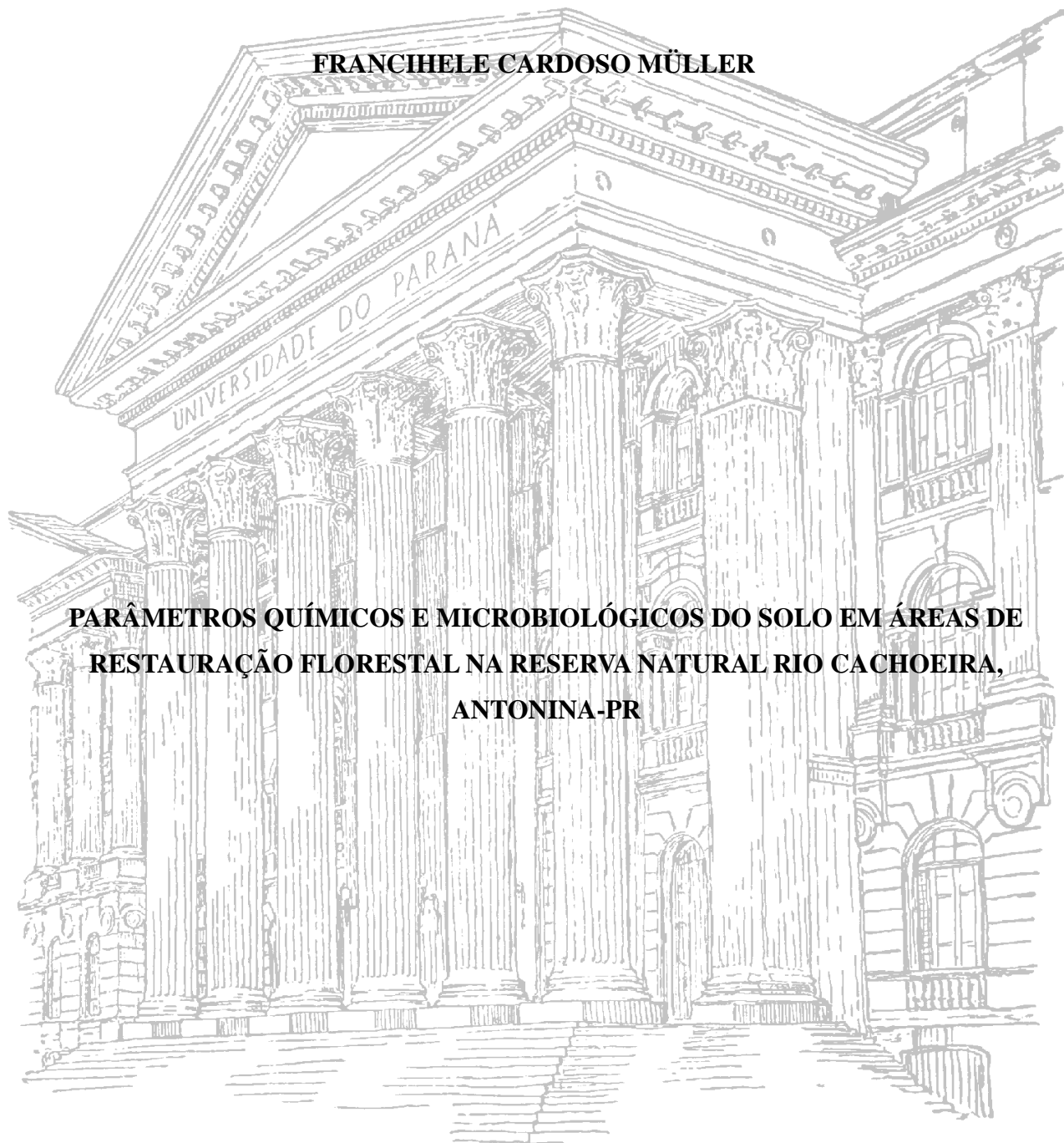


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FRANCIHELE CARDOSO MÜLLER

**PARÂMETROS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM ÁREAS DE
RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA RESERVA NATURAL RIO CACHOEIRA,
ANTONINA-PR**



CURITIBA

2012

FRANCIHELE CARDOSO MÜLLER

**PARÂMETROS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM ÁREAS DE
RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA RESERVA NATURAL RIO CACHOEIRA,
ANTONINA-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e ambiente, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Renato Marques
Co-orientadora: Profa. Dra. Fabiane Machado Vezzani

CURITIBA

2012

ii

M958 Müller, Francihele Cardoso

Parâmetros químicos e microbiológicos do solo em áreas de restauração florestal na Reserva Natural Rio Cachoeira, Antonina-PR Francihele Cardoso Müller. / Curitiba: 2012. 66 f.; il.

Orientador: Renato Marques

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

1. Solos - Microbiologia. 2. Microorganismos do solo. 3. Biologia do solo. I. Marques, Renato. II. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. III. Título.

CDU 631.461(816.2)



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIA DO SOLO

PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **FRANCIHELE CARDOSO MÜLLER**, sob o título: "**Parâmetros químicos e microbiológicos do solo em áreas de restauração florestal na reserva natural Rio Cachoeira, Antonina-PR**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Solo e Ambiente"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 24 de fevereiro de 2012.


Prof. Dr. Renato Marques, Presidente


Prof. Dr. Klaus Dieter Sauter, I°. Examinador


Eng. Agr. Dr. George Gardner Brown, II°. Examinador

Aos meus pais Nehi e Renato e ao meu irmão Jeferson pelo apoio, confiança e amor incondicional. Aos meus avós, Rita e Adão (*in memoriam*), e Verônica Müller que, apesar das limitações, deixam um exemplo de humildade e perseverança,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho e enriquecimento científico e ao REUNI pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Renato Marques, pela disponibilidade e apoio desde o momento da aprovação no mestrado e durante todo ele. Pela amizade, ensinamentos, confiança no meu trabalho e essencial colaboração para a conclusão desta dissertação.

À ONG Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental por permitir que essa pesquisa fosse realizada na Reserva Natural do Rio Cachoeira.

À minha co-orientadora, Prof^ª Dr^ª Fabiane Machado Vezzani, carinhosamente chamada de Fabi, que me recebeu de braços abertos com toda sua hospitalidade gaúcha. Pela preocupação, pelas conversas nos corredores sobre como estava andando o trabalho, se eu estava bem alojada e sua disponibilidade em qualquer momento.

Aos demais professores do Programa com os quais tive a oportunidade de aprender e crescer, em especial ao Coordenador Prof. Dr. Jeferson Dieckow, ao Prof. Dr. Volnei Pauletti e ao Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann e toda sua simpatia.

Aos meus colegas da turma de 2010, em especial Jéssica Fernandes Kaseker, inteligentíssima, que não foi apenas colega, mas sim uma grande amiga que esteve sempre comigo, me abrigou em sua casa quando precisei, compartilhando de experiências, alegrias e momentos não tão bons, mas que deixaram lições valiosas. Também agradeço à Bruna Raquel Wink e Daniel Hanke, um casal que contribuiu muito na minha formação tanto em aula, quanto nos corredores ou em nossos encontros para tomar um bom chimarrão. Grandes amigos, sem dúvida. Ao Maurício Fabiano Biesek, irmão de orientador, com o qual compartilhei dúvidas, angústias, experiências, e que, sem pedir nada em troca, me ajudou significativamente. A dupla inseparável André Sordi e Marcio Amaral Albuquerque pelo apoio, parceria em alguns trabalhos e pela amizade. Obrigada Jé, Bruna, Daniel, Maurício, André e Márcio!

Aos “irmãos”, Giovanni Radel de Vargas, Jonas Bianchin e Hilbert Blum pela ajuda no trabalho de campo, que abriram mão das suas atividades para auxiliar nas coletas, algumas vezes, até tarde da noite. À Kelly Geronazzo Martins pelo auxílio imprescindível nas estatísticas, Bárbara Sloboda e Nocy Bila. À Fabiana Medeiros e Cristine Gobel Donha pelas doces e suaves palavras de apoio.

Aos colegas da turma de 2011 que contribuíram com o trabalho durante a disciplina de Seminários, em especial, Marília, Kharyn, Verediana e Giovana, e a Prof^ª. Dr^ª Karina Maria Vieira Cavalieri.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola.

À minha orientadora da graduação, Prof^ª Dr^ª Nilvane Ghellar Müller e à Prof^ª Dr^ª Jacqueline da Costa Escobar Piccoli pela amizade e incentivo para continuar.

À Patrícia, Daniel e Eduardo Tibulo, grandes amigos que me acolheram em Curitiba, sempre de braços abertos e mãos estendidas.

Aos meus pais que, apesar da saudade e do desejo de ter sempre sua filha por perto, me apoiaram. Abdicaram de seus interesses e abraçaram os meus planos como se fossem seus, para que fosse possível chegar onde cheguei, e continuar a crescer. Ao meu querido irmão, indubitavelmente, meu maior incentivador e conselheiro, juntamente à Rúbia Schons, minha cunhada-irmã. É difícil viver com tanta ausência, impaciência, cansaço, saudade, mas felizmente hoje ganhamos a nossa recompensa, porque cabe a vocês uma parcela desta conquista.

Aos meus amigos que, mesmo distantes, estiveram presente nessa caminhada e que sempre acreditaram na minha capacidade, apoiaram, e nunca deixaram que a tristeza e o desânimo chegassem perto de mim, mesmo que eu não pudesse dar-lhes a atenção merecida e não pudesse estar presente em momentos importantes de suas vidas. Vocês são essenciais em minha vida e fazem parte das minhas conquistas. Em especial cito o nome de duas dessas pessoas, Giovana Tavares dos Santos e Gracieli Dall Ostro Persich.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão desse trabalho.

Muito Obrigada!

*“Tudo o que acontece com a Terra,
acontece com os filhos e filhas da Terra.
O homem não tece a teia da vida;
ele é apenas um fio.
Tudo o que faz à teia,
ele faz a si mesmo.”*

Ted Perry

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL.....	16
LITERATURA CITADA	20
CAPÍTULO 2 – MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO EM CAMBISSOLO E GLEISSOLO SOB RESTAURAÇÃO FLORESTAL COM ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA NO SUL DO BRASIL.....	23
RESUMO.....	23
CHAPTER 2 – NITROGEN MINERALIZATION IN CAMBISOL AND GLEYSOL UNDER FOREST RESTORATION WITH SPECIES OF THE ATLANTIC FOREST IN THE SOUTHERN BRAZIL.....	24
ABSTRACT.....	24
1 INTRODUÇÃO.....	25
2 MATERIAL E MÉTODOS	27
2.1 ÁREA DE ESTUDO	27
2.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL	28
2.3 COLETAS DE SOLO	28
2.4 ENSAIO DE MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO ORGÂNICO DO SOLO.....	30
2.5 ANÁLISES QUÍMICAS DOS SOLOS.....	33
2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	33
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
3.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS	34
3.2 MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO.....	35
4 CONCLUSÕES	41
5 LITERATURA CITADA	42
CAPÍTULO 3 - ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA EM CAMBISSOLO E GLEISSOLO SOB RESTAURAÇÃO FLORESTAL COM ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA NO SUL DO BRASIL.....	45

RESUMO.....	45
CHAPTER 3 – MICROBIOLOGICAL ACTIVITY IN CAMBISOL AND GLEYSOL UNDER FOREST RESTORATION WITH SPECIES OF THE ATLANTIC FOREST IN SOUTHERN BRAZIL.....	46
ABSTRACT.....	46
1 INTRODUÇÃO.....	47
2 MATERIAL E MÉTODOS	49
2.1 ÁREA DE ESTUDO	49
2.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL	50
2.3 COLETAS DE SOLO	50
2.4 ANÁLISES QUÍMICAS DOS SOLOS	52
2.5 DETERMINAÇÃO DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (CBM).....	52
2.6 DETERMINAÇÃO DA RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO (RBS) E QUOCIENTE METABÓLICO (q_{CO_2}).....	53
2.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	54
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4 CONCLUSÕES	63
5 LITERATURA CITADA	64
CONSIDERAÇÕES FINAIS	67

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Localização da Reserva Natural Rio Cachoeira, Antonina-PR.....	28
Figura 2 - Coleta de solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina -PR.....	29
Figura 3 – Fluxograma das coletas de solo e ensaio de mineralização de nitrogênio.....	30
Figura 4 - Peneiramento a campo e colocação das amostras em solução extratora de KCl 2 mol L ⁻¹ , na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	31
Figura 5 - Mineralização de N em Cambissolo sob <i>S. multijuga</i> e <i>C. myrianthum</i> na profundidade de 0-5 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	35
Figura 6 - Mineralização de N em Cambissolo sob <i>S. multijuga</i> e <i>C. myrianthum</i> na profundidade de 5-10 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	36
Figura 7 - Mineralização de N em Gleissolo sob <i>S. multijuga</i> e <i>C. myrianthum</i> na profundidade de 0-5 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	36
Figura 8 - Mineralização de N em Gleissolo sob <i>S. multijuga</i> e <i>C. myrianthum</i> na profundidade de 5-10 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	37
Figura 9 - Mineralização acumulada em Cambissolo e Gleissolo sob <i>C. myrianthum</i> em área de restauração florestal na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	39
Figura 10 - Mineralização acumulada em Cambissolo e Gleissolo sob <i>S. multijuga</i> em área de restauração florestal na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	39

CAPÍTULO 3

Figura 1 - Localização da Reserva Natural Rio Cachoeira, Antonina-PR.....	50
Figura 2 - Coleta de solo nas profundidades de 0-5 e 10 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina - PR.....	51
Figura 3 - Nódulos em raízes de <i>Senna mutijuga</i> na área de Gleissolo coletados na primavera na profundidade de 0-5 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	56

Figura 4 - Valores médios de Carbono na Biomassa Microbiana (CBM) em Gleissolo e Cambissolo, na profundidades de 0-5 cm, sob <i>S. multijuga</i> e <i>C. myrianthum</i> , no outono (1ª) e primavera (2ª), na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	57
Figura 5 - Valores médios de Carbono na Biomassa Microbiana (CBM) em Gleissolo e Cambissolo, na profundidade de 5-10 cm, sob <i>S. multijuga</i> e <i>C. myrianthum</i> , no outono (1ª) e primavera (2ª), na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	57
Figura 6 - Cambissolo (A) sem raízes na camada superficial e Gleissolo (B), onde R indica a presença de raízes na camada superficial do solo coletados na primavera.....	58
Figura 7 - Valores médios da Respiração Basal do Solo em Gleissolo e Cambissolo, na profundidade de 0-5 cm, sob <i>S. multijuga</i> e <i>C. myrianthum</i> , no outono (1ª) e primavera (2ª), na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	59
Figura 8 - Valores médios da Respiração Basal do Solo em Gleissolo e Cambissolo, na profundidade de 5-10 cm, sob <i>S. multijuga</i> e <i>C. myrianthum</i> , no outono (1ª) e primavera (2ª), na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	60
Figura 9 - Valores médios do Quociente Metabólico em Gleissolo e Cambissolo, na profundidade de 0-5 cm, sob <i>S. multijuga</i> e <i>C. myrianthum</i> , no outono (1ª) e primavera (2ª), na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	61
Figura 10 - Valores médios do Quociente Metabólico em Gleissolo e Cambissolo, na profundidade de 5-10 cm, sob <i>S. multijuga</i> e <i>C. myrianthum</i> , no outono (1ª) e primavera (2ª), na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....	61

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 2

Tabela 1 - Características químicas das amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em Gleissolo e Cambissolo sob as espécies florestais *Senna multijuga* e *Cytharexylum myrianthum*, na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina - PR.....34

Tabela 2 - N mineral médio acumulado após 98 dias de incubação em Cambissolo e Gleissolo e sob *S. multijuga* e *C. Myrianthum*, Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....40

Tabela 3 - N mineral acumulado após 98 dias de incubação sob *S. multijuga* e *C. myrianthum*, em Cambissolo e Gleissolo, Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....40

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Características químicas das amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em Gleissolo e Cambissolo sob as espécies florestais *Senna multijuga* e *Cytharexylum myrianthum*, na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.....55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MOS – Matéria Orgânica do Solo

BMS – Biomassa Microbiana do Solo

RBS – Respiração Basal do Solo

CBM – Carbono da Biomassa Microbiana

$q\text{CO}_2$ – Quociente Metabólico

RNRC – Reserva Natural do Rio Cachoeira

APA – Área de Proteção Ambiental

SPVS – Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental.

PARÂMETROS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA RESERVA NATURAL RIO CACHOEIRA, ANTONINA-PR¹

Autor: Francihele Cardoso Müller

Orientador: Prof. Dr. Renato Marques

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiane Vezzani

RESUMO GERAL

A população microbiana do solo atua como um catalisador das importantes transformações químicas no solo, desempenhando um papel essencial no funcionamento dos ecossistemas, sendo responsável pelos processos de mineralização e pela disponibilização no solo de uma quantidade considerável de nutrientes. Ao estudar a população microbiana do solo, pode-se obter informações importantes acerca das mudanças nas propriedades orgânicas do solo. Em função disso, buscou-se determinar e comparar a dinâmica de mineralização de N e as quantidades acumuladas de N mineral em ensaios de incubação com amostras coletadas em Cambissolo e Gleissolo, sob espécies florestais nativas, em área de restauração florestal na Mata Atlântica do sul do Brasil; bem como avaliar se a atividade microbiológica no solo é influenciada pelas características dos solos e/ou pelo tipo de vegetação usado na restauração florestal. E, ainda, se as condições climáticas têm algum efeito sobre esta atividade. As amostras de solo foram coletadas em uma área de Cambissolo e outra de Gleissolo, em Antonina-PR, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm no outono e primavera de 2011. As amostras coletadas no outono foram caracterizadas quimicamente quanto aos parâmetros de fertilidade do solo. Foram feitas a determinação de parâmetros microbiológicos e também ensaio de mineralização de N que foi conduzido sob incubação anaeróbica, à temperatura constante de 30° C, com extrações de N mineral (amônio e nitrato) aos 14, 28, 42, 56, 70, 84 e 98 dias. Nas amostras coletadas na primavera foi feita a caracterização microbiológica novamente. Os dados foram submetidos à análise de variância e as diferenças entre as médias foram asseguradas pelo teste de Tukey. Observou-se que a dinâmica de mineralização em ambos os solos foi semelhante, mas iniciou-se mais prematuramente e se mostrou mais intensa no Cambissolo do que no Gleissolo. As espécies florestais podem mostrar efeito sobre a mineralização do nitrogênio no solo, mas isto depende das características do solo. A partir da avaliação dos parâmetros microbiológicos observou-se que o CBM na primavera em Cambissolo superou o Gleissolo, especialmente sob *S. multijuga*; a RBS foi maior na profundidade de 0-5 cm em Cambissolo, na primavera os maiores valores de C-CO₂ foram aferidos sob *S. multijuga*, na profundidade de 5-10 cm foi identificado apenas efeito da classe do solo, com maiores valores no Cambissolo. O qCO₂ na profundidade no outono apresentou valor superior no Cambissolo, mas na primavera não foi observado tal comportamento diferenciando as duas classes de solo.

Palavras-chave: Incubação anaeróbica, N mineral, matéria orgânica do solo, atividade microbiana, biomassa microbiana do solo, quociente metabólico.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (66.) Fevereiro, 2012.

**CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL SOIL PARAMETERS IN FORESTS
RESTORATION AREAS OF THE “RESERVA NATURAL RIO CACHOEIRA”,
ANTONINA-PR, BRAZIL.**

Author: Francihele Cardoso Müller

Advisor: Prof. Dr. Renato Marques

Co- Advisor: Prof^a. Dr^a. Fabiane Vezzani

GENERAL ABSTRACT

The microbial soil population acts as a catalyst for important chemical transformations in soil, playing an essential role in ecosystem functioning. It is responsible for the processes of mineralization and availability in the soil of a considerable amount of nutrients. Their study can provide important information about changes in the organic properties of the soil. On this context, we sought to determine and compare the dynamics of N mineralization on Cambisol and Gleysol under native forest species planted for restoration of the Atlantic Forest of southern Brazil; and evaluate if the soil microbial activity was influenced by soil characteristics and / or by the vegetation used for forest restoration. The influence of weather conditions on microbial activity was also evaluated. Soil samples were collected in the plots of Cambisol and Gleysol, at the depths of 0-5 and 5-10 cm during Fall and Spring of 2011 and the soil fertility characteristics were determined. The dynamics of N mineralization was obtained from anaerobic incubation of soil at a constant temperature of 30°C, and extractions of mineral N (ammonium and nitrate) after 14, 28, 42, 56, 70, 84 and 98 days. The data were submitted to ANOVA and differences between means were conducted by Tukey test. The mineralization dynamics was similar on both soils, but it started early and more intense on Cambisol than on Gleysol. The forest species effect on the mineralization was dependent of soil characteristics. From the evaluation of microbiological parameters it was observed that the CBM (carbon of the microbial biomass), for the Spring samples, was higher on Cambisol than on Gleysol, especially under *S. multijuga*; RBS was higher at a depth of 0-5 cm on Cambisol in the spring the highest values of C-CO₂ were measured in *S. multijuga* at a depth of 5-10 cm was identified only class effect of the soil, with higher values in Cambisol. The *q*CO₂ depth in autumn a higher value than in Cambisol, but the spring was not observed such behavior differentiating the two types of soil.

Key-Words: Anaerobic incubation, mineral N, soil organic matter, microbial activity, soil microbial biomass.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL

A recuperação de ecossistemas degradados é uma prática muito antiga, podendo-se encontrar exemplos de sua existência na história de diferentes povos, épocas e regiões (Rodrigues & Gandolfi, 2004). Visa facilitar, acelerar e direcionar os processos sucessionais naturais, aumentar a produtividade biológica, reduzir o processo de erosão do solo, aumentar a fertilidade e o controle biótico sobre os fluxos biogeoquímicos dentro do ecossistema (Parrotta, 1993).

Para que haja sucesso no processo de restauração florestal, existem diversos aspectos que interferem e contribuem para tal. Dentre esses interferentes pode-se citar, em especial, a matéria orgânica do solo e a atividade microbiana do solo.

A matéria orgânica do solo (MOS) constitui-se em uma mistura de resíduos de plantas e animais do solo, em vários estágios de decomposição, de substâncias sintetizadas por processos químicos e biológicos e de corpos de microrganismos e pequenos animais mortos; ou seja, é composta de constituintes lábeis e estáveis. Essa divisão, baseada na taxa de decomposição, permite melhor entendimento da dinâmica da MOS. Os constituintes lábeis, genericamente denominados matéria orgânica lábil ou C orgânico lábil, incluem resíduos de plantas em decomposição, substâncias não-húmicas não ligadas aos constituintes minerais, formas solúveis em água, macrorganismos (fauna) e biomassa microbiana (Theng et al., 1989). Na sua formação ocorrem processos simultâneos de novas adições de materiais, de decomposição e de sintetização de novos compostos, o que mostra seu caráter transitório e dinâmico (Schnitzer, 1991).

Os diferentes componentes da MOS são decompostos por grupos especializados de microrganismos heterotróficos, que produzem enzimas extracelulares específicas, promovendo a quebra das macromoléculas em monômeros. Estes são metabolizados pelas células microbianas, que usam parte desta energia e carbono para a produção de biomassa e proliferação, sendo a outra parte liberada para a atmosfera em forma de CO₂, completando assim o ciclo do carbono. A biomassa produzida representa uma imobilização temporária de energia, carbono e elementos minerais, que serão liberados após sua morte e decomposição, tornando os elementos nutrientes disponíveis para a absorção pelas raízes, para transformações adicionais ou para sofrer lixiviação no solo (Siqueira & Franco, 1988).

Dentre os constituintes da fração orgânica do solo, a biomassa microbiana, embora quantitativamente pouco representada, é de grande significância, visto que os produtos do seu

metabolismo constituem, por exemplo, uma das principais fontes do nitrogênio mineral e fósforo para as plantas (Jenkinson & Laad, 1981).

Os teores de matéria orgânica e nitrogênio total do solo têm estreitas relações com os potenciais de mineralização dos solos. Teoricamente, quanto maior o potencial produtivo de biomassa do ecossistema, maior é o aporte de matéria orgânica do solo, conseqüentemente, maior a quantidade de N mineralizada e maior a disponibilidade de N, e vice-versa (Gonçalves et al., 2001).

O nitrogênio ocupa posição de destaque entre os elementos essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Apesar de estar presente na camada arável do solo, em alguns casos em quantidade relativamente elevada, sua baixa disponibilidade aliada à necessidade das plantas, o torna um nutriente limitante a produtividade vegetal. A sua baixa disponibilidade é decorrente de que aproximadamente 95% do nitrogênio do solo encontra-se complexado na forma orgânica, sendo somente uma pequena parte mineralizada pela microbiota do solo (Bremner, 1965; Stevenson, 1982; Camargo et al., 1999a).

A mineralização é resultado da degradação das formas orgânicas do nitrogênio, exercida pela atividade microbiana, em formas inorgânicas, como NH_3 ou NH_4^+ . O processo é conduzido por organismos heterotróficos do solo que utilizam substâncias orgânicas nitrogenadas como fonte de C, N e energia (Camargo et al., 1999). Desempenha um papel significativo no ciclo do nitrogênio e é responsável pela transformação do N-orgânico presente no tecido vegetal para formas inorgânicas simples. A fase heterotrófica do ecossistema conduzida pela mineralização é um fenômeno biológico multiplicativo, traduzido pelo crescimento, pelas mudanças e renovações que resultam na formação de matéria orgânica e biomassa microbiana (Franzluebbers et al., 1994). Sendo assim, em toda atividade de mineralização existe um componente de imobilização, representado pela assimilação de nutrientes minerais responsáveis pela multiplicação, pelo crescimento e pela manutenção da microbiota (Camargo et al., 1999).

Dentre os métodos de laboratório, as incubações aeróbias e anaeróbias de amostras de solo têm sido promissoras (Stanford & Smith, 1972; Pottker & Tedesco, 1979; Salcedo et al., 1985), permitindo a obtenção de N mineralizado, de N potencialmente mineralizável e de taxas de mineralização de N e C bem correlacionadas com as quantidades de N absorvidas pelas plantas (Stanford et al., 1973; Lemos et al., 1988). Estes métodos fornecem uma boa estimativa das reservas de N mineralizável presentes por ocasião da amostragem e permitem estabelecer comparações entre os sítios, embora não reflitam as flutuações naturais que ocorrem sob condições de campo (Lamb, 1980; Hart & Binkley, 1985).

A biomassa microbiana do solo (BMS) foi definida por Jenkinson & Ladd (1981), como a parte viva da matéria orgânica do solo, excluindo raízes e animais maiores que 5.10^{-3} mm³, representando um importante componente ecológico, pois constitui um meio de transformação para todos os materiais orgânicos do solo, e atua como reservatório de nutrientes disponíveis às plantas. De acordo com as condições edafoclimáticas, a biomassa microbiana pode exercer função catalisadora, de fonte e/ou reserva de nutrientes (Paul & Clark, 1989; Wardle, 1992), sendo o seu estudo de grande importância em sistemas de manejo do solo, uma vez que influi na dinâmica dos nutrientes e na fertilidade do solo. Pode ser enquadrada como o compartimento central do ciclo do C, representando um considerável reservatório de nutrientes nos solos (Gama-Rodrigues, 1999).

Parâmetros microbiológicos são ferramentas importantes a se utilizar no estudo de solos. Dentre os indicadores microbiológicos de qualidade do solo, destacam-se respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM) e o quociente metabólico (qCO_2). A RBS reflete a atividade de microrganismos aeróbios e anaeróbios (Alef, 1995), ou seja, é a medida da produção de CO₂ resultante da atividade metabólica dos macro e microrganismos (Doran & Parkin, 1994); enquanto o CBM do solo é a fração viva da matéria orgânica, responsável por processos bioquímicos e biológicos no solo e sensivelmente alterada pelas condições impostas pelo meio (Balota et al., 1998). A combinação das medidas de carbono microbiano e respiração microbiana fornecem a quantidade de CO₂ liberada por unidade de biomassa, denominada quociente metabólico ou respiratório. O qCO_2 indica a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese, sendo indicador sensível para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato (Saviozzi et al., 2002).

Estimativas de biomassa e atividade microbiana podem ser indicadores úteis de qualidade do solo, pois a biomassa microbiana assume função importante na decomposição da MOS. Tem sido usada em estudos de produtividade das plantas, em diferentes ecossistemas terrestres, que permitem a quantificação da biomassa viva, presente no solo em um determinado tempo (Moreira e Siqueira, 2002).

A atividade dos microrganismos é geralmente medida em termos metabólicos, através de indicadores como CO₂ liberado, O₂ absorvido, atividades enzimáticas e N, P, S mineralizados (Grisi, 1995; De-Polli & Guerra, 1999).

Atualmente, as metodologias disponíveis têm sido utilizadas para a determinação do C, N, P e S microbiano dos solos em ecossistemas agrícolas, pastagens e florestas. Os métodos mais utilizados para a quantificação da biomassa microbiana do solo são: fumigação-

incubação (Jenkinson & Powlson, 1976), fumigação-extração (Brookes et al., 1985; Vance et al., 1987; Tate et al., 1988) e irradiação-extração (Ferreira et al., 1999).

Alguns estudos procuram relacionar a quantidade de C-CO₂ com o carbono da biomassa microbiana na mesma amostra de solo, onde o quociente metabólico é representado pela razão (respiração microbiana)/(biomassa microbiana) (Anderson & Domsch, 1985), diminuindo com o aumento da maturidade do solo. Dessa forma, à medida que uma determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos C é perdido como CO₂ pela respiração e uma fração significativa de C é incorporada ao tecido microbiano. Sendo assim, uma biomassa “eficiente” teria menor taxa de respiração em relação a uma biomassa “ineficiente” (Gama-Rodrigues, 1999).

Levando-se em consideração a importância da incorporação de nitrogênio aos solos florestais, o estudo sobre o processo pelo qual ocorre essa adição e a relevância da restauração florestal com espécies nativas, somado às interferências realizadas pelas populações microbianas e suas atividades no solo, tornam-se imprescindíveis estudos acerca de tais processos. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi determinar e comparar a dinâmica de mineralização de nitrogênio e as quantidades acumuladas de N mineral em ensaios de incubação, com amostras coletadas em Cambissolo e Gleissolo, sob espécies florestais nativas em área de restauração florestal na Mata Atlântica do sul do Brasil; bem como avaliar se a atividade microbiológica no solo é influenciada pelas características dos solos e/ou pelo tipo de vegetação usado na restauração florestal. E, ainda, se as condições climáticas têm algum efeito sobre esta atividade.

LITERATURA CITADA

- ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K.; e NANNIPIERI, P. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, 1995. 576 p.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. *Biol. Fertil. Soils*, 1: 81-89, 1985.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:641-649, 1998.
- BREMNER, J.M. Organic nitrogen soils. In: BARTHOLOMEW, W.V. (Ed.) *Soil nitrogen*. Madison: ASA/ SSSA, 1965. p. 93-149.
- BROOKES, P.C.; LANDMAN, A. PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method. *Soil Bio. & Bioch*, Oxford. 17: 837-842, 1985.
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, M.J.T.; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico no solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds) *Fundamentos da matéria orgânica – Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, 1999. 508p
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, 1999. p 389-412.
- FRANZLUEBBERS, A.J.; HANEY, R.L.; HONS, F.M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. *Soil Bio. & Bioch.*, 31: 395-405, 1999.
- FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; VIDOR, C. Utilização de microondas para avaliação da biomassa microbiana do solo. *R. Bras. Ci.Solo*, Viçosa, 23: 991-996, 1999.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. ; CAMARGO, F.A.O. (Ed.) . *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.227-243
- GONÇALVES, J.L.M; MENDES, K.C.F.S.; SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, 25: 601-616, 2001.
- GRISI, B.M. Biomassa e atividade de microrganismos do solo: revisão metodológica. *R. Nord. Bio*, Fortaleza, 10: 1-22, 1995.
- HART, S.C. & BINKLEY, D. Correlations among indices of forest soil nutrient availability in fertilized and unfertilized loblolly pine plantations. *Plant Soil*, 85:11-21, 1985.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Ed.). Soil biochemistry. New York: Dekker, 1981.v.5.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. Soil Bio. & Bioch., Oxford, 8: 209-213, 1976.

LAMB, D. Soil nitrogen mineralization in a secondary rainforest succession. Oecologia, 47:257-263, 1980.

LEMOES, E.E.P.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Comparação entre o N mineralizado através de incubações com e sem percolação e o N absorvido pelo milho em solo podzólico vermelho-amarelo. R. Bras. Ci. Solo, 12:127-130, 1988.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA, 2003.

PARROTA, J.A. Secondary forest regeneration on degraded tropical lands: the role of plantations as "foster ecosystem". In: LIETH, H. LOHMANN, M. (Eds.) Restoration of tropical forest ecosystem. The Hague: Kluwer Academic Publishers, 1993, p. 63-73.

PAUL,E.A.; CLARK,F.E. Soil microbiology and biochemistry. New York, Academic Press, 1989. 340p

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALD, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. Bio. & Fert. Soils, Berlin, 35: 96-101, 2002.

POTTKER, D.; TEDESCO, M.J. Efeito do tipo e tempo de incubação sobre a mineralização da matéria orgânica e nitrogênio total em solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci.Solo, 3:20-24, 1979.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. de F. (eds.). Matas ciliares: conservação e recuperação. São Paulo: EDUSP, 2004. p. 235-247

SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. & ALVES, G.D. Mineralização do carbono e do nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, 9:33-38,1985.

SCHNITZER, M. Soil organic matter-the next 75 years. Soil Science, Baltimore, 151: 41-58, 1991.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo: Fundaments e Perspectivas. Brasília: MEC Ministério da Educação, ABEAS; Lavras: ESAL, FAEPE, 1988. 236p.

STANFORD, G.; LEGG, J.D. & SMITH, S.J. Soil nitrogen availability evaluation based on nitrogen mineralization potential and uptake of labeled and unlabeled nitrogen by plant. Plant Soil, 39:113-124, 1973.

STANFORD, G.; SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potential of soils. Soil Science Society of American Proceedings. Madison, 36: 465-472, 1972.

STEVENSON, F.J. Organic forms of soil nitrogen. In: STEVENSON, F.J.(Ed.) Nitrogen in agricultural soil. Madison: ASA/ SSSA, 1982. p.67-122

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial - C – effects of experimental – variables and some different calibration procedures. Soil Bio. & Bioch., Oxford, 20: 329-335, 1988.

THENG, B.K.G.; TATE, K.R. & SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G., eds. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Hawaii, NifTAL Project, 1989. p.5-32.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. Soil Bio. & Bioch., 19:703-707, 1987.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. Biological Review, Cambridge, 67: 321-358, 1992.

CAPÍTULO 2 – MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO EM CAMBISSOLO E GLEISSOLO SOB RESTAURAÇÃO FLORESTAL COM ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA NO SUL DO BRASIL

RESUMO

Os microrganismos presentes no solo são responsáveis pelos processos de mineralização e pela disponibilização no solo de uma quantidade considerável de nutrientes. Por meio de métodos de incubação em laboratório, é possível obter uma boa estimativa das reservas de N mineralizável nos solos e estes ensaios são muito úteis na caracterização do funcionamento biogeoquímico de sítios florestais. Podem ainda servir para comparar diferentes sítios com relação a sua ecologia e/ou com relação ao potencial produtivo dos mesmos. Este trabalho teve o objetivo de determinar e comparar a dinâmica de mineralização de nitrogênio e as quantidades acumuladas de N mineral em Cambissolo e Gleissolo, sob *Senna multijuga* e *Cytharexylum myrianthum* plantadas em áreas de recuperação florestal. As amostras de solo foram coletadas nos dois sítios em Antonina-PR. O ensaio de mineralização de N foi conduzido sob incubação anaeróbica, à temperatura constante de 30° C, com extrações de N mineral (amônio e nitrato) aos 14, 28, 42, 56, 70, 84 e 98 dias. Os dados foram submetidos à análise de variância e as diferenças entre as médias foram asseguradas pelo teste de Tukey. No final de 98 dias de incubação a mineralização não havia estabilizado. A mineralização de nitrogênio foi maior no período entre 28 e 42 dias de incubação, com decréscimo gradativo após este período. Em Cambissolo o pico de mineralização ocorreu na primeira extração após a incubação e o N mineral total produzido foi maior em relação ao Gleissolo. Adicionalmente, em Cambissolo sob *C. myrianthum* o N mineralizado foi maior do que em *S. multijuga*. Para o Gleissolo não houve efeito da espécie sobre o N mineralizado.

Palavras-chave: Microbiota do solo, incubação anaeróbica, N mineral, matéria orgânica do solo.

CHAPTER 2 – NITROGEN MINERALIZATION IN CAMBISOL AND GLEYSOL UNDER FOREST RESTORATION WITH SPECIES OF THE ATLANTIC FOREST IN THE SOUTHERN BRAZIL

ABSTRACT

The microorganisms in the soil are responsible for the mineralization processes and for the release of a great amount of nutrients in the soil. Through laboratory incubation methods is possible to obtain a good estimate of the N mineralization in the soil and of part of the biogeochemical process in forest sites. They can also be important tools to compare the ecology and productivity of different sites. The aim of this work was to determine and compare the nitrogen mineralization dynamics and the mineral N stocks in Cambisol and Gleysol under *Senna multijuga* and *Cytherexylum myrianthum* planted in forest restoration areas. Soil samples were collected in both sites in Antonina-PR. An anaerobic incubation trial was carried out at constant 30° C, with ammonium and nitrate extractions at 14, 28, 42, 56, 70, 84 and 98 days after the beginning of the experiment. The data were submitted to ANOVA and the test of Tukey was used to compare averages between treatments. The nitrogen mineralization showed to be higher on the first 28-42 days of incubation, with a gradual reduction after this time but without reach the N production stabilization. At the end of 98 days of incubation the mineralization was not yet stabilized. In Cambisol the mineralization pics occurred first through time of incubation and the total mineral N produced was higher than in Gleysol. Additionally, in Cambisol under *C. myrianthum* the N mineralized was higher than under *S. multijuga*. For the Gleysol no species effect was observed for the N mineralized.

Key-words: Soil microbiota, anaerobic incubation, mineral N, soil organic matter.

1 INTRODUÇÃO

Os microrganismos presentes no solo, mesmo representando uma pequena fração do total de matéria orgânica do solo, são responsáveis pelos processos de mineralização, contendo uma quantidade considerável de nutrientes (N, P, S, Zn e Cu) potencialmente disponíveis às plantas (Jenkinson, 1988).

Uma das principais características do ciclo do N é a interação existente entre as atividades dos organismos autotróficos e heterotróficos, e, tanto o nitrogênio como outros elementos essenciais, são repetidamente utilizados na circulação contínua entre etapas que envolvem esses dois grupos de organismos (Paul & Clark, 1996; Atlas & Bartha, 1998).

Para Camargo et al. (1999), mineralização é o processo onde o nitrogênio de origem orgânica é transformado em formas inorgânicas, como NH_4^+ e NO_3^- . Tal processo é conduzido por organismos heterotróficos do solo que utilizam substâncias orgânicas nitrogenadas como fonte de C, N e energia. A imobilização é definida como a transformação do N-inorgânico (NH_4^+ , NH_3 , NO_3^- , NO_2^-) para formas orgânicas microbianas. A microbiota assimila os compostos inorgânicos nitrogenados, incorporando-os nos aminoácidos que irão participar da síntese de proteínas de suas células na formação da biomassa do solo (Camargo et al., 1999). Esses dois processos: mineralização e imobilização, são simultâneos e opostos, no solo, onde a dinâmica e intensidade relativa destes depende da quantidade de N mineral no solo.

Existem diversos métodos para estimar as taxas de mineralização em campo e em laboratório. A avaliação da disponibilidade de N pode ser por meio de método biológico de curto prazo, usando incubação da amostra de solo em laboratório, em temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes padronizadas, nos quais a liberação do N inorgânico é determinada em extratos obtidos por percolação ou agitação de amostras com solução salina diluída (Foth & Ellis, 1988; Wang et al., 2003). Por meio deste, é possível obter uma boa estimativa das reservas de N mineralizável presentes por ocasião da amostragem e permitem estabelecer comparações entre diferentes sítios (Lamb, 1980; Hart & Binkley, 1985).

A mineralização do N-orgânico do solo pode ser utilizada como um indicador potencial de disponibilidade de N às culturas. Este potencial e a respectiva taxa de mineralização podem ser utilizados na predição da disponibilidade de N às plantas em um determinado período de tempo (Camargo et al., 1997).

A mineralização do nitrogênio é influenciada, entre outros fatores, pela temperatura, onde o seu aumento acelera as reações químicas e o metabolismo dos microrganismos (Serrano, 1997); e também pela umidade, aeração, quantidade e natureza do material orgânico

presente. Sendo assim, cada solo possui capacidades distintas de disponibilização de N pela mineralização, conforme as características químicas, físicas e microbiológicas do solo.

A mineralização do nitrogênio nas frações mais lábeis ocorre nos períodos iniciais do processo, em poucas semanas ou meses. Os componentes mais estáveis da matéria orgânica do solo, representados por substâncias húmicas e outras macromoléculas, são, por sua vez, resistentes ao ataque microbiano, devido à sua estrutura molecular ou por estarem fisicamente protegidos em complexos organominerais ou retidos no interior de agregados, podendo persistir no solo por centenas de anos (Theng et al., 1989; Mengel, 1996; Geypens & Vanderdrieche, 1996).

Com base no exposto é de se esperar que: solos apresentando diferentes composições granulométrica e química, assim como sítios contendo diferentes espécies florestais, cujas biomassas diferem em composição química mineral e orgânica, devem apresentar comportamento distinto com relação à mineralização do nitrogênio.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi determinar e comparar a dinâmica de mineralização de nitrogênio e as quantidades acumuladas de N mineral em ensaios de incubação com amostras coletadas em Cambissolo e Gleissolo, sob *Senna multijuga* e *Cytherexylum myrianthum*, plantadas em áreas de recuperação florestal no litoral do Paraná.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

As parcelas de estudo estão localizadas na Reserva Natural do Rio Cachoeira (RNRC) (Figura 1), a qual está situada na porção oeste-noroeste da Baía de Antonina, no município de Antonina, região litorânea do Estado do Paraná. Faz parte da Zona de Conservação da Vida Silvestre da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guaraqueçaba. A Reserva pertence à ONG Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental (SPVS) e possui uma área de 8.600 ha, englobando áreas degradadas e ambientes naturais pouco alterados de Floresta Atlântica.

Os ambientes avaliados foram plantados com espécies de árvores nativas da Floresta Atlântica no ano de 2000, em áreas que foram anteriormente pastagem de búfalos, onde predominavam capins do gênero *Brachiaria*. Entre as espécies plantadas, foram selecionadas duas: *Senna multijuga* (Rich.) H.S. Irwin & Barneby e *Cytherexylum myrianthum* Cham., que além de predominarem nas áreas de plantio possuem capacidade distinta quanto à absorção de nitrogênio, sendo a primeira delas espécie que forma nódulos com potencial de fixação biológica de nitrogênio. Um dos sítios de estudo estava localizado sobre Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico e o outro sobre Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico/flúvico (SPVS, 2002).

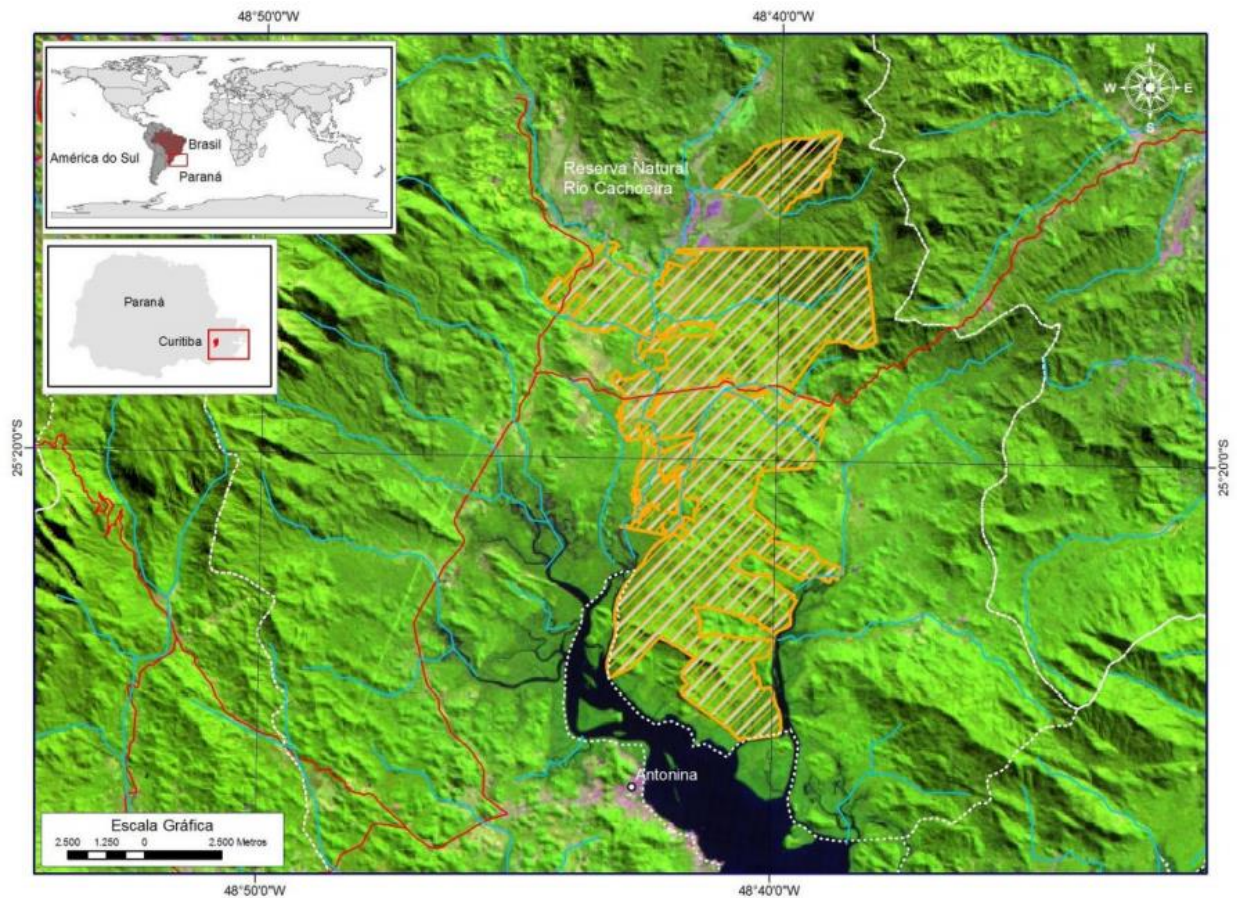


Figura 1. Localização da Reserva Natural Rio Cachoeira, Antonina-PR. Fonte: BORGIO, M. (2010)

2.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL

O delineamento amostral foi inteiramente casualizado com 4 tratamentos, em esquema fatorial 2x2, sendo o primeiro fator representado pelas espécies florestais dominantes nos sítios (*Senna multijuga* (Rich.) H.S. Irwin & Barneby e *Cytherexylum myrianthum* Cham.) e o segundo fator pelas classes de solo (Cambissolo e Gleissolo).

Cada tratamento possuía 10 repetições a campo representadas por 10 árvores sob as quais foram coletadas as amostras de solo para os ensaios de mineralização.

2.3 COLETAS DE SOLO

As amostras foram coletadas no final do outono (16 de junho de 2011). Sob as copas árvores selecionadas (1-2 m do tronco), foram definidos dois pontos de coleta na projeção da copa das árvores. Nestes pontos, foi retirada a serapilheira depositada e com auxílio de pá

cortadeira abriu-se pequena trincheira da qual foram extraídas as amostras de solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm (Figura 2). As duas amostras de solo, de cada camada, foram agrupadas em uma única amostra composta por profundidade e por árvore.



Figura 2. Coleta de solo nas profundidades de 0-5 e 10 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR

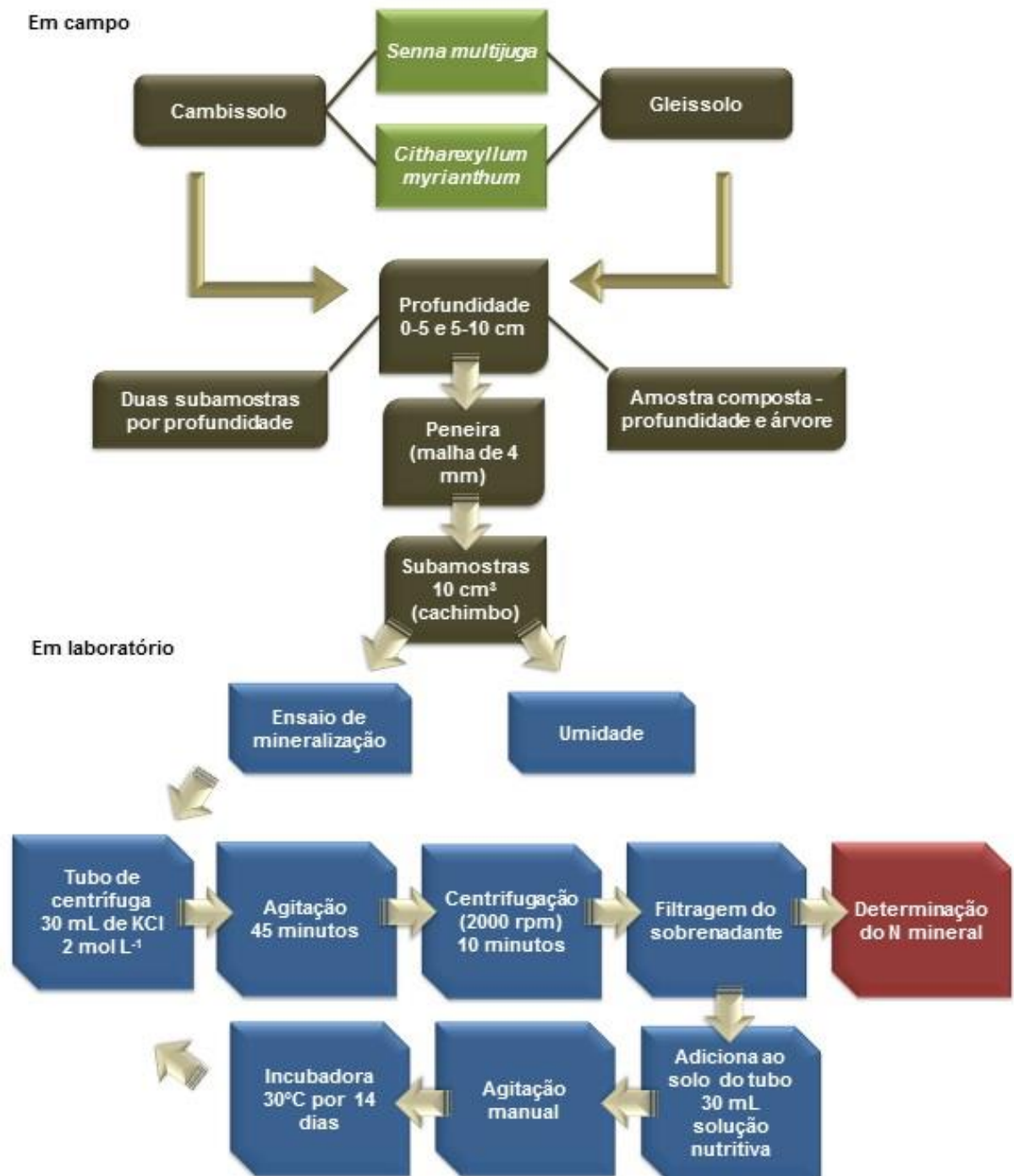


Figura 3. Fluxograma das coletas de solo e ensaio de mineralização de nitrogênio

2.4 ENSAIO DE MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO ORGÂNICO DO SOLO

Para a avaliação das taxas de mineralização de N sob condições anaeróbicas, utilizou-se o método descrito por Waring & Bremner (1964)(Figura 3). A coleta e preparo das

amostras para o ensaio de mineralização, entretanto, foram uma adaptação do procedimento realizado por Jussy (1998). As amostras compostas de solo, ainda a campo, foram passadas em peneiras de 4 mm de malha. Com auxílio de um cachimbo metálico (10 cm^{-3}), foram retiradas duas sub-amostras, uma para determinação da umidade de campo e outra para o ensaio de mineralização. Esta última foi colocada em tubo de centrifuga contendo 30 mL de solução extratora de $\text{KCl } 2\text{ mol L}^{-1}$ (Figura 4). As amostras foram então encaminhadas ao laboratório, ao final do período de coletas.



Figura 4. Peneiramento a campo e colocação das amostras em solução extratora de $\text{KCl } 2\text{ mol L}^{-1}$ para ensaio de incubação, Antonina - PR.

No laboratório, 24 horas após as coletas no campo, realizou-se a extração das alíquotas, posteriormente à agitação das amostras por 45 minutos e centrifugação por 10

minutos a uma velocidade de 2000 rpm. As amostras foram então filtradas com filtro de filtração rápida, previamente preparados com 1 lavagem com 20 mL de KCl 2 mol L⁻¹ e 3 lavagens consecutivas de 20 mL de H₂O deionizada, para eliminar resíduos de amônio que pudessem contaminar as amostras.

Essa extração inicial foi denominada de ponto zero. Consecutivamente iniciou-se o processo de incubação anaeróbica das amostras adaptado de Gonçalves et al. (2001). Em cada tubo, foram adicionados 30 mL de solução nutritiva contendo Na₃PO₄ (0,005 mol L⁻¹), MgSO₄ (0,002 mol L⁻¹) e CaCl₂ (0,005 mol L⁻¹), agitados manualmente para dispersão do solo e levados para incubadora, onde permaneceram a uma temperatura de 30°C. Passados 14 dias de incubação, realizou-se a primeira extração, e assim prosseguiram-se as demais extrações em intervalos de 14 dias entre as mesmas, totalizando-se sete extrações e 98 dias de incubação. Previamente a cada nova extração, a solução nutritiva era retirada, após centrifugação dos frascos; em seguida eram adicionados 30 mL da solução de KCl 2 mol L⁻¹. Após extração era adicionada nova solução nutritiva aos tubos, com as especificações acima descritas, para novo período de incubação.

A determinação do N mineral (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻) foi feita na solução sobrenadante filtrada. Para as leituras de nitrato utilizou-se o método de determinação por UV a 210 nm, com redução química do nitrato utilizando-se zinco metálico, adaptado de Heinzmann et al. (1988). Para determinação do NH₄⁺ foi utilizada metodologia baseada no método de determinação do amônio em extrato aquoso, descrito em Apha (2005).

A preparação das amostras para leitura de nitrato procedeu-se como descrito a seguir. Diluiu-se 1 mL do extrato em 0,2 mL de H₂SO₄, 1 mL de KCl em um frasco de 10 mL e completou-se com água deionizada para completar volume de 5 mL. A leitura foi feita a 210 nm em espectrofotômetro Shimadzu UV Mini 1240. Em duplicata de cada amostra foram adicionados 0,1 g de zinco metálico para a redução do nitrato. Após 24 horas de reação, a leitura foi realizada na duplicata. A diferença dos valores de leitura nas amostras, com e sem zinco metálico, expressa o teor de nitrato na solução extratora.

Para a determinação de amônio, foi diluído 1 mL do extrato em 0,2 mL de solução alcoólica de fenol, 0,2 mL de solução de nitroprussiato sódico, 0,5 mL de solução oxidante e foi completado o volume até 5 mL com água deionizada. Aguardou-se 1 hora para o desenvolvimento da cor antes de submetê-las à leitura no espectrofotômetro Shimadzu UV Mini 1240, em comprimento de onda de 640 nm.

2.5 ANÁLISES QUÍMICAS DOS SOLOS

Para a realização da análise química, as amostras foram secas em estufa, à temperatura de 60°C, seguindo os procedimentos conforme a metodologia descrita por Embrapa (1997). Para a determinação do C utilizou-se o dicromato de sódio mais ácido sulfúrico; para o K, P e Na o extrator Mehlich I; para os elementos Ca, Mg e Al o extrator KCl 1N (Norte Carolina); o cloreto de cálcio para determinar o pH em CaCl_2 (0,01 molar). Al, Ca e Mg foram lidos em absorção atômica, K e Na em fotômetro de chama, e P por colorimetria em espectrofotômetro UV/VIS. Os micronutrientes, Cu, Fe, Mn e Zn, foram extraídos com HCl 0,1 mol L⁻¹ e determinados por absorção atômica.

2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As diferenças entre as médias foram asseguradas pelo teste de Tukey (5% de probabilidade).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1- Características químicas dos solos

A interpretação dos resultados das análises de solo (Tabela 1) foi feita com base na Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004). Os solos se apresentam com acidez elevada, de maneira geral, independente da classe de solo, da profundidade e da espécie sob a qual o solo foi coletado. Observa-se, entretanto, valores de pH um pouco superiores nos solos sob *Cytherexylum myrianthum*. Esta acidez, em todos os casos, é principalmente relacionada com os altos teores de matéria orgânica dos solos, o que se expressa nos elevados valores de H nas amostras. Os teores de potássio se mostram entre médios e altos. Para Ca e Mg os teores encontrados no Cambissolo sob as duas espécies nas diferentes profundidades foram altos, enquanto no Gleissolo estes foram inferiores ao considerado satisfatório. Isto reflete na saturação por bases dos solos, sendo o Gleissolo classificado como distrófico e o Cambissolo, nestas profundidades avaliadas, sendo classificado como eutrófico. Os teores de P nas duas classes de solos estão bem acima do considerado adequado em termos de fertilidade.

Tabela 1. Características químicas das amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em Gleissolo e Cambissolo sob as espécies florestais *Senna multijuga* e *Cytherexylum myrianthum*, na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina - PR.

Classe de solo	pH CaCl ₂	pH SMP	Al -----	H+Al cmolc/dm ³	Ca	Mg	K	P PPM	C g/dm ³	SB	T	V%
Gleissolo												
<i>S. multijuga</i> 0-5	3,3	4,7	2,3	13,1	1,2	0,4	0,30	20,8	40,9	1,90	15,0	12,7
<i>S. multijuga</i> 5-10	3,3	4,7	3,1	13,1	0,9	0,1	0,24	15,3	35,1	1,24	14,3	8,7
<i>C. myrianthum</i> 0-5	3,9	5,2	1,4	9,0	1,1	0,1	0,08	33,9	21,2	1,28	10,3	12,5
<i>C. myrianthum</i> 5-10	3,7	5,0	1,7	10,5	1,9	0,5	0,23	55,8	31,8	2,63	13,1	20,0
Cambissolo												
<i>S. multijuga</i> 0-5	3,8	5,1	0,8	9,7	8,0	2,2	0,16	25,9	23,2	10,36	20,1	51,7
<i>S. multijuga</i> 5-10	3,6	5,0	1,3	10,5	5,4	1,4	0,16	24,4	19,2	6,96	17,5	39,9
<i>C. myrianthum</i> 0-5	4,0	5,4	0,5	7,8	7,3	2,3	0,12	17,6	25,3	9,72	17,5	55,5
<i>C. myrianthum</i> 5-10	4,1	5,4	0,3	7,8	8,7	3,0	0,32	23,9	24,6	12,02	19,8	60,7

3.2 Mineralização do nitrogênio

Ao se avaliar as curvas de mineralização, observou-se que não houve variações expressivas neste processo em função das espécies sobre o solo; provavelmente por serem plantios ainda jovens e matéria orgânica mineralizável ser originária de uso anterior do solo. Ao analisar os resultados em função das profundidades de coleta, observa-se, somente no Cambissolo, pico ligeiramente superior de N mineral na camada de 0-5 cm de profundidade, aos 28 dias de incubação. Mais nitidamente, foi possível observar a distinção dos resultados entre as duas classes de solos, onde o Cambissolo apresentou maiores valores de N mineralizado (Figura 5, 6, 7 e 8), o que parece estar ligado à maior fertilidade deste solo em comparação ao Gleissolo (Tabela 1).

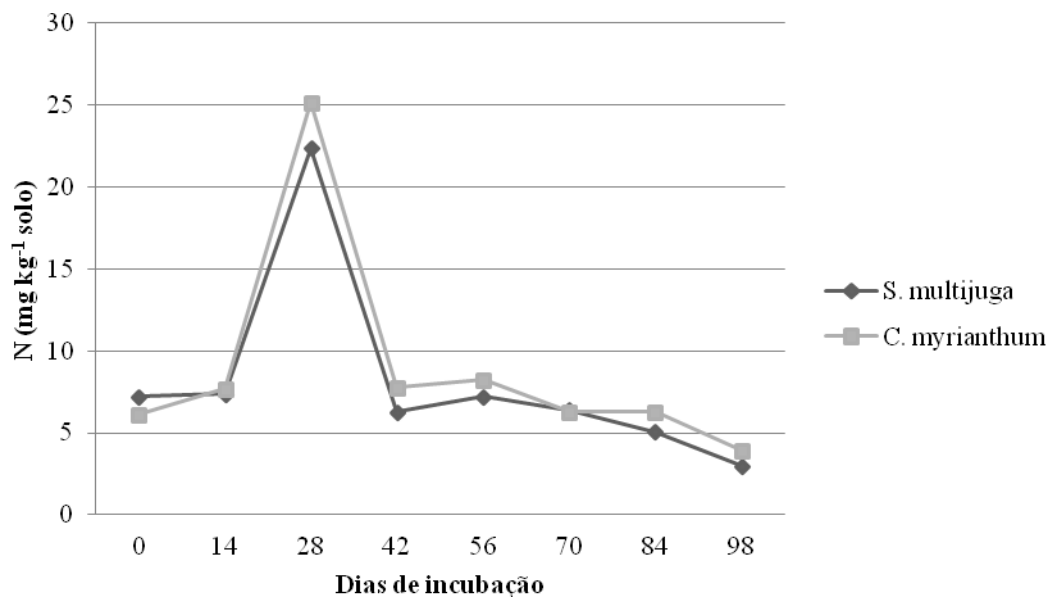


Figura 5. Mineralização de N em Cambissolo sob *S. multijuga* e *C. myrianthum* na profundidade de 0-5 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.

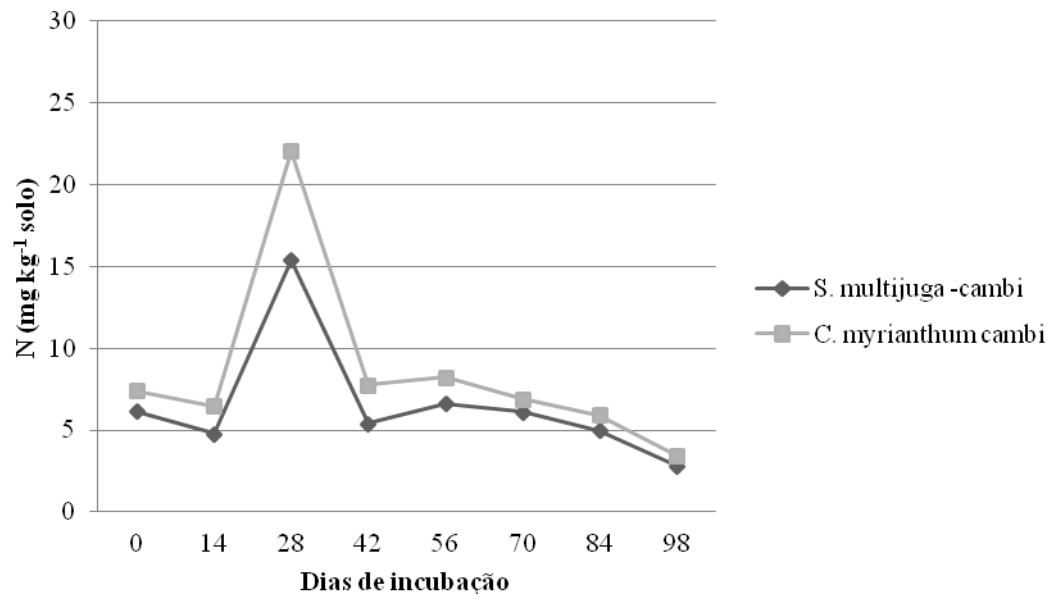


Figura 6. Mineralização de N em Cambissolo sob *S. multijuga* e *C. myrianthum* na profundidade de 5-10 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.

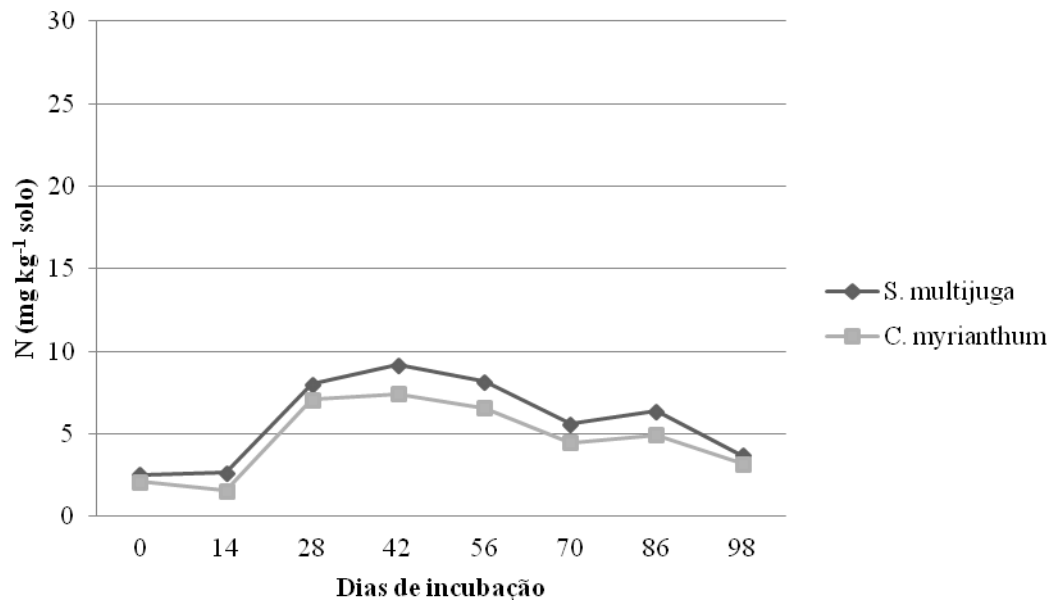


Figura 7. Mineralização de N em Gleissolo sob *S. multijuga* e *C. myrianthum* na profundidade de 0-5 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.

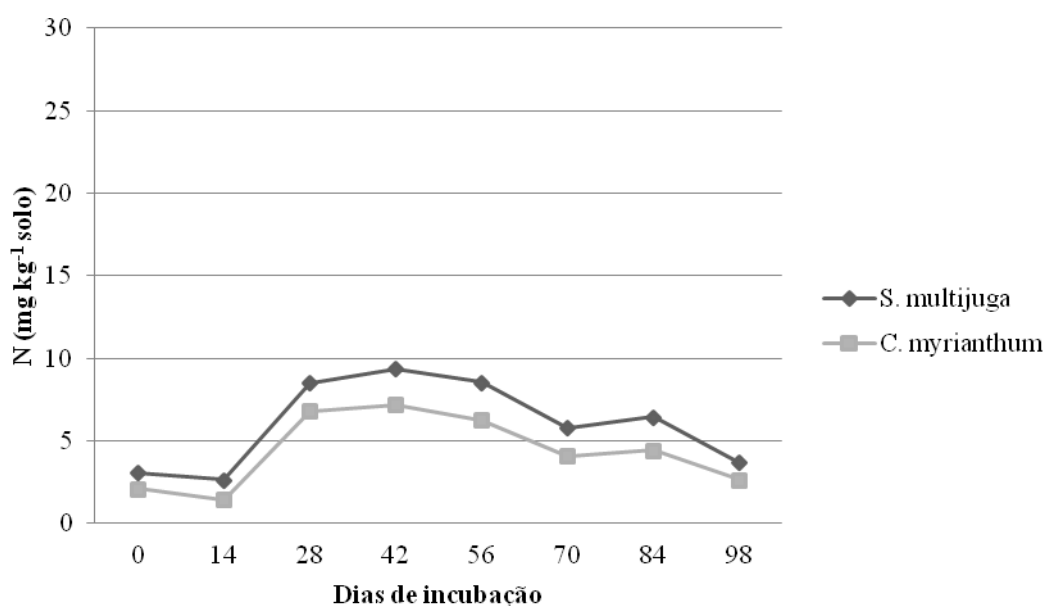


Figura 8. Mineralização de N em Gleissolo sob *S. multijuga* e *C. myrianthum* na profundidade de 5-10 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.

Em ambos os solos, guardadas as devidas proporções, a transformação em N mineral foi maior durante o período inicial de incubação (Figuras 5, 6, 7 e 8). Isto ocorre devido ao consumo, pelos microrganismos do solo, de compostos de mais fácil decomposição (Gupta & Reuszer, 1967; Chew et al., 1976). Pöttker & Tedesco (1979) ao estudar solos do Rio Grande do Sul encontraram resultados semelhantes, onde as taxas de mineralização do N diminuíram sensivelmente após as três semanas iniciais de incubação, e concluíram que durante a incubação há uma rápida liberação inicial de N, seguida de uma diminuição gradativa.

No Cambissolo, independente da espécie e da profundidade, o pico de mineralização ocorreu aos 28 dias de incubação, com posterior tendência de decréscimo gradual dos valores de N mineralizado. Para as amostras da área de Gleissolo, a maior produção de N mineral foi entre os 28 e 56 dias de incubação, na forma de patamar, diferenciando-se do Cambissolo na velocidade do processo de mineralização, retardando sua disponibilidade no solo; e com valores mais baixos na quantidade de N mineralizado. Desta forma, sugere-se que, durante a mineralização do N-orgânico do solo, os seus distintos componentes foram transformados a velocidades variáveis, sendo diretamente relacionadas com o caráter lábil ou recalcitrante das frações e com a atividade dos grupos microbianos que as utilizam; podendo ter ocorrido acumulação de alguns compostos orgânicos em função do seu elevado grau de recalcitrância e resistência ao ataque microbiano (Janssen, 1996). Resultados semelhantes foram obtidos por Yagi (2008), o qual observou o mesmo comportamento na mineralização de N em solos do

planalto ocidental do Estado de São Paulo, onde ocorreu aumento abrupto de N mineral nos períodos iniciais da incubação, havendo subsequente diminuição e estabilização a partir da quarta semana em 91% dos solos estudados; e enquadrando-se no modelo exponencial de decrescimento, ou seja, com aumento inicial e posterior diminuição e estabilização.

Outro fator que pode explicar as diferenças entre os solos é o comportamento hídrico dos solos. A característica hidromórfica do Gleissolo, dificultando a oxidação da matéria orgânica (Melo, 2004; Neu, 2005) explicaria os valores de mineralização mais baixos neste solo. Solos que permanecem úmidos durante a maior parte do ano apresentam uma camada de matéria orgânica mais espessa que os bem drenados, resultando em decomposição mais lenta dos restos vegetais (Haridasan, 1998). Isto pode ser observado na Tabela 1; no Gleissolo foram encontrados maiores teores C, provavelmente decorrentes de uma menor taxa de mineralização da matéria orgânica ao longo dos anos.

Somado a isso, tem-se o pH do solo, que constitui um importante fator a condicionar o processo de mineralização da matéria orgânica; com a correção da acidez do solo ocorre aumento nas taxas de mineralização do nitrogênio (Haynes, 1986). O efeito da calagem em aumentar as quantidades de N mineralizadas tem sido associado à elevação nos valores de pH, aumentando a atividade de organismos mineralizadores (Dancer et al., 1973; Nyborg & Hoyt, 1978; Silva et al., 1994). Silva et al. (1994) ao estudar o efeito do aumento do pH sobre a mineralização verificou que este promoveu um incremento na mineralização do N, sendo as maiores taxas obtidas durante os 40 dias iniciais de incubação. Dessa forma sugere-se que a diferença encontrada na quantidade de N mineralizado nas duas classes de solo tenha sido influenciada também pelo pH, uma vez que no Cambissolo foram observados maiores valores de pH (Tabela 1). Além do pH um pouco mais elevado cabe ressaltar os níveis mais elevados de bases trocáveis no Cambissolo que podem ter influenciado o processo de mineralização.

Portanto, cada solo possui capacidade intrínseca de fornecer N às plantas a partir da decomposição da MOS, em quantidades e taxas diferentes, que dependem do tipo de solo, da atividade microbiana e das condições ambientais (Camargo et al., 1997).

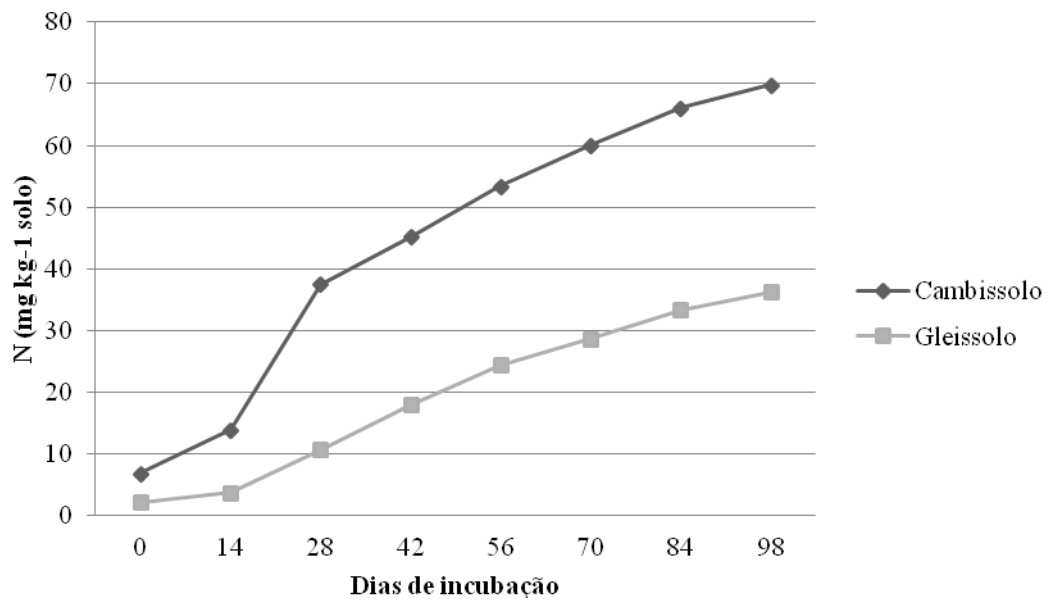


Figura 9. Mineralização acumulada em Cambissolo e Gleissolo sob *C. myrianthum* em área de restauração florestal na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.

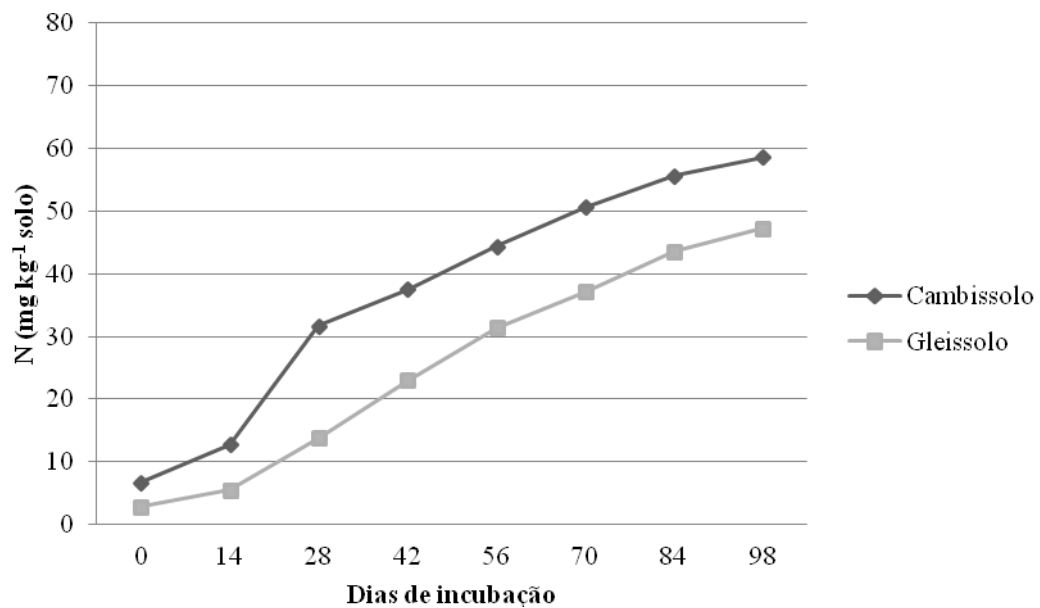


Figura 10. Mineralização acumulada em Cambissolo e Gleissolo sob *S. multijuga* em área de restauração florestal na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.

A quantidade de N mineralizado, acumulado aos 98 dias de incubação, sob *C. myrianthum* foi da ordem de 35 mg N kg⁻¹ solo (Gleissolo) a 70 mg N kg solo⁻¹ (Cambissolo), enquanto que para *S. multijuga* os valores ficaram entre 50 mg N kg solo⁻¹

(Gleissolo) e 60 mg N kg solo⁻¹ (Cambissolo) (Figuras 9 e 10; Tabela 3). Quando ambos os solos são considerados para comparar a mineralização acumulada sob as duas espécies em estudo, não são identificadas diferenças significativas entre as espécies para os valores de N mineral acumulado após 98 dias de incubação. Entretanto diferenças entre as duas classes de solos são observadas (Tabela 2). Por outro lado, se apenas o Cambissolo é considerado, diferenças entre as espécies para os valores de N acumulado são significativas (Tabela 3). Nesta classe de solo, o efeito da espécie sobre a mineralização acumulada se torna expressivo, sugerindo que neste solo o tamponamento quanto às variações na atividade microbológica é menos efetivo; provavelmente por suas melhores condições ao desenvolvimento microbiano. Mas investigações adicionais são necessárias para melhor compreensão do processo.

Tabela 2. N mineral médio acumulado após 98 dias de incubação em Cambissolo e Gleissolo e sob *S. multijuga* e *C. Myrianthum*, Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.

Fatores	N (mg kg⁻¹ solo)
Cambissolo	64,37 a
Gleissolo	41,79 b
<i>S. multijuga</i>	52,94 A
<i>C. myrianthum</i>	53,22 A

As médias seguidas pela mesma letra (minúsculas ou maiúsculas) não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3. N mineral acumulado após 98 dias de incubação sob *S. multijuga* e *C. myrianthum*, em Cambissolo e Gleissolo, Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.

Interações	N (mg kg⁻¹ solo)
<i>S. multijuga</i> em Cambissolo	58,62 b
<i>C. myrianthum</i> em Cambissolo	70,13 a
<i>S. multijuga</i> em Gleissolo	47,25 A
<i>C. myrianthum</i> em Gleissolo	36,32 A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4 CONCLUSÕES

Os picos de mineralização de N na fase inicial de incubação, tanto no Cambissolo quanto no Gleissolo, confirmam este comportamento clássico da mineralização do N e sugerem que, neste período, os microorganismos do solo consomem os compostos mais lábeis da MOS, restando apenas compostos de difícil decomposição que resultam em redução dos valores de N mineralizado ao longo do período de incubação.

Ambas espécies apresentaram maior mineralização em Cambissolo, podendo-se relacionar este resultado com a maior fertilidade observada nessas áreas se comparadas ao Gleissolo e também devido às condições de aeração do solo, superiores no Cambissolo.

A maior mineralização acumulada de N no Cambissolo sob *Citharexylum myrianthum* do que sob *Senna multijuga*, fato não observado sob Gleissolo, precisa ser melhor investigada para ser compreendida.

5 LITERATURA CITADA

APHA, A. E. G.; AWWA, A. D. E.; WEF, L. S. C. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington D. C.; American Public Health Association, 1995.

ATLAS, R.M.; BARTHA, R. Microbial ecology – fundamentals and applications. 4.ed. New York: Addison Wesley Longman Inc. 1988. 694p.

CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, M.J.T.; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico no solo. *In*: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds) Fundamentos da matéria orgânica – Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999, 508p.

CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Potencial de mineralização de nitrogênio orgânico em solos o Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 22: 575-580, 1997.

CHEW, W.Y.; WILLIAMS, C.N.; JOSEPH, K.T.; RAMLI, K. Studies on the availability to plants of soil nitrogen in Malaysian tropical oligotrophic peat. I – Effect of liming and pH. Tropical Agriculture, 53: 69-78, 1976.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.

DANCER, W.S.; PETERSON, L.A.; CHESTERS, G. Ammonification and nitrification of N as influenced by soil pH and previous N treatments. Soil Sci. Soc.America. Proceedings, Madison, 37: 67-69, 1973.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solo. Manual de Métodos de análise de Solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

FOTH, H.D.; ELLIS, B.G. Soil fertility. New York; John Wiley & Sons, 1988. 212p.

GEYPENS, M. & VANDERDRIECHE, H. Advisory systems for nitrogen fertilizer recommendation. Plant Soil, The Hague, 181:31-38, 1996.

GONÇALVES, J.L.M; MENDES, K.C.F.S.; SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, 25: 601-616, 2001.

GUPTA, U.C.; REUSZER, H.W. Effect of plant species on the aminoacid content and nitrification of soil organic matter. Soil Science, 104: 395-400, 1967.

HARIDASAN, M. Solos de Matas de Galeria e nutrição mineral de espécies arbóreas em condições natuais. *In*: RIBEIRO, J.F. (Ed) Cerrado: matas de galeria. Planaltina: Embrapa – CPAC, 1998. p. 17-28.

HART, S.C. & BINKLEY, D. Correlations among indices of forest soil nutrient availability in fertilized and unfertilized loblolly pine plantations. Plant Soil, 85:11-21, 1985.

HAYNES, R.J. - The decomposition process: mineralization, immobilization, humus formation, and degradation. In: HAYNES, R.J., ed. Mineral nitrogen in the plant-soil system. Orlando, Academic Press, 1986, p. 52-126.

HEINZMANN, F.X.; MIYAZAVA, M. & PAVAN, M.A. Determinação de nitrato por espectrofotometria de absorção ultravioleta. R. Bras. Ci. Solo, 8: 159-163, 1984.

JANSSEN, B.H. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. Plant Soil, The Hague, 181:39-45, 1996

JENKINSON, D.S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In: WILSON, J.B. (Ed.). Advances in nitrogen cycling. Wallingford: CAB International, 1988. p.368-386.

JUSSY, J-H. Minéralisation de l'azote, nitrification et prélèvement racinaire dans différents écosystèmes forestiers sur sol acide. Effet de l'essence, du stade de développement du peuplement et de l'usage ancien des sols. Nancy, Université Henri Poincaré, 1998. 156p (Tese de doutorado).

LAMB, D. Soil nitrogen mineralization in a secondary rainforest succession. Oecologia, 47:257-263, 1980.

MELO, A. W. F. Avaliação do Estoque e Composição Isotópica do Carbono do Solo no Acre. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 2003. (Dissertação de Mestrado).

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. Pl. Soil, The Hague, 181:83-93, 1996.

NEU, V. Influência da Cobertura Vegetal na Ciclagem de Nutrientes Via Solução do Solo na Região de Manaus – AM. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 2005. (Dissertação de Mestrado).

NYBORG, M.; HOYT, P.B. Effects of soil acidity and liming on mineralization of soil nitrogen. Canadian J. Soil Science, 58: 331-338, 1978.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. New York: Academic Press, 1996. 340p.

PÖTTKER, D. & TEDESCO, M.J. Efeito do tipo e tempo de incubação sobre a mineralização da matéria orgânica e nitrogênio total em solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 3:20-24, 1979.

SERRANO, M. I. P. Mineralização, absorção e lixiviação de nitrogênio em povoamentos de Eucalyptus grands sob cultivo mínimo e intensivo do solo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 1997.

SILVA, C.A.; VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G. Efeito da calagem na mineralização do nitrogênio em solos de Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 18: 471-476, 1994.

SOCIEDADE DE PESQUISA EM VISA SELVAGEM E EDUCAÇÃO AMBIENTAL – SPVS. Levantamento de solos Reserva Natural do Rio Cachoeira. Curitiba, SPVS/TNC, 2002. 192p. (Relatório Técnico).

THENG, B.K.G.; TATE, K.R. & SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G. (Eds.). Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Hawaii, NifTAL Project, 1989. p.5-32.

WANG, W.J.; SMITH, C.J.; CHEN, D. Towards a standardized procedure for determining the potentially mineralizable nitrogen of soil. *Bio. Fert. Soils*, 37: 362-374, 2003.

WARING, S. A.; BREMNER, J. M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature*, London, 201: 951-952, 1964.

YAGI, R. Métodos químicos para a estimativa do Nitrogênio disponível do solo. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2008, 120p.

CAPÍTULO 3 – ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA EM CAMBISSOLO E GLEISSOLO SOB RESTAURAÇÃO FLORESTAL COM ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA NO SUL DO BRASIL

RESUMO

A população microbiana do solo atua como um catalisador das importantes transformações químicas no solo, desempenhando um papel essencial no funcionamento dos ecossistemas. Representa um compartimento lábil de muitos nutrientes e um regulador dos processos biológicos do sistema solo-planta, fornecendo assim importantes informações acerca das mudanças nas propriedades orgânicas do solo. A avaliação da biomassa microbiana do solo (BMS) pode ser realizada através de diversos parâmetros microbiológicos, dentre os quais destacam-se o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), a Respiração Basal do Solo (RBS) e o Quociente Metabólico (qCO_2). Este trabalho teve o objetivo de avaliar e comparar a atividade da BMS em Cambissolo e Gleissolo, sob duas espécies arbóreas, *Senna multijuga* e *Cytharexylum myrianthum*, plantadas em áreas de recuperação florestal. As amostras de solo foram coletadas sob árvores das duas espécies, no outono e na primavera, em Antonina-PR. Para extração do CBM, utilizou-se o método de irradiação-extração; a avaliação da RBS foi realizada a partir da incubação das amostras com retenção de CO_2 por NaOH 1 mol L^{-1} e o qCO_2 foi calculado pela razão entre a RBS e o CBM. Os valores de CBM sob *S. multijuga* foram superiores em Cambissolo quando comparados aos Gleissolo. CBM apresentou-se mais elevado na primavera comparativamente ao outono. A RBS, em ambas profundidades e épocas, foi muito maior no Cambissolo em relação ao Gleissolo. O qCO_2 foi maior no Cambissolo em comparação com Gleissolo, para ambas as profundidades do solo.

Palavras-Chave: Atividade microbiana, biomassa microbiana do solo, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo e quociente metabólico.

CHAPTER 3 - MICROBIOLOGICAL ACTIVITY IN CAMBISOL AND GLEYSOL UNDER FOREST RESTORATION WITH THE ATLANTIC FOREST SPECIES IN SOUTHERN BRAZIL

ABSTRACT

The microbial soil population acts as catalyst for important chemical transformations in soil, playing essential role in ecosystem functioning. Represents a labile compartment of many nutrients and regulates biological processes in the soil-plant system, thus providing important information about changes in the organic compartment of the soil. Assessment of microbial soil biomass (BMS) can be accomplished through various microbiological parameters, stand out among the microbial biomass carbon (CBM), basal soil respiration (RBS) and metabolic quotient (qCO_2). This work aimed to evaluate and compare the activity of BMS in Cambisol and Gleysol under two tree species, *Senna multijuga* and *Cytherexillum myrianthum* planted in forest restoration areas. Soil samples were collected at two sites during Fall and Spring seasons in Antonina-PR, Brazil. For extraction of the CBM, we used the extraction-irradiation method; the RBS evaluation was performed from incubation of samples with retention of CO_2 in NaOH 1N and qCO_2 was calculated as the ratio between the RBS and the CBM. The CBM values under *S. multijuga* were higher in the Cambisol when compared to Gleysol. CBM showed higher values during Spring than during Fall. The RBS, in both depths and seasons, was much higher for Cambisol than for Gleysol. The qCO_2 was higher in Cambisol compared to Gleysol, for both soil depths.

Key-Words: Microbial activity, microbial soil biomass, microbial biomass carbon, basal soil respiration and metabolic quotient.

1 INTRODUÇÃO

Os organismos do solo interagem intensamente com as partículas do solo e são responsáveis por inúmeros processos biológicos e bioquímicos essenciais para garantir a sustentação do ecossistema onde eles vivem (Marchiori Júnior & Melo, 1999).

A população microbiana do solo atua como um catalisador de importantes transformações químicas no solo e, conseqüentemente, desempenha um papel essencial no funcionamento dos ecossistemas (Powlson et al. 1987; Bonde et al. 1988). Assim, o conhecimento das flutuações da população microbiana do solo é de capital importância, devido às importantes funções que os microrganismos desempenham nos solos. Além de sua função catalisadora das transformações bioquímicas do solo, a biomassa microbiana do solo (BMS) representa um compartimento lábil de muitos nutrientes, que são reciclados rapidamente (Duxbury et al., 1989), tornando-se um regulador crítico dos processos biológicos do sistema solo-planta (Srivastava & Singh, 1991; Wardle, 1992; Rice et al., 1996).

Como parâmetro ecológico, a avaliação da BMS permite obter informações rápidas sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo, detectar mudanças causadas por cultivos ou por devastação de florestas, medir regeneração dos solos após a remoção da camada superficial e, ainda, avaliar os efeitos dos poluentes como metais pesados e pesticidas, entre outros (Frighetto, 2000).

A medição desse compartimento e de sua atividade é relevante para a conservação dos solos (Sparling, 1992; Wardle & Ghani, 1998; De- Polli & Guerra, 1999). A biomassa microbiana é considerada tanto um agente de transformação, por meio do qual passam todos os materiais orgânicos adicionados ao solo, quanto um reservatório de nutrientes (Jenkinson & Ladd, 1981), sendo o seu estudo de grande importância em sistemas de manejo do solo, uma vez que influi na dinâmica dos nutrientes e na fertilidade do solo. É o principal componente do subsistema de decompositores que regula a ciclagem de nutrientes, o fluxo de energia, a produtividade das plantas e dos ecossistemas.

A BMS representa de 1 a 4% do carbono total no solo, podendo atingir toneladas por hectare e apresentar elevada importância, por ser o maior componente lábil da matéria orgânica do solo (MOS); por ser um importante reservatório de nutrientes potencialmente disponíveis às plantas e, por último, por ser um indicador de grande sensibilidade para avaliar as mudanças no solo, sendo influenciada pelas adubações, métodos de cultivo e condições edafoclimáticas (Siqueira & Franco, 1988).

O carbono da biomassa microbiana (CBM) é o destino inicial do carbono em transformação no solo e funciona como fonte de energia armazenada para processos microbianos e, apesar de ser influenciado pelo clima e adições de resíduos, é considerado um possível indicador de qualidade do solo, porque representa a fração ativa e biodegradável da MOS e reflete tendências de mudanças que estão ocorrendo na mesma a médio e a longo prazo, nas frações de ciclagem mais lenta (Feigl et al., 1998).

A atividade heterotrófica da biomassa pode ser avaliada pela Respiração Basal do Solo (RBS), ou seja, liberação de C-CO₂ em amostras coletadas no campo, sendo a quantidade de carbono liberado indicativo do carbono lábil ou prontamente metabolizável do solo (Doran & Parkin, 1996). Os métodos de avaliação da biomassa microbiana do solo são bastante variados, mas, de forma geral, permitem a avaliação do *pool* de carbono e, também, de outros nutrientes contidos nos microrganismos (De-Polli & Guerra, 1997).

A razão entre o CO₂ evoluído e o *pool* de carbono da biomassa microbiana fornece o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), que indica o estado metabólico dos microrganismos e pode ser utilizado como indicador de estresse/perturbação ou estabilidade do ecossistema (De-Polli & Guerra, 1997). Anderson & Domsch (1993) propuseram a determinação de $q\text{CO}_2$ como componente relevante na avaliação dos efeitos ambientais e antropogênicos sobre a atividade microbiana no solo, sendo, portanto, também é um bom indicador do grau de desenvolvimento de um ecossistema, podendo ser indicador do grau de reabilitação (Carneiro, 2000).

Devido ao fato da BMS regular as transformações bioquímicas e a ciclagem de fitomassa e nutrientes no solo e, assim, servir como indicador de qualidade do solo, buscou-se avaliar a sua atividade por meio da determinação de parâmetros microbiológicos como o CBM, RBS e $q\text{CO}_2$ em áreas de restauração florestal com espécies da Mata Atlântica, no litoral do Paraná, em duas classes de solos (Cambissolo e Gleissolo). O objetivo foi avaliar se a atividade microbiológica no solo é influenciada pelas características dos solos e/ou pelo tipo de vegetação usado na restauração florestal. E, ainda, se as condições climáticas têm algum efeito sobre esta atividade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

As parcelas de estudo estão localizadas na Reserva Natural do Rio Cachoeira (RNRC) (Figura 1), a qual está situada na porção oeste-noroeste da Baía de Antonina, no município de Antonina, região litorânea do Estado do Paraná. Faz parte da Zona de Conservação da Vida Silvestre da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guaraqueçaba. A Reserva pertence à ONG Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental (SPVS) e possui uma área de 8.600 ha, englobando áreas degradadas e ambientes naturais pouco alterados de Floresta Atlântica.

Os ambientes avaliados foram plantados com espécies de árvores nativas da Floresta Atlântica no ano de 2000, em áreas que foram anteriormente pastagem de búfalos, onde predominavam capins do gênero *Brachiaria*. Entre as espécies plantadas, foram selecionadas duas: *Senna multijuga* (Rich.) H.S. Irwin & Barneby e *Cytharexylum myrianthum* Cham., que, além de predominarem nas áreas de plantio, possuem capacidade distinta quanto à absorção de nitrogênio, sendo a primeira delas espécie que forma nódulos com potencial de fixação biológica de nitrogênio. Um dos sítios de estudo estava localizado sobre Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico e o outro sobre Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico/flúvico. (SPVS, 2002).

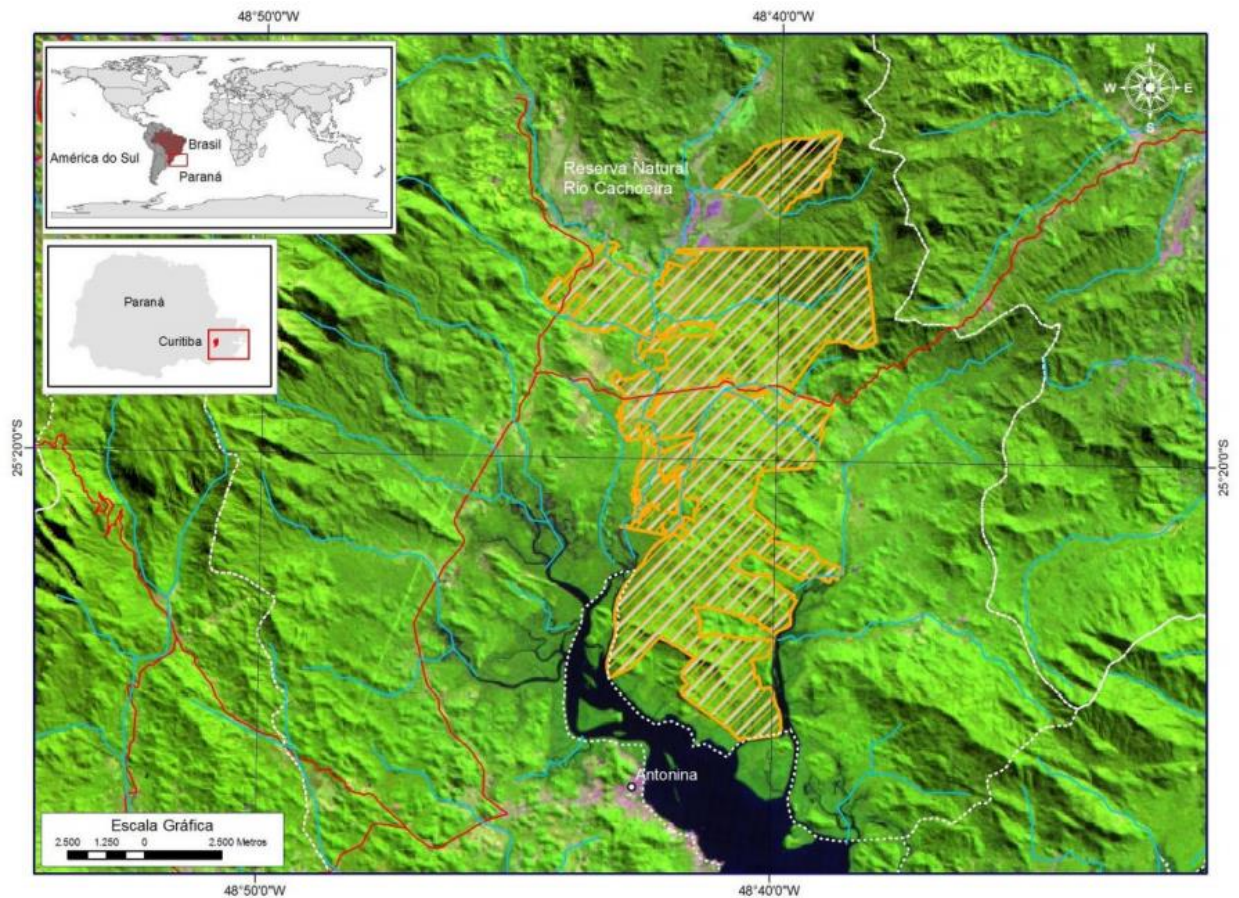


Figura 1. Localização da Reserva Natural Rio Cachoeira, Antonina-PR. Fonte: BORGIO, M. (2010)

2.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL

O delineamento amostral foi inteiramente casualizado com 4 tratamentos, em esquema fatorial 2x2x2, sendo o primeiro fator representado pelas classes de solo (Cambissolo e Gleissolo), o segundo pelas épocas de coleta (Outono e Primavera) e o terceiro fator pelas espécies florestais dominantes nos sítios (*Senna multijuga* (Rich.) H.S. Irwin & Barneby e *Cytharexylum myrianthum* Cham.).

Cada tratamento possuía 10 repetições a campo, representadas por 10 árvores sob as quais foram coletadas as amostras de solo.

2.3 COLETAS DE SOLO

Foram realizadas duas coletas em estações distintas, a primeira no final do outono (16 de junho de 2011) e a segunda no final da primavera (12 de dezembro de 2011).

Sob as copas árvores selecionadas (1-2 m do tronco), foram definidos dois pontos de coleta na projeção da copa das árvores. Nestes pontos, foi retirada a serapilheira depositada e

com auxílio de pá cortadeira abriu-se pequena trincheira da qual foram extraídas as amostras de solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm (Figura 2). As duas amostras de solo, de cada camada, foram agrupadas em uma única amostra composta por profundidade e por árvore.



Figura 2. Coleta de solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.

2.4 ANÁLISES QUÍMICAS DOS SOLOS

Para a realização da análise química, as amostras foram secas em estufa, à temperatura de 60°C, seguindo os procedimentos conforme a metodologia descrita por Embrapa (1997). Para a determinação do C utilizou-se o dicromato de sódio mais ácido sulfúrico; para K e P, o extrator Mehlich I; para os elementos Ca, Mg, Na e Al, o extrator KCl 1 mol L⁻¹; solução de cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹) na determinação do pH. Al, Ca e Mg foram lidos em absorção atômica, K e Na em fotômetro de chama, e P por colorimetria em espectrofotômetro UV/VIS. Os micronutrientes, Cu, Fe, Mn e Zn, foram extraídos com HCl 0,1 mol L⁻¹ e determinados por absorção atômica.

2.5 DETERMINAÇÃO DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (CBM)

As análises foram realizadas no Laboratório de Biologia do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná.

Após coletadas, as amostras foram estocadas a 4°C, por 5 dias, para tentar manter as características microbiológicas do solo no campo. No laboratório, as amostras foram peneiradas em malha de 2 mm, retirando-se os fragmentos de animais e vegetais por meio de catação.

Para extração do Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) do solo, utilizou-se o método de irradiação-extração, descrito por Ferreira et al. (1999), por ser o mais indicado para solos ácidos e com elevados teores de matéria orgânica. Para cada amostra, foram pesadas duas alíquotas de 40g de solo, as quais foram colocadas em frascos plásticos de 200 mL. A umidade das amostras foi obtida em uma terceira alíquota de 40g, por determinação gravimétrica (Embrapa, 1997). Em seguida, uma das alíquotas foi irradiada em forno microondas marca Sanyo Prosdócimo, modelo EM 9003 B, tensão de alimentação 120 V (60 Hz), frequência de microondas de 2.450 MHz e concentração de energia 1,35 kW, durante um tempo de 120 segundos por amostra.

Posteriormente, adicionaram-se a todos os frascos 50 mL de K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹ (Vance et al., 1987), seguido de agitação por 30 minutos em agitador orbital a 220 rpm. Após a decantação do solo, retirou-se o sobrenadante passando-o em filtro de papel acoplado a um funil e frasco para acondicionar as soluções.

O CBM foi determinado seguindo a metodologia de Silva et al., (2007), onde transferiu-se 8 mL do extrato filtrado para um Erlenmayer de 250 mL. Adicionou-se 2 mL de

solução 0,066 mol L⁻¹ de dicromato de potássio, 10 mL de solução de ácido sulfúrico p.a. e 5 mL de ácido ortofosfórico p.a., nesta ordem. Aguardou-se resfriamento e adicionou-se 70 mL de água deionizada. Esperou-se esfriar e adicionou-se quatro gotas de difenilamina e titulou-se sob agitação magnética com uma solução 0,033 mol L⁻¹ de sulfato ferroso amoniacal.

O cálculo da biomassa microbiana do solo foi dado pela diferença de C encontrado na amostra irradiada e o C recuperado na amostra não irradiada, aplicando o fator de correção de 0,45 (De-Polli & Guerra, 1996), representados na seguinte equação:

$$CBM = (CFI - CNFI) / Kc = \text{mg C kg}^{-1} \text{ de solo}$$

em que CBM= carbono presente na biomassa microbiana do solo; CFI = carbono presente na amostra irradiada; CNFI = carbono presente na amostra não irradiada; Kc = fator de correção.

2.6 DETERMINAÇÃO DA RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO (RBS) E QUOCIENTE METABÓLICO ($q\text{CO}_2$)

Determinou-se a RBS a partir da incubação das amostras com retenção de CO₂ por NaOH 1 mol L⁻¹ (Silva et al., 2007). Pesou-se 50 g de solo, previamente peneirados em malha de 2 mm, em potes de 2 L, posteriormente foi colocado um recipiente contendo 10 mL de NaOH 1 mol L⁻¹ e um tubo de ensaio contendo 10 mL de água deionizada a fim de manter a umidade das amostras durante o período de incubação. Os potes foram fechados hermeticamente para que não houvesse entrada de CO₂ do ar externo ou fuga do CO₂ internamente produzido. Separou-se quatro potes contendo apenas a solução de NaOH e água deionizada que serviu como solução controle (branco). Após preparo das amostras, incubou-se à temperatura constante de 25°C durante 10 dias.

Após o período de incubação foram retirados os frascos contendo NaOH, e imediatamente adicionados 2 mL de BaCl₂, afim de completar a precipitação do CO₂. Logo após, titulou-se esta solução com HCl 0,5 mol L⁻¹, utilizando-se como indicador uma solução de fenolftaleína 1% (Silva et al., 2007).

O cálculo da RBS é representado na seguinte equação:

$$RBS = \frac{((Vb-Va).M.6.1000)/Ps}{T}$$

em que RBS= carbono oriundo da respiração basal do solo; Vb (mL)= volume do ácido clorídrico gasto na titulação da amostra branco; Va (mL)= volume do ácido clorídrico gasto na titulação da amostra; M= molaridade exata do HCl; Ps (g)= massa de solo seco e T= tempo de incubação da amostra em horas.

O quociente metabólico foi calculado pela razão entre a respiração basal do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo conforme descrito por Silva et al. (2007). O cálculo do $q\text{CO}_2$ da respiração basal do solo é:

$$q\text{CO}_2 = \frac{\text{RBS (mg C-CO}_2\text{.kg}^{-1}\text{ solo h}^{-1}\text{)}}{\text{CBM (mg C.kg}^{-1}\text{ solo) } 10^{-3}}$$

Onde, $q\text{CO}_2$ (quociente metabólico), CBM (concentração de carbono da biomassa) e RBS (respiração basal).

2.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as diferenças entre as médias foram asseguradas pelo teste de Tukey (5% de probabilidade).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interpretação dos resultados das análises de solo (Tabela 1) foi feita com base na Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004). As áreas estudadas apresentam solos com acidez elevada, com valores de pH um pouco superiores nos solos sob *Cytharexylum myrianthum*. Esta acidez é principalmente relacionada com os altos teores de matéria orgânica dos solos, também indicado pelo predomínio de acidez ligada ao hidrogênio nos resultados de H+Al. Possuem teores de potássio entre médios e altos. No Cambissolo os teores de Ca e Mg sob as duas espécies nas diferentes profundidades foram altos, enquanto no Gleissolo estes foram inferiores ao considerado satisfatório, refletindo na saturação por bases dos solos; dessa forma caracterizando, nestas profundidades avaliadas, o Gleissolo como distrófico e o Cambissolo como eutrófico. Os teores de fósforo nas duas classes de solos estão bem acima do considerado adequado em termos de fertilidade (Tabela 1). Estas diferenças de valores nos parâmetros de fertilidade são certamente em parte relacionadas às diferenças pedogenéticas entre as duas classes de solo, mas podem também ter tido influência do histórico de uso do solo e do manejo que os mesmos sofreram em tempos pretéritos.

Tabela 1. Características químicas das amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em Gleissolo e Cambissolo sob as espécies florestais *Senna multijuga* e *Cytharexylum myrianthum*, Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.

Classe de solo	pH	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	P	C	SB	T	V%
	CaCl ₂	SMP	-----	cmolc/dm ³	-----	-----	ppm	g/dm ³	cmolc/dm ³			
Gleissolo												
<i>S. multijuga</i> 0-5	3,3	4,7	2,3	13,1	1,2	0,4	0,30	20,8	40,9	1,90	15,0	12,7
<i>S. multijuga</i> 5-10	3,3	4,7	3,1	13,1	0,9	0,1	0,24	15,3	35,1	1,24	14,3	8,7
<i>C. myrianthum</i> 0-5	3,9	5,2	1,4	9,0	1,1	0,1	0,08	33,9	21,2	1,28	10,3	12,5
<i>C. myrianthum</i> 5-10	3,7	5,0	1,7	10,5	1,9	0,5	0,23	55,8	31,8	2,63	13,1	20,0
Cambissolo												
<i>S. multijuga</i> 0-5	3,8	5,1	0,8	9,7	8,0	2,2	0,16	25,9	23,2	10,36	20,1	51,7
<i>S. multijuga</i> 5-10	3,6	5,0	1,3	10,5	5,4	1,4	0,16	24,4	19,2	6,96	17,5	39,9
<i>C. myrianthum</i> 0-5	4,0	5,4	0,5	7,8	7,3	2,3	0,12	17,6	25,3	9,72	17,5	55,5
<i>C. myrianthum</i> 5-10	4,1	5,4	0,3	7,8	8,7	3,0	0,32	23,9	24,6	12,02	19,8	60,7

O Carbono da Biomassa Microbiana, na profundidade de 0-5 cm, no outono não diferenciou-se entre as espécies bem como entre as classes de solo, enquanto que na primavera os valores de CBM sob a *Senna multijuga*. foram superiores no Cambissolo em relação ao Gleissolo. Para ambas espécies e classes de solo, os valores de CBM na primavera foram superiores aos observados no outono. Resultados semelhantes foram encontrados na profundidade de 5-10 cm (Figuras 4 e 5).

Esses resultados podem estar relacionados ao fato desta espécie ser uma leguminosa e a presença de nódulos em suas raízes (Figura 3) ter sido observada durante a coleta de primavera, sendo que para a formação destes é necessário que as bactérias simbiotes se multipliquem na rizosfera para posterior infecção das raízes e finalmente o desenvolvimento dos nódulos. Desta forma, sugere-se que, o elevado número de bactérias nessa região tenha refletido em maiores quantidades de carbono da biomassa microbiana, uma vez que este corresponde ao C da constituição da microbiota do solo. Os maiores valores encontrados para respiração basal do solo demonstram estar atrelados ao metabolismo destas bactérias ao multiplicarem-se, resultando em maior liberação de C-CO₂ no solo.



Figura 3. Nódulos em raízes de *Senna mutijuga* na área de Gleissolo coletados na primavera na profundidade de 0-5 cm na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR.

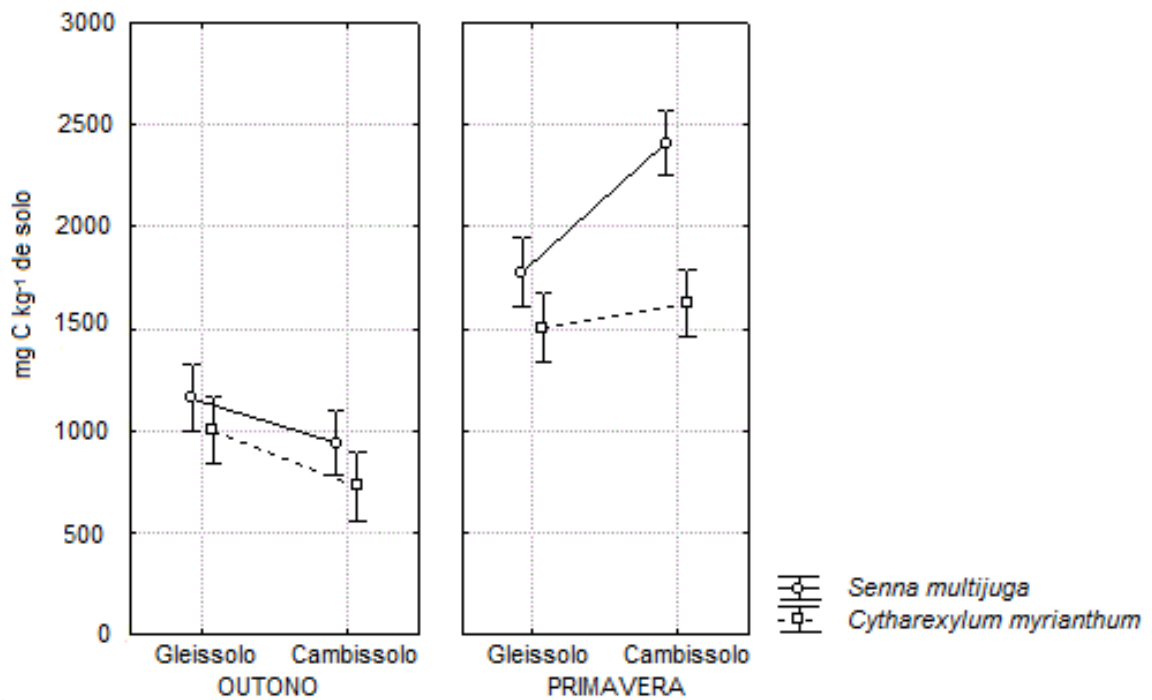


Figura 4. Valores médios de Carbono na Biomassa Microbiana (CBM) em Gleissolo e Cambissolo, na profundidades de 0-5 cm, sob *S. multijuga* e *C. myrianthum*, no outono e primavera, na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR

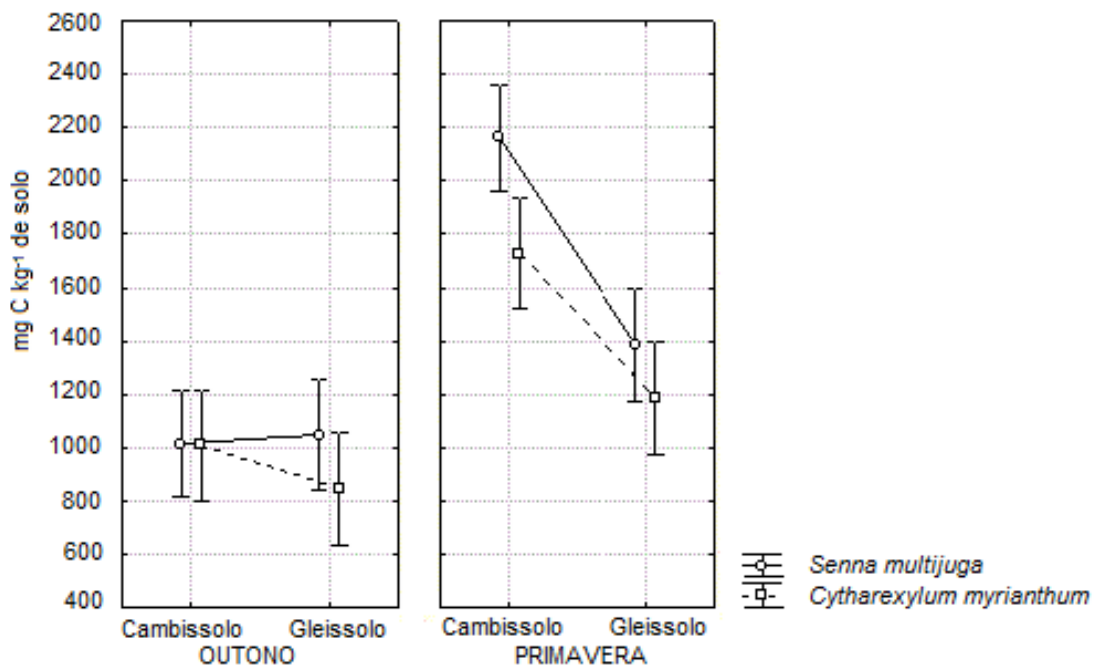


Figura 5. Valores médios de Carbono na Biomassa Microbiana (CBM) em Gleissolo e Cambissolo, na profundidade de 5-10 cm, sob *S. multijuga* e *C. myrianthum*, no outono e primavera, na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR

Os maiores valores de CBM na primavera certamente estão associados às melhores condições climáticas para o crescimento de microrganismos neste período mais quente e chuvoso, comparativamente ao outono. No Gleissolo, em particular, o maior valor de CBM na primavera pode estar relacionado à grande quantidade de raízes observada nas camadas superficiais do solo (Figura 6). A presença dessas raízes e as modificações químicas e físicas proporcionadas por elas, criam um ecossistema muito especializado, onde a população microbiana é favorecida, sendo centenas de vezes superior à população do solo adjacente (Siqueira & Franco, 1988). As propriedades físico-químicas da rizosfera têm elevada estabilidade, que, associadas ao fornecimento constante de substratos orgânicos e fatores de crescimento, favorecem intensa atividade metabólica das populações, influenciando direta e positivamente o tempo de geração microbiano (Moreira & Siqueira, 2002); e o aumento da população microbiana reflete no enriquecendo dos níveis de carbono da biomassa microbiana do solo.

Os maiores valores de CBM no Cambissolo, comparativamente ao Gleissolo, na primavera, podem ser explicados pelas melhores condições de fertilidade desta classe de solo (Tabela 1), condições estas que favoreceriam a atividade microbiana, nesta classe de solo.

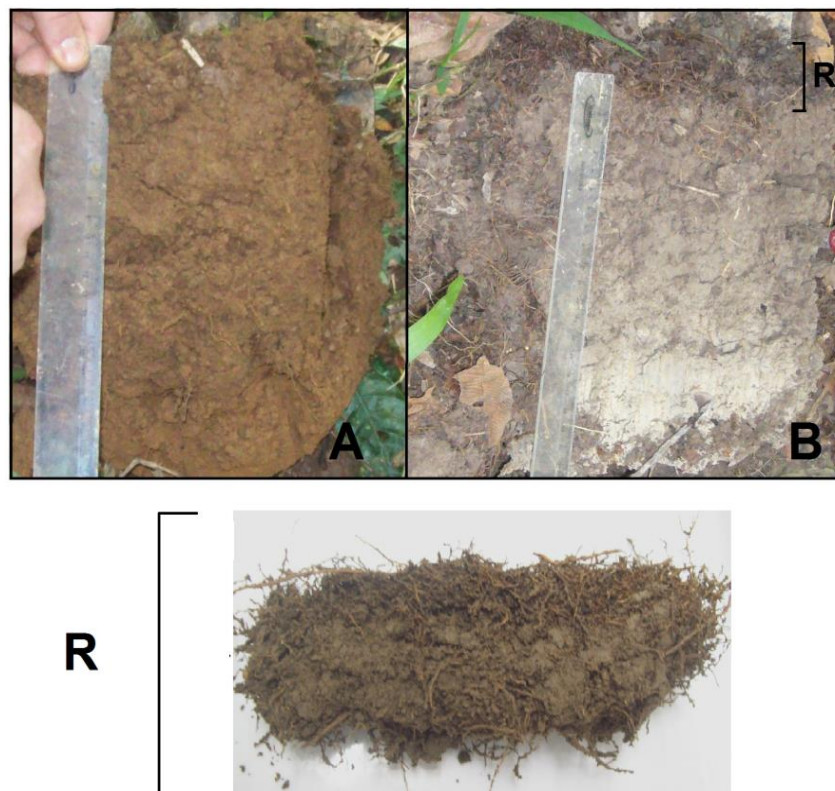


Figura 6. Cambissolo (A) sem raízes na camada superficial e Gleissolo (B), onde R indica a presença de raízes na camada superficial do solo coletados na primavera.

A Respiração Basal do Solo, em ambas profundidades (Figuras 7 e 8), independente das estações do ano, foi muito superior no Cambissolo em comparação ao Gleissolo. Estes resultados indicam as condições do Cambissolo como mais favoráveis à atividade microbiana. A respiração basal normalmente é utilizada como um indicativo da atividade dos microrganismos aeróbicos e anaeróbicos do solo, medida em termos metabólicos através da quantidade de CO₂ liberada (Gama-Rodrigues, 1999).

Considerando as estações do ano: no outono não visualizou-se diferenças entre as espécies nas classes de solo estudadas; o contrário ocorreu na primavera, mas apenas na profundidade 0-5 cm (Figura 7), onde os maiores valores de RBS foram aferidos sob *Senna multijuga*. Este comportamento, de certa forma, concorda com as observações de Schneider (2007). Este autor, ao avaliar atributos microbiológicos em Latossolo submetido a diferentes tipos de manejo, observou que a cobertura vegetal pode interferir na atividade microbiana do solo, sendo que a presença de leguminosas pode aumentar a liberação de C-CO₂.

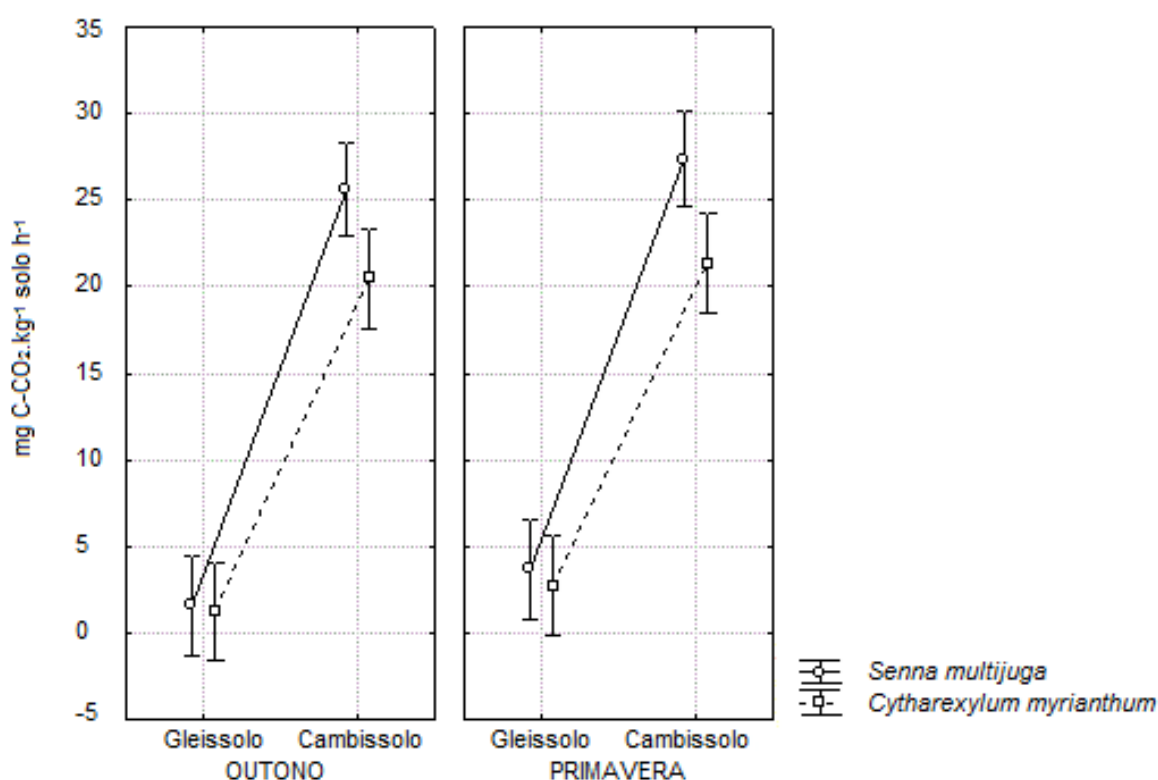


Figura 7. Valores médios da Respiração Basal do Solo em Gleissolo e Cambissolo, na profundidade de 0-5 cm, sob *S. multijuga* e *C. myrianthum*, no outono e primavera, na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR

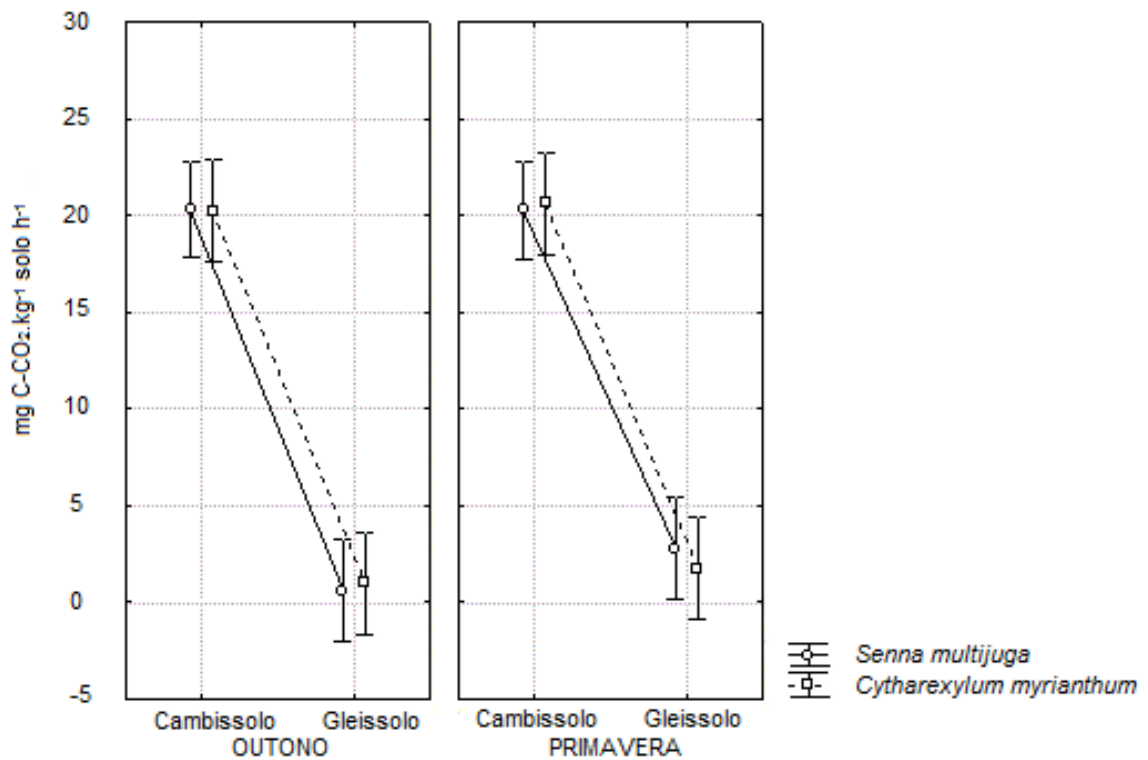


Figura 8. Valores médios da Respiração Basal do Solo em Gleissolo e Cambissolo, na profundidade de 5-10 cm, sob *S. multijuga* e *C. myrianthum*, no outono e primavera, na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR

Para o quociente metabólico da biomassa microbiana, da mesma forma que observado para RBS, em ambas profundidades, os valores foram superiores no Cambissolo, em comparação ao Gleissolo, mas bem mais expressivos no outono do que na primavera (Figuras 9 e 10).

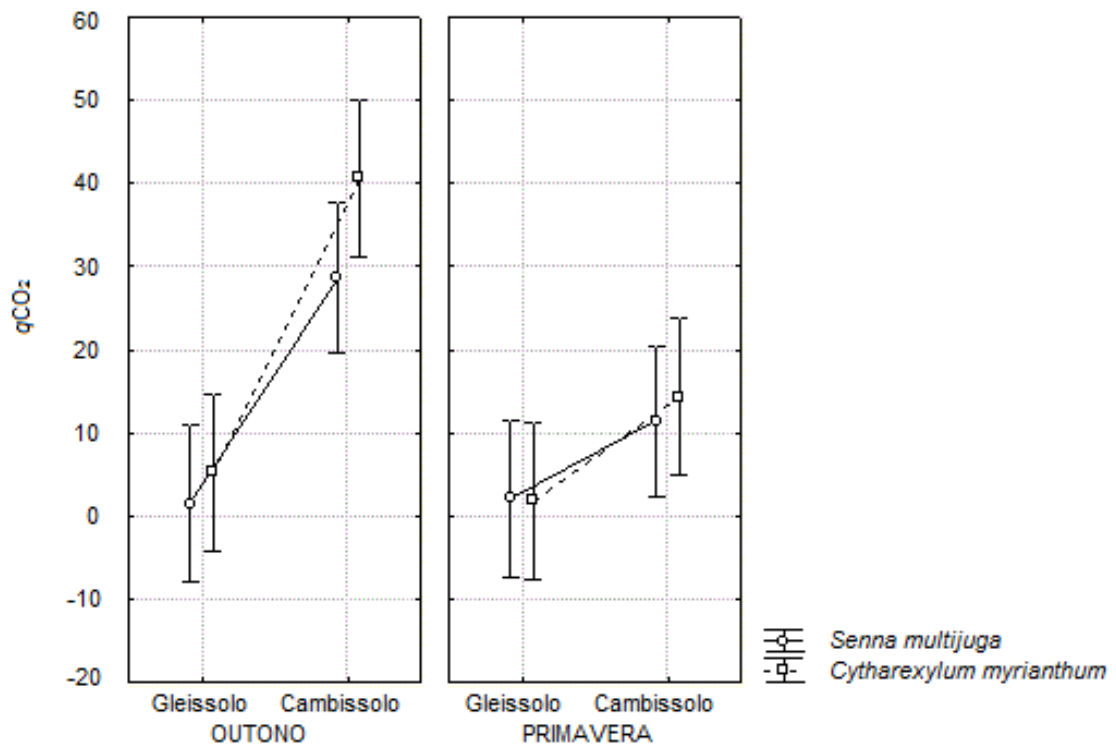


Figura 9. Valores médios do Quociente Metabólico em Gleissolo e Cambissolo, na profundidade de 0-5 cm, sob *S. multijuga* e *C. myrianthum*, no outono (1^a) e primavera (2^a), na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR

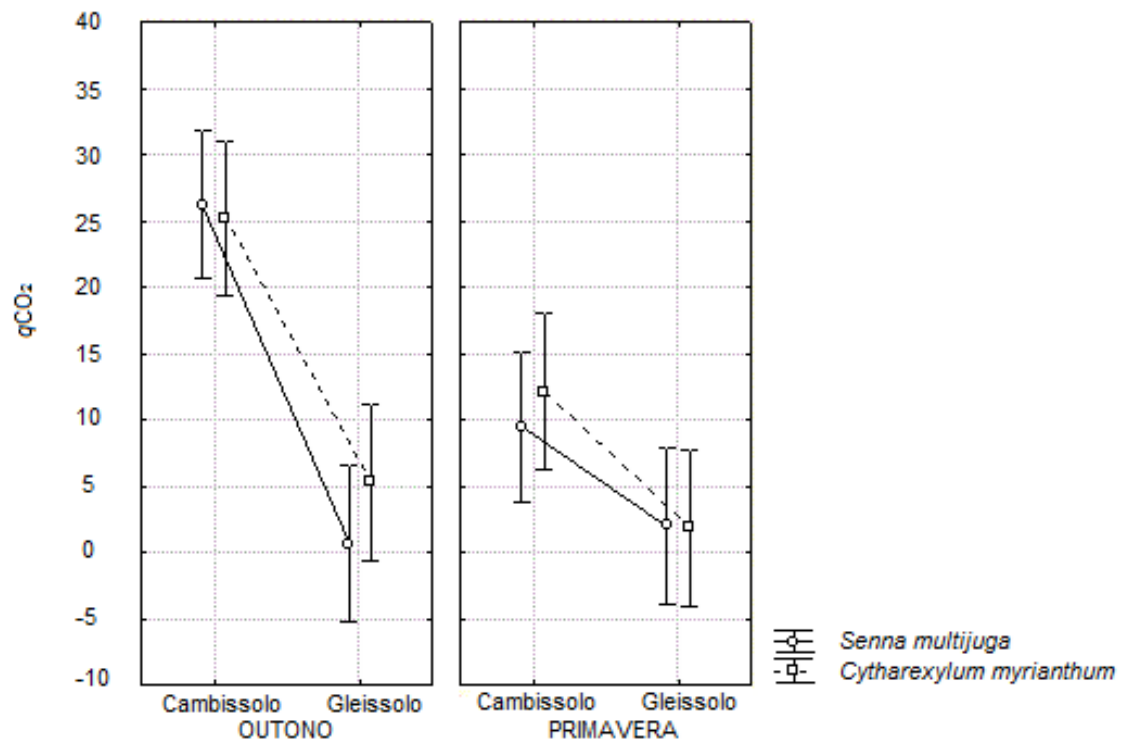


Figura 10. Valores médios do Quociente Metabólico em Gleissolo e Cambissolo, na profundidade de 5-10 cm, sob *S. multijuga* e *C. myrianthum*, no outono (1^a) e primavera (2^a), na Reserva Natural do Rio Cachoeira, Antonina – PR

Os valores mais baixos de qCO_2 refletem uma menor condição de estresse da biomassa microbiana do solo que, ao se tornar mais eficiente, incorpora maiores quantidades de carbono orgânico em seu tecido microbiano e diminui as perdas de carbono sob a forma de CO_2 para a atmosfera (Gama-Rodrigues, 1999). Maiores valores de qCO_2 indicam maiores perdas de C no sistema na forma de CO_2 por unidade de C microbiano. Assim, parece que na primavera a população microbiana fica sob menos estresse do que no outono. Já os valores mais baixos no Gleissolo, resultam do fato de que a RBS neste solo também é mais baixa em comparação ao Cambissolo.

Outro fator que explica as diferenças entre os solos é o pH. Vanhala (2002), ao estudar solos de florestas de coníferas, verificou que, em condições de umidade constante, as taxas de respiração foram controladas principalmente pela quantidade de matéria orgânica e pelo pH. Semelhante ao observado neste trabalho, onde o solo com maior pH (Cambissolo) apresentou maior liberação de CO_2 , sugerindo que quanto menos ácido o solo, possibilita-se aumento da atividade microbiana, que neste caso foi refletido na RBS e no qCO_2 . Segundo Anderson & Domsch (1993), estudando influência do pH do solo sobre o quociente metabólico envolvendo diversos sítios florestais, na camada superficial, valores baixos de pH reduziram a biomassa microbiana e a produção de C- CO_2 em relação à faixa neutra de pH. D'Andréa (2002) em seu estudo também observou que os sistemas com maior pH tenderam a apresentar os maiores valores de qCO_2 .

Com relação às profundidades avaliadas, observou-se uma tendência de maiores valores de CBM e RBS na profundidade de 0-5 cm (Figuras 4, 5, 7 e 8). Estes resultados estão de acordo com D'Andrea et al. (2002), que ao avaliar alterações nos atributos microbiológicos em solo de cerrado nativo, concluíram que a profundidade exerceu efeito sobre o carbono da biomassa microbiana, com maiores valores na camada superficial do solo.

4 CONCLUSÕES

No cambissolo a atividade biológica dos microrganismos do solo, avaliada pelos parâmetros microbiológicos, apresenta maiores valores sob *Senna mutijuga*, na profundidade de 0-5 cm, somente para a Respiração Basal do Solo e Carbono da Biomassa Microbiana, na primavera.

Na primavera, ao comparar as diferentes áreas sob *S. mutijuga* em ambas profundidades, verificou-se que estes fatores não foram significantes para a diferenciação entre as classes de solos avaliadas.

Os maiores valores para CBM na primavera podem ser atribuídos as condições climáticas dessa estação.

Menores valores obtidos para qCO_2 na primavera refletiu maior eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese, bem como, servindo como indicador de que, neste período, o ecossistema encontrava-se mais estável.

Assim, conclui-se que a atividade microbiológica do solo se mostrou influenciada tanto pelas condições climáticas como pelas classes de solo, sendo de maneira geral superior na primavera e no Cambissolo. Mostrou-se também influenciada pela vegetação predominante, sendo o efeito dependente da época do ano e da classe de solo.

5 LITERATURA CITADA

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

ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient (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 Biol. Biochem.*, 25:393-395, 1993.

BONDE, T. A.; SCHÜRER, J. ROSSWALL T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. *Soil Biology & Biochemistry*, 20:447-452, 1988.

CARNEIRO, M.A.C. Características bioquímicas do solo em duas cronosequências de reabilitação em áreas de mineralização de bauxita. Lavras, UFLA. 2000.332p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.

D'ANDRÉIA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas manejo na região do cerrado no Sul do Estado de Goiás. *R. Bras. Ci Solo*, 26: 913-923, 2002.

DE-POLLI, H., GUERRA, J.G.M.C.; N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, J. A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*, Porto Alegre: Genesis, 1999. p.389-411.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: método de fumigação-extração. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 10 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 37).

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W & JONES, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison: SSSA, Soil Sci. Soc. America, 1996. p.25-37. (SSSA Special Publication, 49)

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W; JORDAN, C.; SZOTT, L. & VANCE, E. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In.: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G. (Eds.) *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu, Niftal Project, 1989. p.33-67

FEIGL, B.J.; SPARLING, G.P.; ROSS, D.J. et al. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. *Soil Bio. & Bioch.* 27: 1467-1472,1998.

FRIGHETTO, R.T.S. XVII. Análise da biomassa microbiana em carbono: método de fumigação extração. In: FRIGHETTO, R.T.S., VALARINI, P.J. (Coords). *Indicadores*

biológicos e bioquímicos da qualidade do solo. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.157-166. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: Santos, g.a. & Camargo, F.A.O (Eds) Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999, p.227-244.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Ed.). Soil biochemistry. New York: Dekker, 1981. v.5.

MARCHIORI JR. M.; MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. R. Bras. Ci Solo 23: 257-263, 1999.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. Lavras: Editora UFLA, 2002.

PARKIN, T.B.; DORAN, J.W. & FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison: SSSA, Soil Sci. Soc. America, 1996. p.231-245. (Special Publication, 49)

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 Bio.& Bioch., 19:159-164, 1987.

RICE, C.W.; MOORMAN, T.B. & BEARE, M. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison: SSSA, Soil Sci. Soc. America, 1996. p.203-215. (Special Publication, 49).

SCHNEIDER, J. Atributos microbiológicos de um Latossolo Bruno submetido a diferentes sistemas de manejo e calagem. Lages, Centro de Ciências Agroveterinárias – UDESC, 2007. 78 p. (Dissertação mestrado).

SILVA, E. E.;AZEVEDO,P.H.S.; DE-POLLI, H. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C) Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 6p. (Comunicado Técnico, 98)

SILVA, E. E.;AZEVEDO,P.H.S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2). Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4p. (Comunicado Técnico, 99)

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo: Fundamentos e Perspectivas. Brasília: MEC Ministério da Educação, ABEAS; Lavras: ESAL, FAEPE, 1988. 236p.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of change in soil organic matter. Australian Journal Soil Research, 30: 195-207, 1992.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As áreas em estudo demonstraram grande atividade da microbiota do solo em ambos estudos, uma vez que, no Cambissolo obtivemos melhores resultados para a disponibilização de nitrogênio mineral às plantas. No Gleissolo, os parâmetros que avaliaram a atividade da biomassa microbiana, foram mais acentuados tanto no outono quanto na primavera.

A vasta presença de raízes nestas áreas favoreceu a presença de microrganismos que atuam diretamente na transformação da matéria orgânica do solo e disponibilização de nutrientes.

Recomenda-se que, em função do Gleissolo possuir a matéria orgânica mais recalcitrante que o Cambissolo, seja realizada um novo ensaio de mineralização para verificar a decomposição da MOS no Gleissolo e fornecimento de nitrogênio às plantas.

Em relação às avaliações da biomassa microbiana, é recomendada a realização de estudos em outras áreas, com floresta de idades diferentes, para avaliar e comparar a atividade da microbiota em estágios diferentes de restauração.