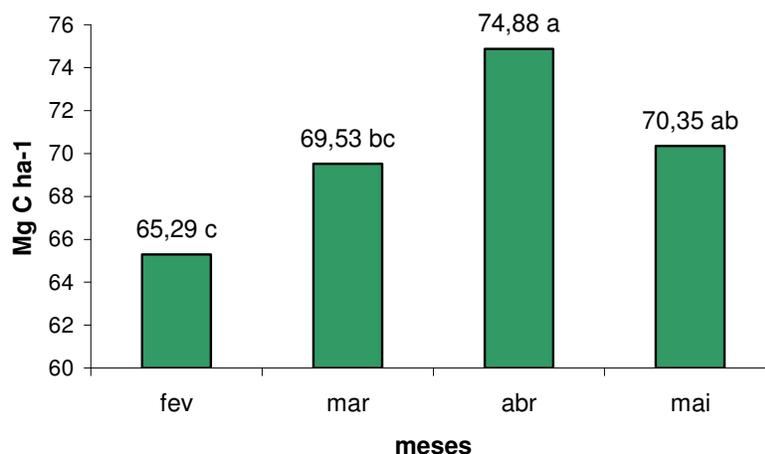


Figura 24 – Estoque de carbono na camada de 0-20cm de profundidade (Ct) entre os meses de fevereiro e maio de 2007 em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração(FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP). Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O estoque de carbono no solo (Ct) entre os meses de fevereiro e maio variou de 65,29 a 74,88 Mg ha⁻¹. O mês de abril apresentou estoques de carbono (Ct) maiores que os meses de fevereiro e março, mas foi semelhante ao mês de maio. Entretanto, os meses de maio e março não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Estudo realizado por Souza (2004, p.33), no mesmo tipo de solo, em sistemas de uso da terra semelhantes, na profundidade de 0-10cm, também observou estoques de carbono maiores nos meses de abril e maio em relação aos meses de fevereiro e março, sendo sua média 51,7 Mg ha⁻¹ e 43,3 Mg ha⁻¹, respectivamente.

A diminuição na temperatura influencia negativamente a decomposição da matéria orgânica que é depositada no solo. Devido a lenta decomposição, as concentrações de carbono nos primeiros 20 cm de profundidade normalmente são maiores (BALBINOT et al., 2003).

É importante ressaltar que este resultado (Figura 24) é a compilação dos valores encontrados nos seis sistemas de uso da terra analisados entre os meses de fevereiro e maio de 2007. Sendo assim, o uso dos resultados como comparativo fica restrito a ecossistemas semelhantes.

A análise de interação dos valores do estoque de carbono (Ct) entre os meses foi significativo pela análise de variância. As flutuações nos resultados do Ct, entre os meses de fevereiro e maio, apresentaram um comportamento diferenciado, de acordo com o tipo de uso da terra (figura 25), o que indica a influência do tipo de vegetação sobre a dinâmica do carbono no solo.

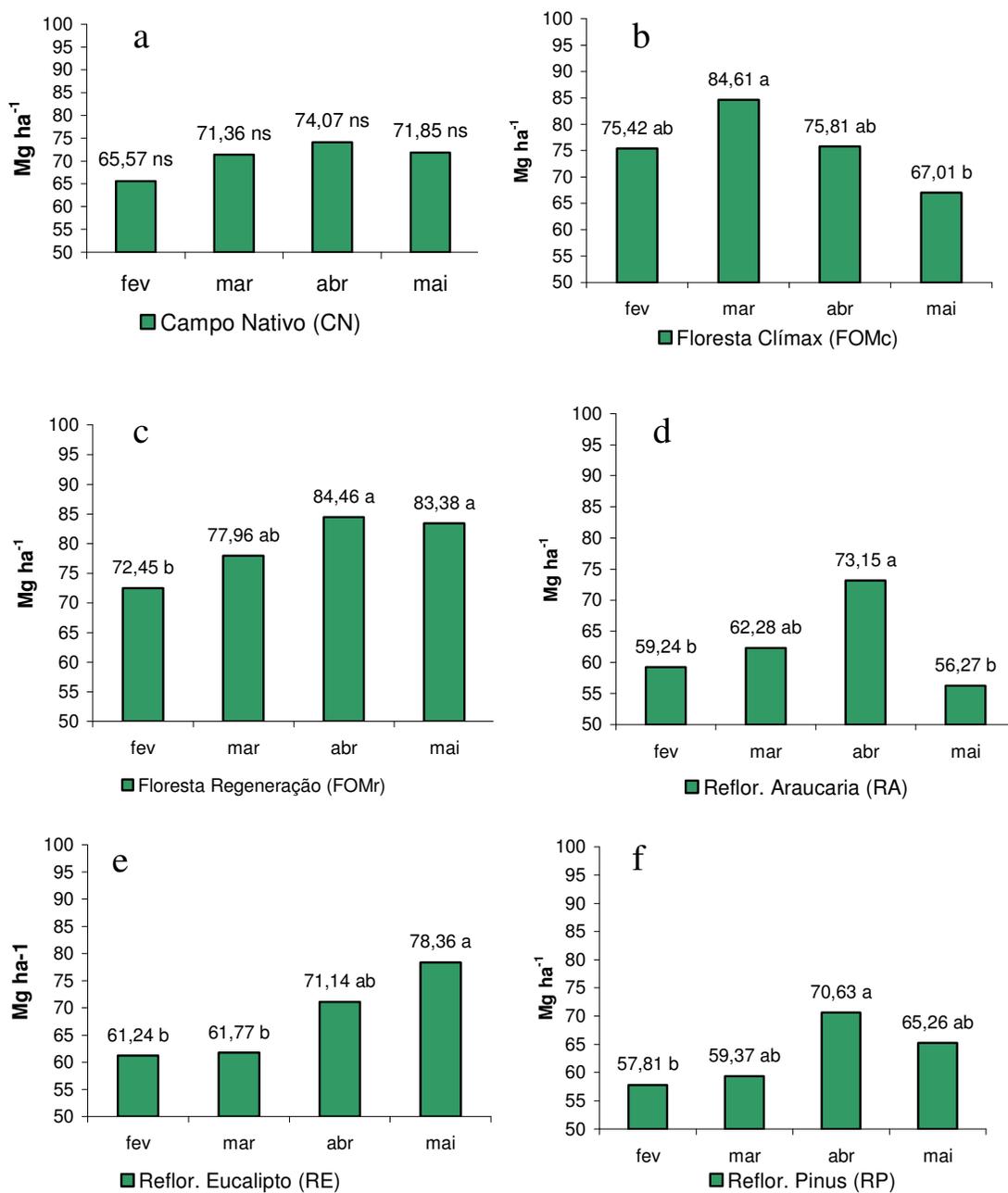


Figura 25 – Interações entre os usos da terra e os meses de coleta sobre o estoque de carbono no solo (Ct): (a) Campo Nativo (CN); (b) Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração (FOMc); (c) Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); (d) Reflorestamento de Araucária (RA); (e) Reflorestamento de Eucalipto (RE) e (f) Reflorestamento de Pinus (RP). Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

As diferenças no estoque de carbono no solo (Ct) no Campo Nativo (CN) não foram significativas entre os meses de fevereiro e maio, o que demonstra uma estabilidade entre as entradas e saídas de carbono nesse ecossistema.

Já na Floresta Clímax (FOMc), o mês de março apresentou estoques de carbono maiores que o mês de maio, mas não diferiu dos meses de fevereiro e abril. Nos meses de fevereiro, abril e maio não houve diferenças significativas. Este resultado pode estar relacionado ao aumento do carbono contido na biomassa microbiana (figura 27) durante os meses de abril e maio.

Na Floresta em Regeneração (FOMr), nos Reflorestamentos de *Pinus* (RP) e *Araucaria* (RA) o Ct foi maior no mês de abril em relação ao mês de fevereiro, no entanto, foram similares aos demais meses, com exceção do RA, onde o mês de maio apresentou os menores Ct, juntamente com fevereiro.

No Reflorestamento de *Eucaliptus* (RE), o estoque de carbono (Ct) foi maior no mês de maio, em relação aos meses de fevereiro e março. No entanto, o mês de abril não apresentou diferenças significativas entre os meses analisados, apresentando resultados de transição entre os meses de menor Ct (fevereiro e março) com o mês de maio, que obteve os maiores Ct.

4.4 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)

O carbono da biomassa microbiana (CBM) representa a parte viva ativa da matéria orgânica do solo e é mais sensível a mudanças na cobertura do solo do que a parte não viva da matéria orgânica. Sendo assim, o CBM tem sido usado como indicador de qualidade do solo,

para detectar essas modificações, antes mesmo que os teores de matéria orgânica sejam alterados significativamente (MATSUOKA, MENDES e LOUREIRO 2003, p.429).

As diferenças do CBM em seis diferentes usos da terra no planalto serrano de Santa Catarina foram avaliadas durante os meses de fevereiro e maio de 2007 e seus resultados estão descritos na figura 26.

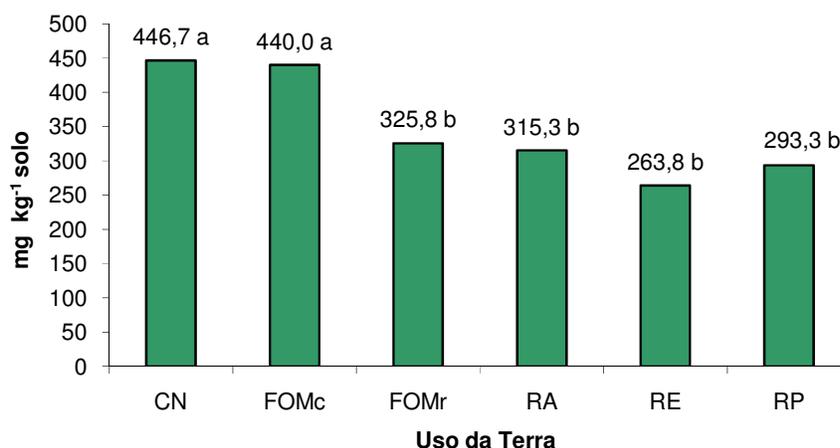


Figura 26 – Carbono na biomassa microbiana (CBM) em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP). Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Os resultados obtidos de Carbono na biomassa microbiana (CBM) não apresentaram diferenças significativas entre o Campo Nativo (CN) com 446,7 mg kg⁻¹ e a Floresta Clímax (FOMc) com 440 mg kg⁻¹. Entretanto, nesses dois sistemas naturais de uso da terra foram observados uma CBM 40%, 68% e 51% maiores em relação aos reflorestamentos de *Araucaria* (RA), *Eucalipto* (RE) e *Pinus* (RP), respectivamente. O CBM na Floresta em Regeneração (FOMr) foi de 325,8 mg kg⁻¹, não apresentando diferenças significativas aos reflorestamentos (RA, RE e RP), mas menores que o CN e a FOMc.

No trabalho realizado por Souza, (2005, p.33), o campo nativo apresentou uma CBM 26% maior que Floresta nativa e 47% maior que os reflorestamentos de *Araucaria* e *Pinus* e

relacionou esses dados a quantidade e qualidade de serapilheira depositada no solo nesses sistemas de uso da terra.

Anderson e Domsh (1986) apud Kandeler e Böhm (1996)²² afirmam que a biomassa pode ser influenciada pelo tempo de duração da cobertura vegetal da área. Portanto, esses resultados podem estar vinculados ao processo de sucessão ecológica. Isto significa dizer que quando uma floresta sofre uma interferência humana, como cultivos agrícolas e implementação de reflorestamentos, a atividade microbiana do solo diminui, tendo efeitos deletérios em seus processos biológicos e que com a estabilização de um sistema de uso da terra, a biomassa tende a aumentar com o tempo.

Kandeler e Böhm (1996) sugerem que o CBM na superfície de usos da terra com preparo reduzido representa um recurso nutricional para as plantas. Esta aração reduzida ainda diminui a dependência do vegetal a fatores como clima, cultivo e mudanças no solo.

A biomassa microbiana tem importante papel no ciclo dos nutrientes do solo, sendo fundamental para a decomposição da matéria orgânica. Os resultados obtidos por Diaz-Raviña, Acea e Carballas (2002), mostraram que os microrganismos no solo contribuem para a disponibilização de nutrientes para as plantas, principalmente o P, K, N e Mg.

A tendência de maiores valores de CBM nos ecossistemas naturais de uso da terra, como no CN e FOMc do que nos usos da terra alterados pela ação humana (RA, RE e RP) também foi encontrado por Matsuoka, Mendes e Loureiro (2003, p.428) que compararam o CBM em culturas nativas perenes e vegetação nativa no estado do Mato Grosso, onde os resultados apontaram reduções de CBM de 61 e 75% nas culturas perenes e anuais, respectivamente, em relação à vegetação nativa.

²² ANDERSON, J.; DOMSCH, K.H. Carbon link between microbial biomass and soil organic matter. In: , **Slovene Society for Microbiology**, Ljubljana, Yugoslavia (1986), p. 476

Costa et al (1995) sugerem que os menores valores de CBM encontrados no RE pode estar relacionado a qualidade da matéria orgânica disponível e a presença de substâncias com atividade antimicrobiana encontradas na necromassa de eucalipto.

O desenvolvimento de microorganismos no solo depende da disponibilidade de matéria orgânica, da precipitação e da temperatura, dentre outros fatores que controlam a dinâmica do carbono no solo (GAMA-RODRIGUEZ, 1999, p.239). Os resultados do carbono na biomassa microbiana (CBM) foram influenciados por esses fatores durante os meses de coleta e estão apresentados na figura 27.

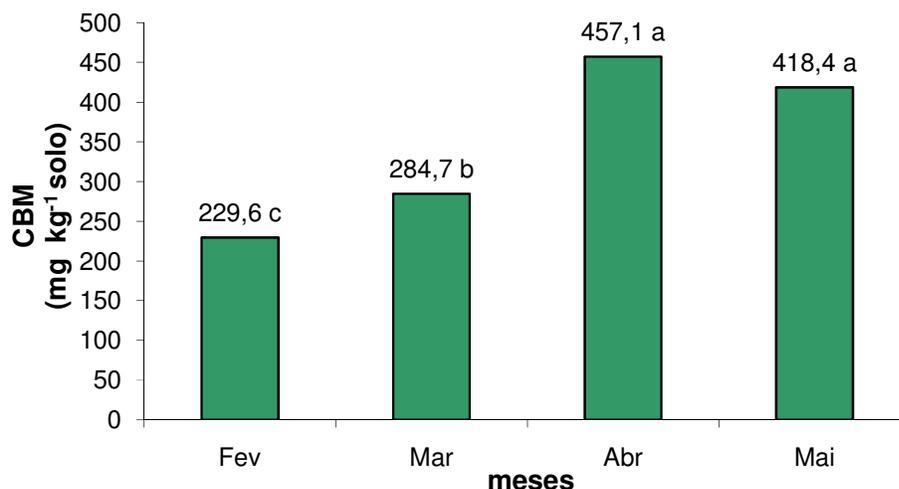


Figura 27 – Carbono na biomassa microbiana (CBM) entre os meses de fevereiro e maio de 2007 em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP). Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O Carbono na biomassa microbiana (CBM) apresentou uma tendência a ser maior nos meses referentes ao outono, sendo 457,1 mg²³ kg⁻¹ solo em abril e 418,4 mg kg⁻¹ solo em maio, não diferindo estatisticamente. O CBM de março foi de 284,7 mg kg⁻¹ solo, acima dos valores encontrados para o mês de fevereiro, que foi de 229,6 mg kg⁻¹ solo.

²³ mg - miligrama

O aumento de CBM durante os meses de outono foram também encontrados por Piao; Hong e Yuan (2000a; 2000b); Souza (2005) e Moscatelli et. Al (2005), que justificam essa diferença devido à variações climáticas como temperatura do solo e precipitação durante o período estudado. A quantidade de biomassa microbiana encontrada no solo em determinado período está relacionada a quantidade de carbono que esta recebe (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002, p.183).

Em florestas de clima temperado, normalmente ocorre um aporte de carbono no solo oriundo da queda das folhas e morte de plantas causadas pela diminuição da temperatura do ambiente durante os períodos mais frios. Assim, parte da decomposição desses materiais é realizada pela atividade de microorganismos no solo, o que estimula seu desenvolvimento e reprodução, aumentando a CBM temporariamente.

Como a decomposição da matéria orgânica depositada sobre o solo, depende do tipo de vegetação que está acima dele, é normal esperarmos um comportamento dos resultados do Carbono na biomassa microbiana (CBM) diferentes para o tipo de uso da terra, ao longo do tempo. Esses valores foram analisados entre os meses de fevereiro e maio de 2007, e seis resultados estão apresentados na figura 28.

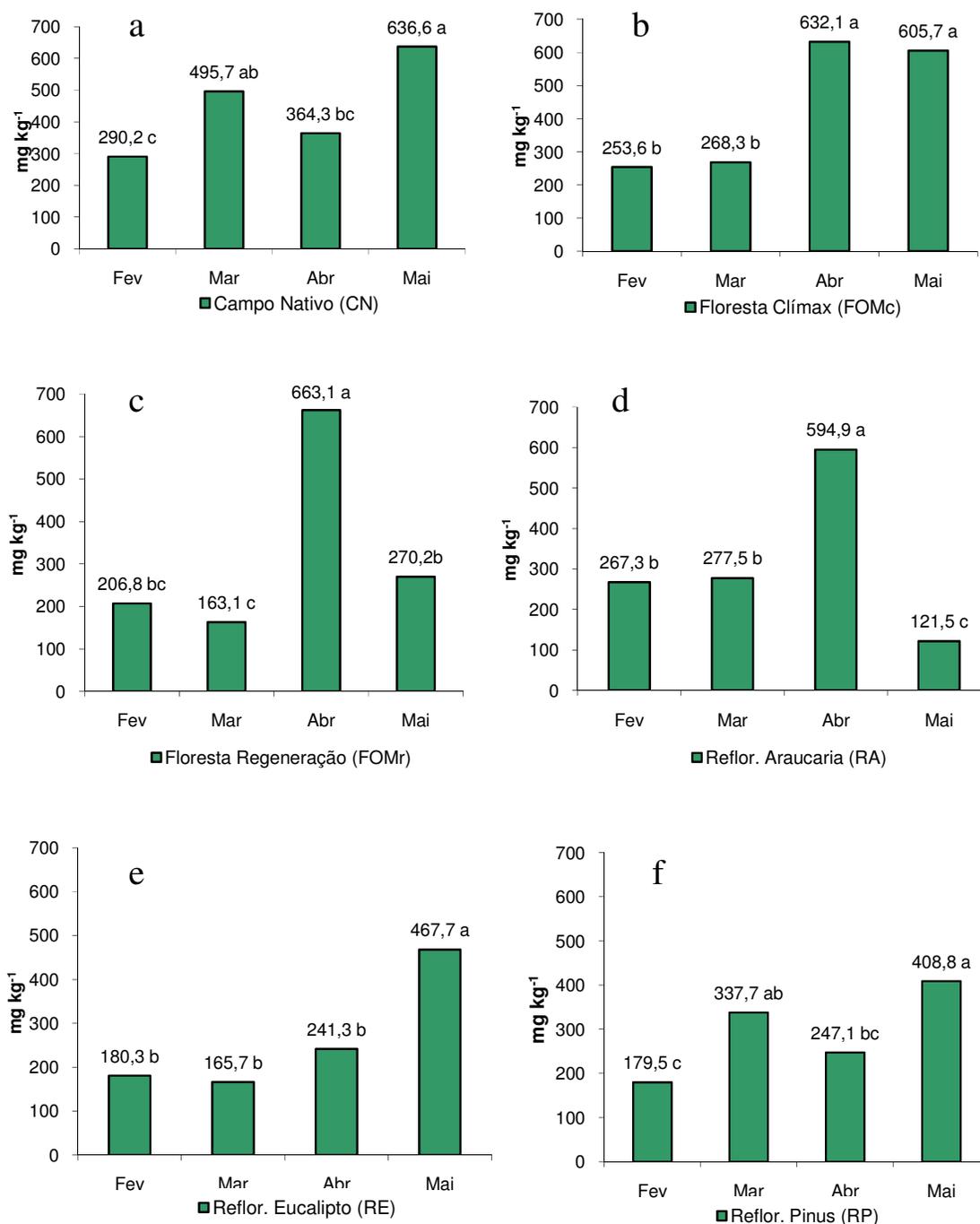


Figura 28 – Interações entre os usos da terra e os meses de coleta sobre o Carbono na biomassa microbiana (CBM): (a) Campo Nativo (CN); (b) Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração (FOMc); (c) Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); (d) Reflorestamento de Araucária (RA); (e) Reflorestamento de Eucalipto (RE) e (f) Reflorestamento de Pinus (RP). Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O CBM no Campo Nativo (CN) (figura 28a) apresentou comportamento igual ao Reflorestamento de Pinus (RP) (figura 28f), onde o mês de maio obteve as maiores taxas de CBM, porém, foi estatisticamente semelhante ao mês de março. Isso significa que, mesmo sendo uma floresta, o reflorestamento de *Pinus* responde, a nível biológico do solo, as mudanças no clima de maneira igual ao campo. Entretanto, os resultados do RP foram, em média, 35% menores que os encontrados no CN. Em contraposição a esses resultados, Baretta et al. (2005, p.718), analisando solos na região de Lages – SC, não observou diferenças de CBM entre o CN e o RP.

Resultados menores de CBM no RP são atribuídos à qualidade do material depositado no solo e a uma baixa diversidade microbiana. Altas concentrações de fenóis e outros produtos bioquímicos no solo em reflorestamentos de *Pinus* inibem o crescimento e atividade microbiana (NSABIMANA; HAYNES e WALLIS, 2004, p.88). Na Floresta Clímax (FOMc) (figura 28b) os valores encontrados em abril e maio foram maiores em relação à fevereiro e março, acompanhando a tendência geral dos usos da terra, abordados na figura 25.

O mês de abril obteve os maiores índices de CBM na Floresta em Regeneração (FOMr) (figura 28c) e no Reflorestamento de Araucaria (RA) (figura 28d), no entanto, a menor CBM na FOMr foi no mês de março e no RA foi no mês de maio.

No Reflorestamento de Eucalipto (RE) (figura 28f), o mês de maio obteve os maiores valores de CBM, enquanto os meses de fevereiro, março e abril não diferiram estatisticamente.

O sistema de uso da terra afeta, de forma diferenciada, a biomassa microbiana, o que pode intensificar ou retardar processos de decomposição (ROSCOE et al. 2006, p. 165). Resultados de CBM maiores em abril, na FOMc e no RA, podem estar relacionados a uma biomassa mais equilibrada e mais eficiente nesses ecossistemas de plantas nativas. Já o RE e o

RP, que utilizam plantas exóticas, apresentaram seus maiores valores em maio, o que indica um retardamento na decomposição da matéria orgânica do solo pelos microorganismos.

4.5 Quociente Microbiano (qMic)

De acordo com Anderson e Domsch (1989), um maior qMic representa maior ciclagem de nutrientes e menor acúmulo de carbono; enquanto que um menor qMic representa menor ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, maior acúmulo de carbono. Além disso, os maiores valores indicam maior conversão do carbono orgânico em carbono da biomassa microbiana (CBM).

Os resultados do Quociente microbiano (*qMic*) foram maiores no Campo Nativo (CN), na Floresta Clímax (FOMc), no Reflorestamento de Pinus (RP) e não diferiram dos resultados do Reflorestamento de Araucaria (RA) (figura 30). No entanto, o RA apresentou comportamento semelhante ao Reflorestamento de Eucalipto (RE) e foi superior à Floresta em Regeneração (FOMr). Por sua vez, a FOMr apresentou comportamento similar a RE.

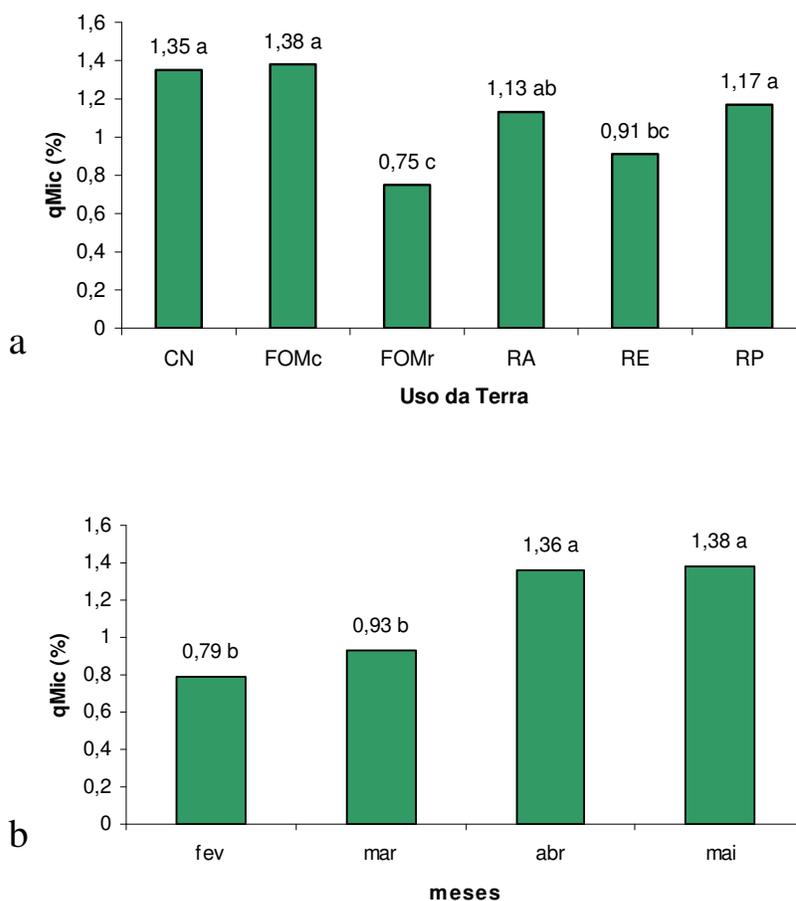


Figura 29 – Quociente Microbiano (%) (a) em seis tipos de cobertura vegetal: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP) e durante (b) os meses de fevereiro, março, abril e maio. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Comparando reflorestamento de Pinus, Campo Nativo e Mata Nativa na região de Lages – SC, Baretta, et al. (2005, p.719), encontrou um $qMic$ maior na mata nativa em relação aos demais sistemas estudados. No entanto, o Campo Nativo e o Reflorestamento de Pinus apresentaram resultados similares.

De maneira geral, os resultados do quociente microbiano ($qMic$) apresentados ficaram dentro dos valores de 0,27 e 7%, sugeridos por Anderson e Domsch (1989). O $qMic$ aumenta ao longo do tempo com a entrada de matéria orgânica no solo e diminui com sua saída.

O cálculo do q_{Mic} permite acompanhar, de forma mais rápida, as perturbações sofridas pelo desequilíbrio ecológico e variações no total de matéria orgânica, ocasionados pelo manejo do solo, pois reage com maior rapidez que os parâmetros físico-químicos (CATTELAN e VIDOR, 1990b).

A entrada de matéria orgânica no solo pode explicar o aumento do q_{Mic} nos meses de abril e maio, que foram de 1,36 e 1,38% maiores, respectivamente, devido ao incremento de materiais vegetais advindos da queda e morte de vegetais devido à diminuição da temperatura.

4.6 Respiração Basal do Solo (RBS)

A Respiração Basal do Solo (RBS) reflete a atividade metabólica do solo, pois as células vivas precisam de constante suplemento de energia, que deriva da transformação de materiais orgânicos. Esses processos metabólicos dos microorganismos do solo são quantificados pela produção de CO_2 e podem fornecer informações auxiliares na avaliação de ambiente submetidos a perturbações (ALEF e NANNIPIERI, 1995, p.214).

As taxas de Respiração Basal do Solo (RBS) refletem o sistema de uso da terra empregado, aumentando ou diminuindo os estoques de carbono (D'ANDRÉA et al. 2006, p. 224). Os resultados da RBS nos diferentes sistemas de uso da terra no planalto serrano de Santa Catarina apresentaram diferenças nos efluxos de CO_2 para a atmosfera (figura 31).

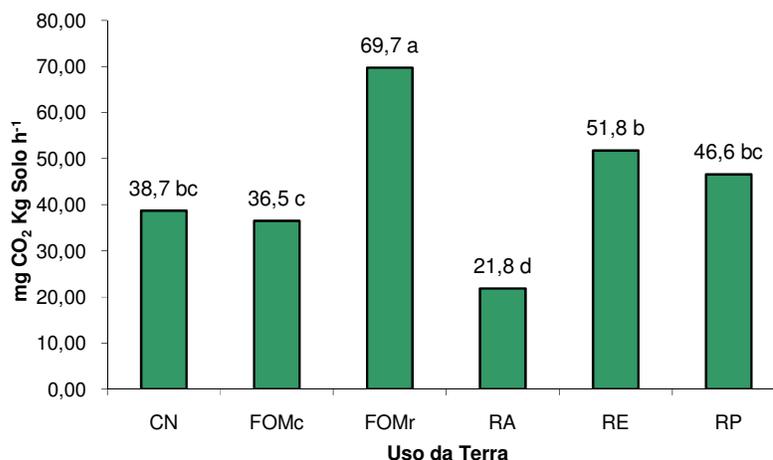


Figura 30 – Respiração Basal do Solo (RBS) em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP). Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A Floresta em Regeneração (FOMr) apresentou os maiores resultados para a Respiração Basal do Solo (RBS), quando comparados aos demais sistemas de usos da terra analisados.

As coletas de solo na FOMr sucederam à floração e final de ciclo de uma espécie de bambu (*Olyra taquara*), presente em grande quantidade neste fragmento. Os maiores valores de RBS encontrados na FOMr podem ter ocorrido devido ao incremento de matéria orgânica no solo, advindo do final do ciclo dessa espécie. Lorens et al. (2001), afirmam que a decomposição da matéria orgânica aumenta a taxa de RBS. Além disso, a FOMr é uma vegetação recente, em regeneração, isso significa que as mudanças sucessionais promovem maior deposição de matéria orgânica no local. Além do mais, os baixos teores de argila na FOMr (tabela 03) podem auxiliar no aumento da taxa de Respiração Basal do Solo.

O menor valor de Respiração Basal do Solo (RBS) foi encontrado no Reflorestamento de Araucária (RA). Este fato pode estar relacionado ao alto teor de argila e compactação do

solo do local. Wang et al. (2003), afirma que a RBS é dependente do substrato lábil²⁴ do carbono orgânico do solo e que a argila tem efeito protetor na mineralização do carbono. Isso sugere que a argila protege a matéria orgânica da decomposição do solo.

A atividade microbiana pode ser uma característica importante quando se considera que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para as plantas. No entanto, uma alta Respiração Basal do Solo (RBS) pode liberar o carbono contido na matéria orgânica estável e comprometer os processos químicos e físicos do solo, como a agregação de partículas e retenção de água e nutrientes. Portanto, uma alta RBS pode significar tanto um distúrbio como um alto nível de produtividade, dependendo da análise de cada caso (ROSCOE et al. 2006, p. 165).

Os Reflorestamentos de Eucalipto (RE) e Pinus (RP) apresentaram resultados de 51,8 e 46,6 mg²⁵ CO₂ kg Solo h⁻¹, respectivamente, superiores aos valores encontrados no Campo Nativo (CN) e na Floresta Clímax (FOMc) com 36,7 e 36,5 mg CO₂ kg Solo h⁻¹, respectivamente.

O Campo Nativo (CN) e a Floresta Clímax (FOMc) apresentaram baixos valores de RBS e altos índices de Carbono na Biomassa Microbiana (Figura 25), o que significa que estes sistemas perdem menos carbono na forma de CO₂, incorporando carbono à biomassa microbiana, sugerindo que essas comunidades estão em estágio mais avançado de sucessão (INSAM e DOMSCH (1988) apud CARVALHO, 2005)²⁶.

Quando um sistema estável (solo + cobertura vegetal) é perturbado pela ação antrópica, ele tende a perder mais carbono pela respiração, proveniente da decomposição da matéria orgânica via hidrólise microbiana. A lixiviação e a erosão hídrica também contribuem

²⁴ Substrato lábil – camada de nutrientes de fácil utilização pelas plantas

²⁵ mg - miligrama

²⁶ INSAM, H.; DOMSCH, K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, New York, v. 5, p.177-188, 1988

para as perdas de carbono, no entanto, em solos subtropicais sua magnitude é menor (BAYER e MIELNICZUK, 1999, p.16).

Os principais fatores que afetam a respiração do solo são a temperatura (do ar e do solo) e a umidade (D'ANDRÉA et al. 2006, p. 204). Janssens et al. (2001)²⁷ apud D'Andréa et al. (2006) verificaram que 80% das variações temporais nos efluxos de CO₂ foram explicadas por mudanças na temperatura.

Visto que as alterações no clima de florestas temperadas são intensas, foi analisado a Respiração Basal do Solo (RBS) nos meses de fevereiro e março, que são meses com temperaturas mais quentes e nos meses de abril e maio, período com início na queda da temperatura (figura 32).

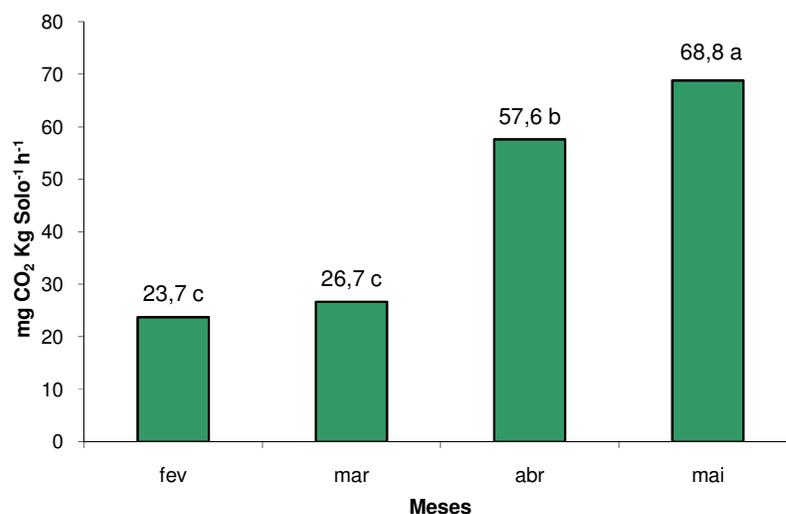


Figura 31 – Respiração Basal do solo (RBS) entre os meses de fevereiro e maio de 2007 em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração(FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP). Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

²⁷ JANSSENS, I.A.; KOWALSKI, A.S.; CELEUMANS, R.. Forest floor CO₂ fluxes estimated by eddy covariance and chamber-based model. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.106, p.63-69, 2001.

A Respiração Basal do Solo (RBS) entre os meses de fevereiro e maio foi maior nos meses de abril e maio. Maio apresentou os maiores valores de RBS com uma evolução de 68,8 mg CO₂⁻¹ kg Solo h⁻¹, acima dos resultados de abril, que foram de 57,6 mg CO₂⁻¹ kg Solo h⁻¹. Nos meses referentes de fevereiro e março, não houve diferenças entre os resultados. No entanto, as taxas de RBS foram significativamente menores que os meses de abril e maio, com RBS de 23,7 mg CO₂ kg Solo h⁻¹ no mês de fevereiro e 26,7 mg CO₂ kg Solo h⁻¹ no mês de março. Estes resultados podem estar relacionados ao aumento de materiais orgânicos oriundos da queda e morte de vegetais devido à diminuição da temperatura. Cattelan e Vidor (1990a) correlacionaram a atividade microbiana com variações ambientais e encontraram taxas de RBS maiores em temperaturas mais amenas e de melhor disponibilidade hídrica.

O trabalho desenvolvido por Vanhala (2002, p.1377), em florestas de coníferas, apresentou taxas de RBS maiores durante o outono em relação à primavera e verão, devido, principalmente, a presença no solo de compostos de carbono de fácil utilização, após um período de congelamento.

Entretanto, Souza (2004,); Lira et al. (1999), determinando a Respiração Basal do Solo com o uso de armadilhas diretamente a campo, em áreas nativas e reflorestamentos, encontraram resultados diferentes, com taxas de RBS maiores nos meses referentes ao verão em relação ao meses de outono.

D'andréa, et al. (2006, p.207) citam inúmeros trabalhos em que a respiração do solo é afetada por variações ambientais, tais como, temperatura, umidade do solo, taxas de evaporação e atributos químicos e físicos do solo e destacam a necessidade de um monitoramento mais constante dos fluxos de CO₂ do solo.

Os resultados obtidos nesse trabalho refletem um aumento nas taxas de Respiração Basal do Solo (RBS) nos meses mais frios (abril e maio). No entanto, esse comportamento

não foi igual em todos os usos da terra, apresentando interações entre os meses analisados (figura 33).

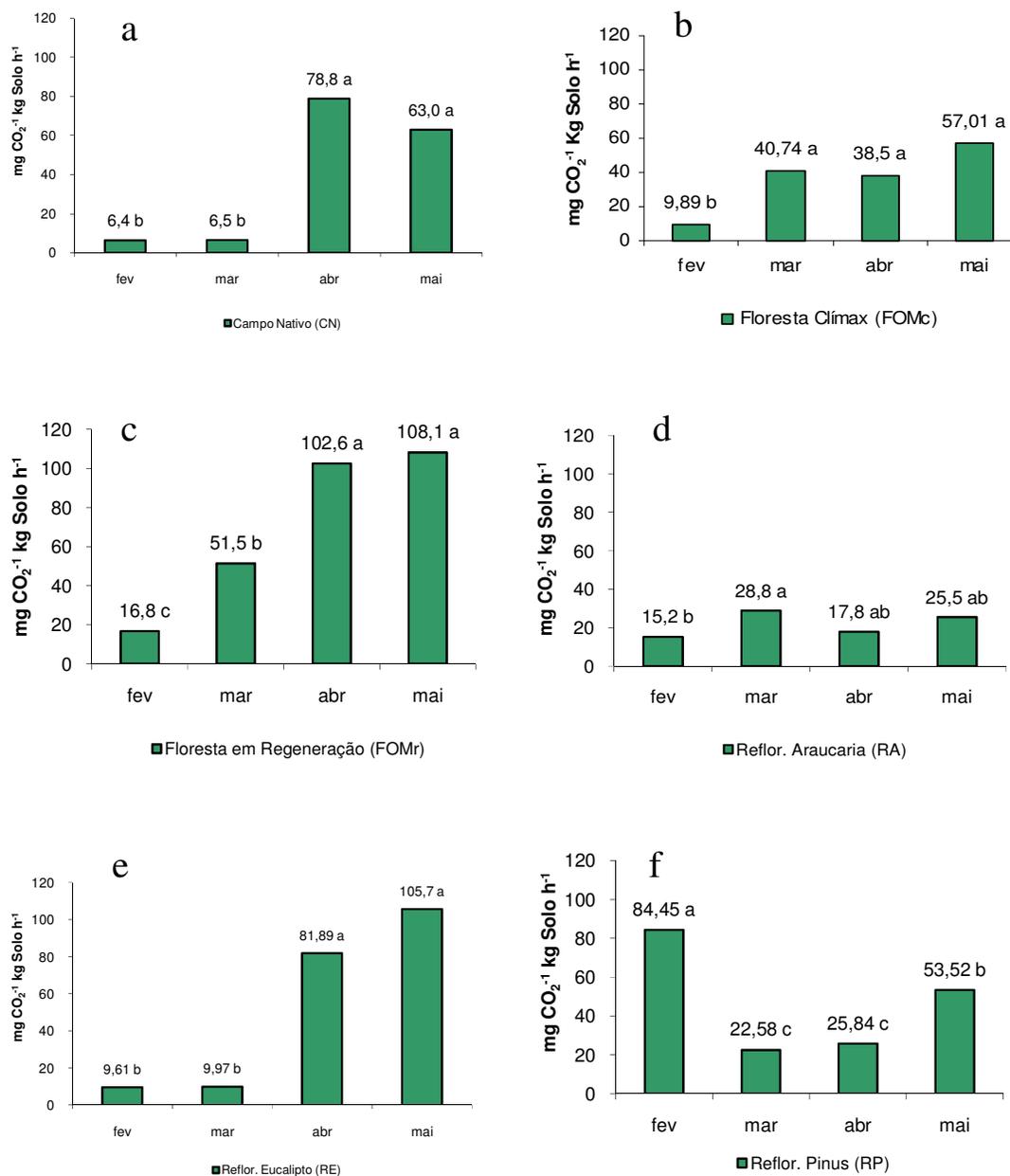


Figura 32 – Respiração Basal do Solo (RBS) e sua variação entre os meses de fevereiro e maio em seis tipos de uso do terra: (a) Campo Nativo (CN); (b) Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração(FOMc); (c) Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); (d) Reflorestamento de Araucária (RA); (e) Reflorestamento de Eucalipto (RE) e (f) Reflorestamento de Pinus (RP). Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O Campo Nativo (CN) (figura 33a) e o Reflorestamento de Eucalipto (RE) (figura 33e) apresentaram maior taxa de RBS durante os meses de abril e maio e menor nos meses de fevereiro e março.

Na Floresta Clímax (FOMc) (figura 33b) foi obtida uma maior RBS durante os meses de março, abril e maio, que não diferiram entre si. Enquanto no mês de fevereiro foi obtido o menor valor de RBS.

Na Floresta em Regeneração (FOMr) (figura 33c), a RBS foi maior nos meses de abril e maio do que nos meses de fevereiro e março. Entretanto, durante o mês de março ocorreu um aumento da RBS em relação a fevereiro, principalmente devido ao incremento de matéria orgânica do solo, conforme discutido anteriormente.

No Reflorestamento de Araucaria (RA) (figura 33d), durante o mês de março foi obtida uma maior RBS do que a obtida em fevereiro, entretanto os resultados não diferiram nos meses de abril e maio. De modo geral, a FOMc e o RA apresentaram as menores diferenças entre os resultados da RBS nos meses de fevereiro à maio. Isto pode estar relacionado ao efeito protetor que um sistema de uso da terra com árvores nativas pode exercer sobre o solo, diminuindo suas variações de temperatura e umidade e garantindo uma ciclagem de nutrientes mais equilibrada (D'ANDRÉA, et al. 2006, p.225).

O Reflorestamento de Pinus (RP) (figura 33f) apresentou maior taxa de RBS no mês de fevereiro em relação aos outros meses. Entretanto, o mês de maio obteve maior RBS do que março e abril, que não diferiram entre si. Souza (2004, p.26), encontrou resultados similares em reflorestamentos de Pinus com 12 e 20 anos de idade, com aumento na evolução de CO₂ no mês de janeiro e posterior diminuição nas taxas de RBS.

A atividade microbiana do solo é regulada, entre outros fatores, pela qualidade do material orgânico que constitui a serrapilheira (MIELNICZUK, 1999). As taxas de

decomposição das acículas do *Pinus* são menores, acumulando substâncias antimicrobianas no solo o que diminui a atividade e diversidade dos microorganismos. Essa alteração na microbiota do solo interfere diretamente os efluxos de CO₂, o que poderia explicar o comportamento diferenciado do RP em relação aos demais usos da terra.

4.7 Quociente Metabólico do Solo (qCO₂)

De acordo com Mariani et al. (2006, p.1735), o quociente metabólico pode ser usado para avaliar a eficiência dos microorganismos do solo em utilizar os substratos de carbono oriundos da matéria orgânica, e é um importante indicador da sustentabilidade e da produtividade do solo.

Anderson e Domsch (1985) comentam que o qCO₂ prediz que, à medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente em utilizar os recursos do meio, menos carbono é perdido como CO₂ pela respiração. Portanto, um maior qCO₂ indica uma maior perda de carbono do solo e reflete em uma maior demanda de energia para a manutenção da comunidade microbiana.

O qCO₂ é um índice que combina o carbono da biomassa microbiana(CBM) com as taxas de respiração basal do solo (RBS). Os resultados desse indicador mostraram que as maiores perdas de carbono aconteceram nos sistemas de uso da terra com certo grau de interferência humana (Floresta em regeneração (FOMr); Reflorestamentos de *Pinus* (RP) e *Eucalyptus*(RP)), com exceção do reflorestamento de *Araucaria*, que obteve um qCO₂ menor, devido, principalmente, às menores taxas na respiração basal do solo (RBS), influenciadas pela teor de argila no solo (figura 34a).

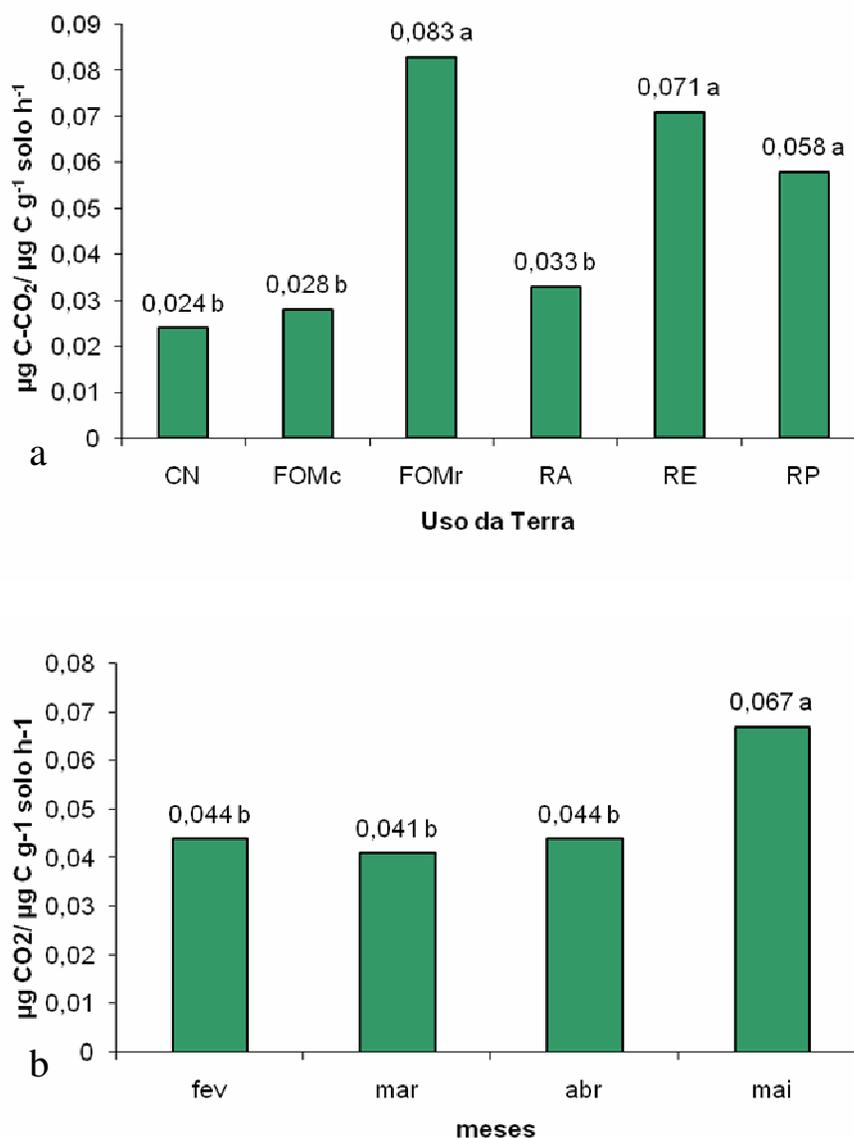


Figura 33 – Quociente Metabólico (%) em seis tipos de cobertura vegetal **(a)**: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP) e durante **(b)** os meses de fevereiro, março, abril e maio. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Resultados similares foram encontrados por Baretta et al. (2005, p.720), onde o Campo Nativo e a Floresta Nativa apresentaram taxas de qCO₂ menores que o reflorestamento de Pinus.

Conforme Nsabimana; Haynes e Wallis (2004, p.88), o qCO₂ é considerado um indicador do stress microbiano e taxas maiores indicam desequilíbrio no metabolismo do solo.

Sendo assim, os menores resultados de qCO_2 encontrados no Campo Nativo (CN) e a Floresta Clímax (FOMc) apresentados na figura 33a, indicam que esses sistemas de uso da terra com menor interferência humana, apresentam menor perda de CO_2 para a atmosfera. Portanto, sua biomassa é mais “eficiente” na ciclagem de nutrientes e armazenamento de carbono. Enquanto os resultados dos reflorestamentos de Eucalipto (RE) e Pinus (RP) e a Floresta em Regeneração (FOMr) sugerem que esses sistemas não estão em equilíbrio, perdendo mais CO_2 para a atmosfera.

Isto está de acordo com Baretta et al. (2005, p.720), que afirma que o Campo Nativo e a Floresta Nativa Clímax são sistemas mais conservativos, com menores perdas de carbono e de maior sustentabilidade.

Moreira e Siqueira (2002, p.186), analisando diversos artigos sobre a atividade metabólica do solo, concluíram que a população microbiana de solos de monoculturas tem necessidade energética mais elevada para sua manutenção, ao contrário do observado em solos sob rotação de culturas e vegetação nativa.

Os maiores valores da respiração basal do solo (RBS) no mês de maio também aumentaram as taxas de qCO_2 , que foram maiores em maio em relação aos demais meses (figura 33b).

Os coeficientes de correlação de Pearson apresentam correlação negativa entre o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o quociente metabólico (qCO_2) ($r = -0,14$; tabela 04), isto é, conforme o CBM aumenta, as taxas de qCO_2 tendem a diminuir. Em contrapartida, a respiração basal do solo (RBS) apresentou correlação positiva em relação ao qCO_2 ($r = 0,14$; tabela 04), isto significa que uma maior RBS também aumenta as taxas de qCO_2 .

4.8 Análise Interpretativa dos Dados

Os estoques de carbono no solo são influenciados pelas características físicas, químicas e biológicas da vegetação, bem como as atividades metabólicas do solo.

Roscoe et al (2006, p.178) dizem que a biomassa microbiana (BM), a respiração basal do solo (RBS), e seus índices derivados como o quociente microbiano (q_{Mic}) e o quociente metabólico (q_{CO_2}) são determinações importantes no estudo da dinâmica e do comportamento da matéria orgânica no solo e que o entendimento desses processos são fundamentais na busca de indicadores de qualidade do solo.

Com este estudo é possível determinar o estoque de carbono em cada sistema de uso da terra e evidenciar se o sistema está emitindo ou fixando carbono da atmosfera. No entanto, não é possível determinar o montante.

De maneira geral, os ecossistemas naturais pesquisados (campo nativo (CN) e Floresta Ombrófila Mista em estágio Clímax (FOMc) demonstraram resultados de CBM, RBS, q_{Mic} e Q_{CO_2} melhores em relação aos demais usos da terra (Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de Regeneração (FOMr); Reflorestamentos de *Araucaria* (RA), *Eucalyptus* (RE) e *Pinus* (RP)) (Figura 34).

Os resultados encontrados no Campo Nativo (CN) e a Floresta Ombrófila Mista em estágio Clímax (FOMc) sugerem que esses dois ecossistemas possuem a melhor capacidade de armazenar carbono no solo, entre todos os sistemas de uso da terra analisados. Entre seus resultados, o CN e a FOMc estão entre os melhores valores de estoque de carbono no solo encontrados, mostrando sua capacidade de manutenção do conteúdo orgânico do solo. Apresentaram os maiores índices de carbono na biomassa microbiana, baixas taxas de respiração basal do solo e entre os maiores índices de quociente microbiano e menores

quocientes metabólicos. Isto significa que nesses ecossistemas há uma biomassa mais eficiente, promovendo um melhor equilíbrio entre as entradas e saídas de carbono no solo (figura 34).

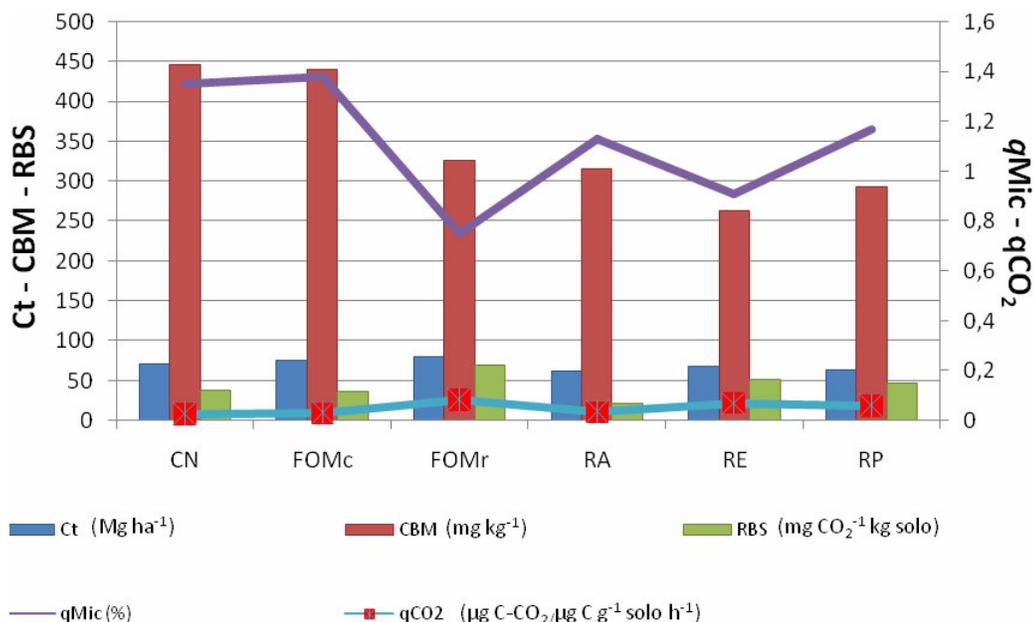


Figura 34 – Análise comparativa dos dados de estoque de carbono no solo (Ct); carbono na biomassa microbiana (CBM); quociente microbiano ($qMic$); respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2) em seis diferentes usos da terra: Campo Nativo (CN); Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax de regeneração (FOMc); Floresta Ombrófila Mista em estágio médio de regeneração (FOMr); Reflorestamento de Araucária (RA); Reflorestamento de Eucalipto (RE) e Reflorestamento de Pinus (RP).

Os resultados encontrados na Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração (FOMr) demonstraram um ambiente em transição. O maior estoque de carbono nesse ecossistema é devido ao grande acúmulo de matéria orgânica oriundo do acréscimo de materiais vegetais. Baixas taxas de carbono na biomassa microbiana (CBM); altos índices de respiração basal do solo (RBS); menor quociente microbiano ($qMic$) e maior quociente metabólico (qCO_2) demonstrando um ambiente em desequilíbrio emitindo muito carbono para a atmosfera e armazenando pequena quantidade no solo. Esses índices indicam um ambiente sob forte estresse metabólico (figura 35).

Os resultados obtidos nos reflorestamentos de *Araucaria* (RA), *Eucalyptus* (RE) e *Pinus* (RP) mostraram diferenças entre si. O estoque de carbono do solo (Ct) e o carbono na biomassa microbiana (CBM) dos reflorestamentos foram menores que os ecossistemas nativos, mas mantiveram-se semelhantes entre si. No entanto, analisando as emissões de CO₂ através da respiração basal do solo (RBS), podemos perceber que o RA perde menos CO₂ do que o RE e o RP. É importante ressaltar que a espécie utilizada nesse reflorestamento (*Araucaria angustifolia*) é nativa dessa região da Mata Atlântica e que no RA houve menor interferência humana, entre os reflorestamentos, visto que desde o plantio até a data das coletas não ocorreram desbastes.

O quociente microbiano (*qMic*) dos reflorestamentos de *Araucaria* (RA) e *Pinus* (RP) indicam que estes sistemas de uso da terra possuem uma boa capacidade de utilização do carbono advindo da decomposição da matéria orgânica. No entanto, o alto índice do quociente metabólico (*qCO₂*) no RP sugere uma perda maior de carbono pela respiração.

No reflorestamento de *Eucalyptus* (RE), os baixos índices de *qMic* e maiores taxas de *qCO₂* implicam em um ambiente com dificuldades de utilização da matéria orgânica e com menor capacidade de fixação do carbono no solo.

5. CONCLUSÕES

A composição química do solo varia de acordo com o sistema de uso da terra, refletindo a interferência do tipo de manejo nas características do solo.

Os maiores estoques de carbono no solo foram encontrados na Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de Regeneração (FOMr). No entanto, um menor quociente microbiano ($qMic$), maior Respiração Basal do Solo (RBS) e maior quociente metabólico (qCO_2), neste sistema de uso da terra, mostram um ambiente instável, com maiores perdas de CO_2 para a atmosfera.

A Floresta Ombrófila Mista em estágio Clímax (FOMc) e o Campo Nativo (CN) também apresentaram estoques altos de carbono, devido, principalmente, ao maior aporte de matéria orgânica no solo.

Os teores de Carbono na Biomassa Microbiana (CBM) no Campo Nativo (CN) e Floresta Ombrófila Mista em estágio Clímax (FOMc), foram 36%, 40%, 68% e 51% maiores em relação à Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração (FOMr) e aos reflorestamentos de *Araucaria* (RA), *Eucalipto* (RE) e *Pinus* (RP), respectivamente, mostrando que ambientes naturais com pouca interferência, possuem maior capacidade de ciclagem de nutrientes e preservação da biomassa microbiana.

O $qMic$ demonstrou que a capacidade de utilizar o carbono contido na matéria orgânica do solo foi maior na Floresta Ombrófila Mista em estágio Clímax (FOMc), no Campo Nativo (CN) e nos reflorestamentos de *Pinus* (RP) e *Araucaria* (RA).

De acordo com os resultados da Respiração Basal do Solo (RBS), os maiores emissões de CO_2 para a atmosfera foram encontrados na Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado

de Regeneração (FOMr) devido, principalmente, a maior quantidade de substrato para o desenvolvimento de microrganismos, refletindo diretamente na produção de CO₂.

O quociente metabólico (qCO₂) indicou a Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração (FOMr) e os reflorestamentos de *Eucalyptus* (RE) e *Pinus* (RP) como sistemas de uso da terra em desequilíbrio, emitindo duas vezes mais CO₂ para a atmosfera. Em contrapartida, o Campo Nativo (CN), a Floresta Ombrófila Mista em estágio Clímax (FOMc) e o Reflorestamento de *Araucaria* (RA) apresentaram um qCO₂ menor, sugerindo sistemas mais equilibrados.

De maneira geral, os resultados mostraram variação sazonal e indicam que durante o início do outono, com a diminuição da temperatura, a atividade metabólica do solo aumenta, estando sujeito a um maior ou menor aporte de carbono.

É importante ressaltar que os sistemas de uso da terra variaram diferentemente, em relação aos parâmetros analisados, entre os meses de fevereiro e maio de 2007. Esse resultado mostra a influência da cobertura vegetal nas condições físicas, químicas e biológicas do solo e suas alterações ao longo do tempo e devem ser consideradas em projetos que visem a manutenção ou incremento de carbono em ecossistemas naturais ou modificados.

A avaliação de qualidade ambiental exige uma ampla visão sobre as condições bióticas e abióticas que influenciam os parâmetros analisados. Sendo assim, os estudos podem divergir de maneira significativa em seus resultados e refletir uma qualidade pontual. Portanto, as conclusões apresentadas são parciais, e novas pesquisas são necessárias para um melhor esclarecimento dos resultados.

Os resultados obtidos na pesquisa sugerem que as mudanças no estoques de carbono no solo sejam incorporados aos projetos de redução de gases do efeito estufa (GEE) e que novas pesquisas estimem esse montante. Além disso, há necessidade de padronização e criação de indicadores que quantifiquem a dinâmica do carbono no solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBIENTE BRASIL. **Ciclo do Carbono.** Disponível em: <www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./agropecuario/index.html&conteudo=./agropecuario/artigos/ciclocarbono.html>. Acesso em: 15 set. 2005.

ALEF, K. Soil Respiration. In: ALEF, K. e NANNIPIERI, P. (ed.). **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry.** London: Academic Press, 1995. p.214-219.

AMBIENTE BRASIL. **Florestas "maduras" mantêm atividade de troca de carbono.** Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/noticias/index.php3?action=ler&id=28164>>. Acesso em: 24 dez. 2007.

ANDERSON, J. P.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biol. Fertil. Soils**, v. 1, p. 81-89, 1985.

_____. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.21, n.4, p.471-479, 1989.

_____. Application of eco-physiological quociente (qCO_2 and Dq) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biol. Biochemistry**, 22: 251-255, 1990.

_____. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, 25: 393-395, 1993.

BALBINOT, R.; SCHUMACKER, M.V.; WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, Vol. 5, nº 1, p.59-68, 2003.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R.; KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de *Pinus* e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul Catarinense, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.715-724, 2005.

BAYER, Cimélio e MIELNICZUK, João. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.a.; CAMARGO, F.a.o. (Comp.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 09-26.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistema de manejo de solos**. Porto Alegre: UFRGS, 1996. 241f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BONZATTO, David A.; KRONKA, Sergio do N. **Experimentação Agrícola**. 2ª ed. São Paulo: FUNEP. 1995, 247p.

CALDEIRA, M.V.W.; WATZLAWICK, L.F.; SCHUMACKER, M.V.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C.R. Carbono Orgânico em Solos Florestais. In: SANQUETTA, Carlos R; WATZLAWICK, Luciano F.; BALBINOT, Rafaelo; ZILLOTTO, Marco A.B.; GOMES, Fernando dos S. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Imprensa Universitária Da UFPR, 2002. p. 191-214.

CAMPBELL, C.A.; BIEDERBCK, V.O. Soil bacterial changes as affected by growing season weather conditions: a field and laboratory study. **Canadian Journal of Soil Science**, v.56, p. 293-310, 1976.

CARDOSO, Marinice O. Métodos Para Quantificação da Biomassa. **Agropecuária Técnica**, Areia, Pb, v. 25, n. 1, p.1-12, 2004.

CARVALHO, F.de. Atributos Bioquímicos como Indicadores da Qualidade do Solo em Florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no Estado de São Paulo. 2005. 68f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 2005.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações no biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.2, p. 133-142, maio/ago. 1990a.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Sistemas de culturas e a população microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.2, p. 125- 132, maio/ago. 1990b.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA n. 04, de 04 de maio de 1994**. Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica. Disponível em:< www.mma.conama.gov.br/conama> Acesso em 20/09/2007.

COSTA, M. D.; NOVAIS, R. F. de; BORGES, A. C.; BARROS, N. F. de; FONSECA, S. de. Biomassa microbiana e atividade biológica do solo decorrentes da decomposição de resíduos de eucalipto, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Resumos...** Viçosa, MG: SBCS/UFV, 1995. p. 474-475.

D'ANDRÉA, Alexandre F.; SILVA, Marx L. N.; SILVA, Carlos A. Emissões de CO₂ do solo: Métodos de Avaliação e Influência do Uso da Terra. In: ROSCOE, Renato; MERCANTE, Fábio Martins; SALTON, Júlio Cesar (Comp.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados, Ms: Embrapa, 2006. p. 163-198.

DAJOZ, Roger. **Princípios de ecologia**. 7. ed. Trad. Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, 2005. 520 p.

DAVIDSON, E.A.; TRUMBORES, S.E.; AMUNDSON, R. Soil warming and organic carbon content. **Nature**, London, v.408, n.6814, p.789-790, Dec.2000.

DE MELO LISBOA, Henrique **Controle da Poluição Atmosférica**. Livro eletrônico Ufsc: Florianópolis – SC, 2008. Disponível em: www.lcqar.ufsc.br. acesso em 28 jan. 2008.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. **Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo**. Soropédica - Rj: Embrapa, 1997. 11 p.

DIAS, J.D. **Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia**, 2006. 76p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Curso de Agronomia, Universidade Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

DIAZ-RAVIÑA, M; ACEA, M.J. e CARBALLAS, T. Microbial biomass and its contribution to nutrient concentrations in forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.25-31, 2002.

PROSSER, J.I. Microbial Processes within the soil. In: ELSAS, J.D.V., TREVORS, J.T., WELLINGTON, E. M.H. (eds). **Modern soil microbiology**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1997. 693 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Brasília. 2006. 306p.

ESPARTA, A.R.J.; MOREIRA, J.R. **Principais conclusões o terceiro relatório de avaliação do painel intergovernamental sobre mudanças climáticas**. Trabalho apresentado no Seminário de Divulgação das Informações dos Relatórios do Grupo de trabalho III – WGIII. Realizado no Rio de Janeiro 5 de julho de 2002.

FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. e BERNOUX, M. Balanço de carbono e biomassa microbiana em solo da amazônia. In: MELO, I.S.; AZEVEDO, J.L. (eds.) **Ecologia Microbiana**. Jaguariúna, Embrapa-CNPMA, 1998. p. 423-441.

FERREIRA, P.V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 3ª. ed. Maceió: EDUFAL, 2000. 422p.

FIALHO, Jamili Silva; GOMES, Vânia F.F.; OLIVEIRA, Teógenes S. de; SILVA JÚNIOR, José M.T. da. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 37, n. 3, p.250-257, 2006.

GAMA-RODRIGUES, Emanuela Forestieri da. Biomassa Microbiana e Ciclagem de Nutrientes. In: SANTOS, Gabriel de Araújo; CAMARGO, Flávio A. de O. (Org). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais & Subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 227-244.

GUEDES, S. F. F. **Carbono Orgânico e Atributos Químicos do Solo em Áreas Florestais no Planalto dos Campos Gerais, SC**. 2005. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Mestrado em Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, 2005.

GUO, L.B.; COWIE, A.L.; MONTAGU, K.D.; GIFFORD, R.M. Carbon and nitrogen stocks in a native pasture and an adjacent 16-year-old *Pinus radiata* D. Don. plantation in Australia. **Agriculture Ecosystems e Environment**, p. 1-14, 2007.

GUO, L.B.; GIFFORD, R.M. Soil Carbon Stocks and Land Use Change: a Meta Analysis. **Global Change Biology**, v.8, p. 345-360, 2002.

IBGE. **Mapa de solos**. Disponível em <http://mapas.ibge.gov.br/solos/viewer.htm> Acesso em: 26 de dez. 2007.

IBGE. **Mapa dos Compartimentos de Relevo**. Disponível em <http://mapas.ibge.gov.br/relevo/viewer.htm> Acesso em: 13 de jan. 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL CLIMATE CHANGE (IPCC). **Implications of Proposed CO2 Emissions Limitations**. IPCC Technical Paper 4. Montreal: 1987.

_____. **Land use, land-use change, and forestry special report**. Cambridge University Press. 2000. 25p.

_____. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability.** HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDER, P.J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. A. (Ed.) Cambridge University Press. 2001. 881p.

_____. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris, 2007. 18p. Disponível em <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>. Acesso em: 08 de nov. 2007.

ISERMEYER, H. **Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate am Boden.** *Z. Pflanzenernähr Bodenkd.* 55,26-38, 1952.

ISLAM, K.R. e WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.79, p.9-16, 1999.

JACKSON, R.B.; BANNER, J.L.; JOBÁGGY, E.G.; POCKMAN, W.T.; WALL, D.H. Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. **Nature** 18, 623–626. 2002.

JANSSENS, I.A.; KOWALSKI, A.S.; LONGDOZ, B; CEULEMANS, R. Assessing forest soil CO₂ efflux: an in situ comparison of four techniques. **Tree Physiology**, Berkeley, v.20, n.1, p.23-32, Jan. 2000.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A. method for measuring soil biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 8, n.3, p. 209-213, 1976.

JIMÉNEZ, J.J.; LAL, R.; LEBLANC, H.A.; RUSSO, R.O. Soil Organic Carbon pool under native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v.241, p.134-144, 2007.

KANDELER, E.; BÖHM, K.E. Temporal dynamics of microbial biomass, xylanase activity, N-mineralisation and potential nitrification in different tillage systems. **Applied Soil Ecology**, vol 4, p.181-191, 1996.

KELTING, D. L.; BURGER, J. A.; EDWARDS, G. S. Estimating root respiration, microbial respiration in rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 30, n. 7, p. 961-968, 1998.

KRAXNER, Florian, NILSSON, Sten and OBERSTEINER, Michael. **Negative emissions from BioEnergy use, carbon capture and sequestration (BECS)—the case of biomass production by sustainable forest management from semi-natural temperate forests.** International Institute for Applied Systems Analysis: Laxenburg, Austria, 2001.

KIRSCHBAUM, Miko U. F. The temperature-dependence of soil organic-matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic-C storage, **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 27, n.6, p. 753-760, 1995.

_____. To sink or burn? A discussion of the potential contributions of forests to greenhouse gas balances through storing carbon or providing biofuels. **Biomass and bioenergy**, vol. 24, vol. 4-5, p. 297-310, April-May 2003.

LE DANTEC V.; EPRON D.; DUFRÊNE E. Soil CO₂ efflux in a beech forest: comparison of two closed dynamic systems. **Plant and Soil**, Melbourne, v.214, p.125-132, 1999.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. (ed.). **Carbon Sequestration in Soils of Latin America**. New York, London: Haworth Press, p. 49-63, 2006.

LIRA, A.C.S. de; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J.L. de. Respiração do solo sob eucalipto e cerradão. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.56, p.15-28, 1999.

LYNCH, J.M.; BRAGG, E. Microorganism and soil aggregate stability. **Advances in Soil Science**. v.2, p. 133-171, 1985.

LOPES, Elizabeth Barreto de Menezes. **Diversidade Metabólica em solo tratado com biossólidos**. 2001. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

MARIANI, L.; CHANG, S.X. e KABZEMS, R. Effects of tree harvesting, forest floor removal, and compaction on soil microbial biomass, microbial respiration, and N availability in a boreal aspen forest in British Columbia, **Soil Biology and Biochemistry**, v.38, p. 1734-1744, 2006.

MARKEWICH H.W.; BUELL G.R. **A Guide to Potential Soil Carbon Sequestration: Land-Use Management for Mitigation of Greenhouse Gas Emissions**. U.S. Geological Survey Open-File Report, 2001. Disponível em: < <http://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-374/>>. Acesso: 17 nov. 2007.

MATSUOKA, M., MENDES, I. C. e LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, May/June 2003, vol.27, nº 3, p.425-433.

MELO, I.S.; AZEVEDO, J.L. **Microbiologia ambiental**. Jaguariúna: Embrapa, 1997.

MIELNICZUK, João. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.a.; CAMARGO, F.a.o. (Comp.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 01-08.

MOREIRA, F.M.S. e SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.

MOSCATELLI, M.C.; LAGOMARSINO, A.; MARINARI, S.; DEANGELIS, P.; GREGO, S. Seasonality of soil biological properties in poplar plantation growing under elevated atmospheric CO₂. **Applied Soil Ecology**, in press, 2005.

NSABIMANA, D.; HAYNES, R.J. e WALLIS, F.M. Size, activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use, **Applied Soil Ecology**, v.26 p.81-92, 2004.

ODUM, Eugene P. **Ecologia**. trad. Christopher J. Tribe. Editora Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, 1969. 434 p.

ODUM, H.T. **Emergy Accounting**. Environmental Engineering Sciences. University of Florida, Gainesville, Florida, USA. April 2000. disponível em: <http://dieoff.org/page232.pdf>. Acesso em 10 dez. 2007.

OLSCHEWSKI, Roland e BENÍTEZ, Pablo C. Secondary forests as temporary carbon sinks? The economic impact of accounting methods on reforestation projects in the tropics. **Ecological Economics**, 2003. Available online 9 February 2005, p.380-394.

PALUMBO, A. V.; MCCARTHY, John F.; AMONETTE, James E.; FISHER, L S.; WULLSCHLEGER, Stan D.; DANIELS, William L. **Prospects for enhancing carbon sequestration and reclamation of degraded lands with fossil-fuel combustion by-products**. Environmental Sciences Division: Oak Ridge, TN, USA, 2002.

PANGLE, Robert E. **Soil CO₂ Efflux in Response to Fertilization and Mulching Treatments in a Two-Year-Old Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) Plantation in the Virginia Piedmont**. 2000. 138f. Thesis (Master of Science in Forestry) – Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 2000.

PAULINO, Wilson R. **Biologia**. Ed. Ática, 2ª ed., São Paulo – SP, 2000.

PIAO, HC.; HONG, Y.T.; YUAN, Z.Y. Seasonal changes of microbial biomass carbon related to climatic factors in soils from karsts areas of southwest China. **Biology and Fertility of Soils**, v.30, p.294-297, 2000.

PIAO, HC.; WU, Y.Y.; HONG, Y.T.; YUAN, Z.Y. Soil released carbon dioxide from microbial biomass carbon in the cultivated soils of karsts areas of southwest China. **Biology and Fertility of Soils**, v.31, p.422-426, 2000.

PROSSER, James I. Microbial processes within the soil. In: ELSAS, Jan D. Van; TREVORS, Jack T.; WELLINGTON, Elizabeth M. H. (Org.). **Modern soil microbiology**. New York: Marcel Dekker, 1997. p. 193-211.

PONCE-HERNANDEZ, Raul. **Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes**. Roma: Fao, 2004. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/007/y5490e/y5490e00.htm>>. Acesso em: 01 out. 2007.

POST, W. M.; KWON, K. C.. Soil carbon sequestration and lan-use change: processes and potential. **Global Change Biology**, v. 6, p.317-327, 2000.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil biology and Biochemistry**, v.19, n.2, p.159-164, 1987.

PURVES, William K. **Vida: a ciência da Biologia**. Trad. Anapaula Somes Vinagre, 6 ed. Vol. 02, Porto Alegre – RS, 2005.

REBER, H. H. Simultaneous estimates of the diversity and degradative capability of heavy-metal-affected soil bacterial communities. **Biology and Fertility of Soils**, v.13, p. 181-186, 1992.

ROSCOE, Renato; BODDEY, Robert Michael; SALTON, Júlio Cesar. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, Renato; MERCANTE, Fábio Martins; SALTON, Júlio Cesar (Comp.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados, Ms: Embrapa, 2006. p. 17-42.

ROSCOE, Renato; MERCANTE, Fábio M.; MENDES, Ieda; REIS JÚNIOR, Fábio B.; SANTOS, Júlio C. F. dos; HUNGRIA, Mariângela. Biomassa microbiana do solo: Fração mais Ativa da Matéria Orgânica. In: ROSCOE, Renato; MERCANTE, Fábio Martins; SALTON, Júlio Cesar (Comp.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados, Ms: Embrapa, 2006. p. 163-198.

RYAN, Michael G.; LAW, Beverly E.. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. **Biogeochemistry**, Springer Netherlands, v. 73, n. , p.3-27, mar. 2005.

SANQUETTA, Carlos R; WATZLAWICK, Luciano F.; BALBINOT, Rafaelo; ZILLOTTO, Marco A.B.; GOMES, Fernando dos S. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Imprensa Universitária Da UFPR, 2002. 264 p.

SANTA CATARINA, INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E ECONOMIA AGRÍCOLA. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: Relatório Fase I**, Florianópolis, 2004. 64p.

SCHULZE, E. Detlef; FREIBAUER, Annette. Changes in climate and land use are implicated as the main factors in the large-scale loss of carbon from soils in England and Wales over the past 25 years. The same picture is likely to apply much more broadly. **Nature**, EUA, v. 437, n. 437. set. 2005. p. 205-206. Disponível em: <www.nature.com>. Acesso em: 01 out. 2005.

SIQUEIRA, José O.; FRANCO, Avílio A. **Biotecnologia do Solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: Série Agronômica, 1988. 235 p.

SILVA, Edmilson E. da; AZEVEDO, Pedro H. S. de; DE-POLLI, Helvécio. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico (qCO₂)**. Soropédica - Rj: Embrapa, 2007. 4 p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os estados do RS e SC**. 10.ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 394p.

SOUSA, L.S.; COGO, N.P.; VIEIRA, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.21, p.367-372, 1997.

SOUZA, I.M.Z. de. **Carbono e Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo em Áreas Reflorestadas Comparadas ao Campo e Mata Nativa no Planalto dos Campos Gerais, SC**. 2004. 50f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Mestrado em Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, 2005.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indication of changes in soil organic matter. **Australian Journal Soil Research**, v.30, n.2, p.195-207, 1992.

SZAKÁCS, G. G. J. **Seqüestro de Carbono nos Solos: Avaliação das potencialidades dos solos arenosos sob pastagens, Anhembi/SP**. 2003. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba, 2003.

SWAMY, S. L.; PURI, S. Biomass production and C-sequestration of *Gmelina arborea* in plantation and agroforestry system in India. **Agroforestry Systems**, Raipur, India, n. 64. jun. 2004. p. 181-195.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. e VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 174p. (Boletim Técnico, 5)

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: SOLO, Sociedade Brasileira de Ciência do. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Ufv, 2002, v. 2. p. 195-276.

TREVISAN, E., REISSMANN, C.B., KOEHLER, C.W., LIMA, J.M.J.C. Morfologia de horizontes orgânicos acumulados sob povoamentos de *Pinus taeda* L., em três sítios distintos. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v. 9, p. 59-62, 1987.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, v.19, n.6, p.703-707, 1987.

VANHALA, P. Seasonal variation in the soil respiration rate in coniferous forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.32, p. 1375-1379, 2002.

WAGAI, R.; BRYE, K.R.; GOWER, S.T.; NORMAN, J.M.; BUNDY, L.G. Land use and environmental factors influencing soil surface CO₂ flux and microbial biomass in natural and managed ecosystems in southern Wisconsin. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.30, n.12, p.1501-1509, Oct. 1998.

WATZLAWICK, Luciano Farianha et al. Fixação de carbono em floresta ombrofila mista em diferentes estagios de regeneração. In: SANQUETA, Carlos Roberto et al. (Org.). **AS florestas e o carbono**. Curitiba: Ufpr, 2002. p. 153-173.

WANG, W.J.; DALAL, R.C.; MOODY, P.W.; SMITH, C.J. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. **Soil Biology and Biochemistry**, v.35, p.273-284, 2003.

WHARDLE, D.A. e GUANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient (*qc02*) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.1601-1610, 1995.

YU, Chang Man. **Sequestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. Annablume; IEB, São Paulo – SP, 2005.

ANEXO 01 - Resultados da análise de cor e imagens dos solos amostrados

Solo Amostrado	Profundidade (cm)	Cor	
Pinus	0-20	7,5YR	3/3
Pinus	20-50	5YR	3/4
Pinus	50-90	2,5YR	4/6
Campo Nativo	0-20	7,5YR	3/2
Campo Nativo	20-50	7,5YR	3/2
Campo Nativo	50-90	7,5YR	3/3
Floresta Nativa (Clímax)	0-20	10YR	3/2
Floresta Nativa (Clímax)	20-50	10YR	3/3
Floresta Nativa (Clímax)	50-90	10YR	3/3
Eucalipto	0-20	7,5YR	3/3
Eucalipto	20-50	7,5YR	3/4
Eucalipto	50-90	5YR	4/4
Floresta Nativa (Regeneração)	0-20	10YR	2/2
Floresta Nativa (Regeneração)	20-50	7,5YR	3/3
Floresta Nativa (Regeneração)	50-90	5YR	3/3
Araucária	0-20	7,5YR	3/3
Araucária	20-50	7,5YR	4/4
Araucária	50-90	5YR	4/6



Figura I.1 - Tradagem em Cambissolo Húmico: Reflorestamento de *Pinus taeda* (RP)

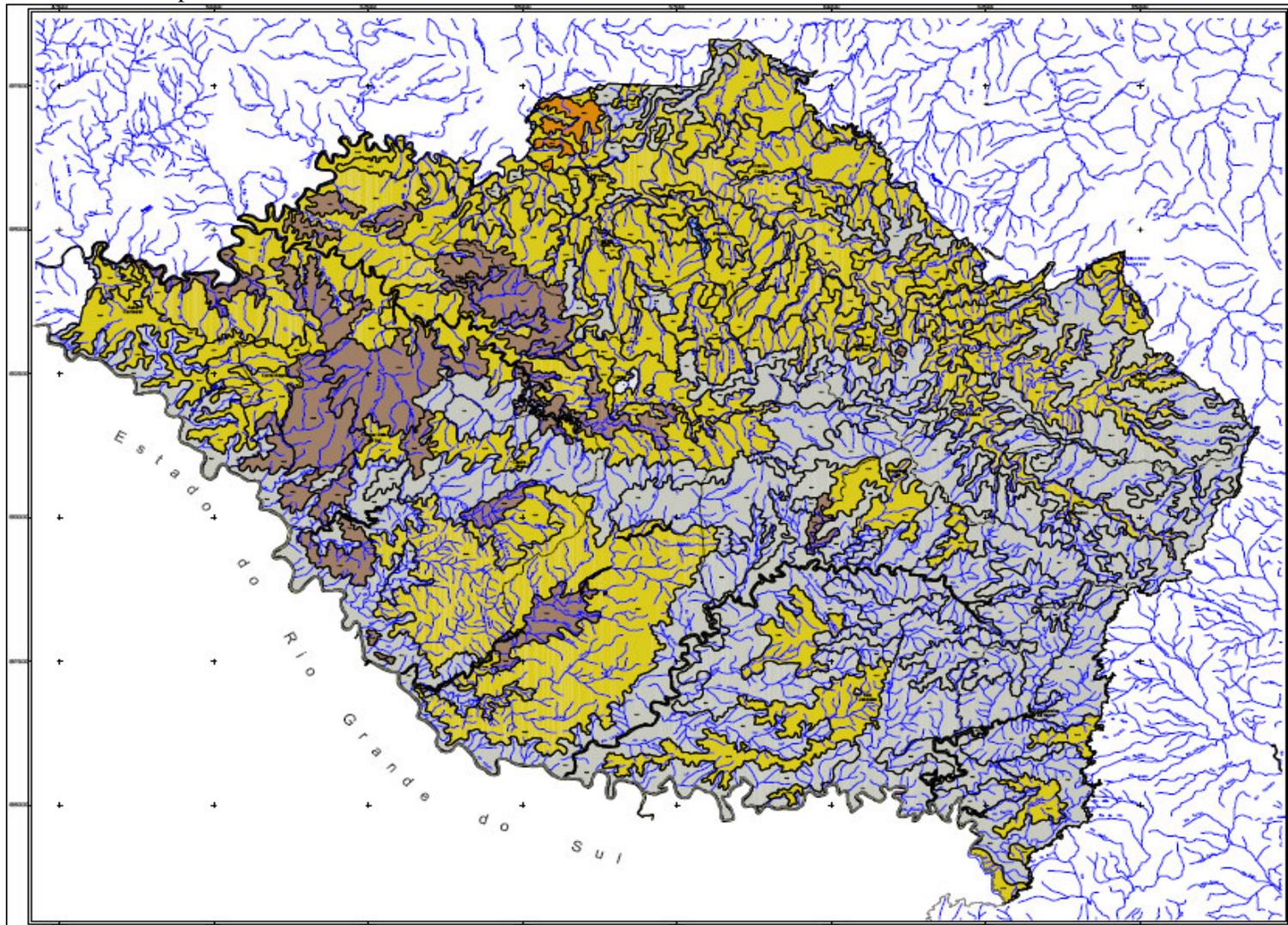


Figura I. 2 - Tradagem em Neossolo Háplico: Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax (FOMc).



Figura I. 3 – Corte de estrada em Neossolo Háplico: Reflorestamento de *Araucaria angustifolia* (RA)

ANEXO 2 – Mapa de Solos





Governo do Estado de Santa Catarina
Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.
Epagri
Centro Integrado de Informações de Recursos Ambientais - Ciram



Mapa de Solos Unidade de Planejamento Regional Planalto Sul Catarinense UPR 3

Este mapa é parte integrante do relatório Dados e Informações Básicas da
Unidade de Planejamento Regional Planalto Sul Catarinense (UPR 3).
Elaboração: Centro de Informações de Recursos Ambientais de Santa Catarina - Ciram.
A Epagri agradece a colaboração de todos os comitês verificadas neste mapa.
Florianópolis, abril de 2002.

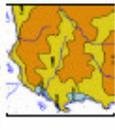
Legenda de Solos

Este mapa foi compilado a partir da leitura do mapa de solos de Santa Catarina, EMBRAPA, (2001) e
apoiado o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (1999). As classes de solos ocorrentes foram
adaptadas à nomenclatura adotada pelo SBCS (1995).

SBCS 4* aproximação	ARGILOSOLOS Aristai	SBCS 4* aproximação	GLEISSOLOS Giel Homico	SBCS 4* aproximação	NTOSSOLOS Tia1 Tia2 Tia3 Tia4 Tia5 Tia6 Tia7
SBCS 4* aproximação	CAMBISSOLOS Cai1 Cai2 Cai3 Cai4 Cai5 Cai6 Cai7 Cai8 Cai9 Cai10 Cai11 Cai12 Cai13 Cai14 Cai15 Cai16 Cai17 Cai18 Cai19 Cai20 Cai21 Cai22 Cai23 Cai24 Cai25 Cai26 Cai27 Cai28 Cai29 Cai30 Cai31 Cai32 Cai33 Cai34 Cai35 Cai36 Cai37 Cai38 Cai39 Cai40 Cai41 Cai42 Cai43 Cai44 Cai45 Cai46 Cai47 Cai48 Cai49 Cai50 Cai51 Cai52 Cai53 Cai54 Cai55 Cai56 Cai57 Cai58 Cai59 Cai60 Cai61 Cai62 Cai63 Cai64 Cai65 Cai66 Cai67 Cai68 Cai69 Cai70 Cai71 Cai72 Cai73 Cai74 Cai75 Cai76 Cai77 Cai78 Cai79 Cai80	SBCS 4* aproximação	LATOSSOLOS Lia2 Lia3 Lia4 Lia5 Lia6 Lia7 Lia8 Lia9 Lia10 Lia11 Lia12 Lia13 Lia14 Lia15 Lia16 Lia17 Lia18 Lia19 Lia20 Lia21 Lia22 Lia23 Lia24 Lia25 Lia26 Lia27 Lia28 Lia29 Lia30 Lia31 Lia32 Lia33 Lia34 Lia35 Lia36 Lia37 Lia38 Lia39 Lia40 Lia41 Lia42 Lia43 Lia44 Lia45 Lia46 Lia47 Lia48 Lia49 Lia50 Lia51 Lia52 Lia53 Lia54 Lia55 Lia56 Lia57 Lia58 Lia59 Lia60 Lia61 Lia62 Lia63 Lia64 Lia65 Lia66 Lia67 Lia68 Lia69 Lia70 Lia71 Lia72 Lia73 Lia74 Lia75 Lia76 Lia77 Lia78 Lia79 Lia80	SBCS 4* aproximação	TERRAS E TERRAS ESTRUCTURADAS Tria1 Tria2 Tria3 Tria4 Tria5 Tria6 Tria7 Tria8 Tria9 Tria10 Tria11 Tria12 Tria13 Tria14 Tria15 Tria16 Tria17 Tria18 Tria19 Tria20 Tria21 Tria22 Tria23 Tria24 Tria25 Tria26 Tria27 Tria28 Tria29 Tria30 Tria31 Tria32 Tria33 Tria34 Tria35 Tria36 Tria37 Tria38 Tria39 Tria40 Tria41 Tria42 Tria43 Tria44 Tria45 Tria46 Tria47 Tria48 Tria49 Tria50 Tria51 Tria52 Tria53 Tria54 Tria55 Tria56 Tria57 Tria58 Tria59 Tria60 Tria61 Tria62 Tria63 Tria64 Tria65 Tria66 Tria67 Tria68 Tria69 Tria70 Tria71 Tria72 Tria73 Tria74 Tria75 Tria76 Tria77 Tria78 Tria79 Tria80

SBCS 4* aproximação	NEOSSOLOS Ne1 Ne2 Ne3 Ne4 Ne5 Ne6 Ne7 Ne8 Ne9 Ne10 Ne11 Ne12 Ne13 Ne14 Ne15 Ne16 Ne17 Ne18 Ne19 Ne20 Ne21 Ne22 Ne23 Ne24 Ne25 Ne26 Ne27 Ne28 Ne29 Ne30 Ne31 Ne32 Ne33 Ne34 Ne35 Ne36 Ne37 Ne38 Ne39 Ne40 Ne41 Ne42 Ne43 Ne44 Ne45 Ne46 Ne47 Ne48 Ne49 Ne50	SBCS 4* aproximação	SEM INFORMAÇÃO
--------------------------------------	---	--------------------------------------	-----------------------

Observação
O mapa identifica 4 classes de solos poligonais e, por convenção, tem sempre seu primeiro carácter dentro do polígono.



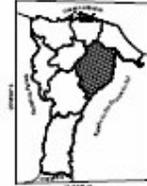
Projeção Universal Transversa de Mercator
Escala 1:250 000

Origem da autoprojeção UTM: Equador e Meridiano Central 51°W Gr.
acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente.

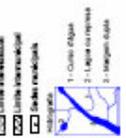


Datum Horizontal: SACS-69

Localização da UPR no Estado



Convenções Cartográficas



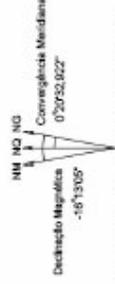
Atenção
Mapa compilado do Mapa de Solos do Santa Catarina, EMBRAPA, (2001) e apoiado o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (1999). As classes de solos ocorrentes foram adaptadas à nomenclatura adotada pelo SBCS (1995).
Material para uso exclusivo da Epagri. Proibida a reprodução.

Em função do aumento das informações em escalas diferentes, base municipal 1:50.000 com mapa de solos e rede de drenagem 1:250.000, surgiu a classe S1 (sem informação) e outras diferenças de traçado e posição entre o limite municipal e a rede de drenagem.

Fontes

Base hidrográfica digitalizada a partir das cartas topográficas 1:250.000, DSC/IBGE.
Topografia da rede de drenagem obtida em meio digital do Mapa Político de SC (1997), escala 1:500.000, SDE.
Limite do estado, obtido por meio de arquivos digitais do Mapa Político de SC (1997), fornecido pela SDE.
Informações em formato digital 1:50.000 do Mapa Político de SC (1997), fornecido pela SDE.
Solos Municipais obtidas no site do IBGE, Cadastro de Cidades e Vilas do Brasil, 1996.

Declinação Magnética em 18 de dezembro de 2001 e Convergente Meridiana do Centro de Folha 51°18'0" W, 68°05'30" S



NS - norte geográfico; NM - norte magnético; NG - norte da quadrícula.
A Declinação Magnética cresce -4,0" anualmente.
O alçavo tem como base o software "Elementos do Campo Geomagnético do Brasil" do CNPq.