



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**EFEITO DE RESÍDUOS DA ATIVIDADE DE CARVOARIA NA  
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DE CHUVA E NA BIOMASSA  
MICROBIANA DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB DIFERENTES  
COBERTURAS VEGETAIS EM PARAGOMINAS/PA.**

**SUSANY DE SENA NERY**

**BELÉM-PA**  
**2006**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**EFEITO DE RESÍDUOS DA ATIVIDADE DE CARVOARIA NA  
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DE CHUVA E NA BIOMASSA  
MICROBIANA DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB DIFERENTES  
COBERTURAS VEGETAIS EM PARAGOMINAS/PA.**

**SUSANY DE SENA NERY  
Engenheira Agrônoma**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de **Mestre**.

**Orientadora:**

Engenheira Agrônoma Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Marly de Lourdes Silva Santos

**Co-orientador:**

Engenheiro Agrônomo Prof. M. Sc. Mário Lopes da Silva Júnior

BELÉM-PA  
2006



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**EFEITO DE RESÍDUOS DA ATIVIDADE DE CARVOARIA NA  
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DE CHUVA E NA BIOMASSA  
MICROBIANA DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB DIFERENTES  
COBERTURAS VEGETAIS EM PARAGOMINAS/PA.**

**SUSANY DE SENA NERY**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de **Mestre**.

Aprovada em 31 de Março de 2006.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Engenheira Agrônoma Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Marly de Lourdes Silva Santos  
Orientadora  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

---

Engenheiro Agrônomo Prof. Dr. George Rodrigues da Silva  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

---

Engenheiro Agrônomo Prof. Dr. Maurício Moller Parry  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

---

Geóloga Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo  
Museu Paraense Emílio Goeldi – MPEG

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais **CLECIUS** e **CONCEIÇÃO**

Ao meu marido **SILVIO**

Ao meu filho **GABRIEL**

Aos meus irmãos **ISABEL** e **NARDYE**,  
pelo apoio e confiança na realização deste  
e pela paciência nos momentos difíceis.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A **Deus** pela oportunidade do trabalho e aprendizado.

À Universidade Federal Rural da Amazônia pela oportunidade de realização deste curso.

À **Prof. Dra. Maria Marly de Lourdes Silva Santos** pela oportunidade do trabalho, amizade, confiança e orientação em todos os momentos necessários à realização deste.

Ao **Prof. MSc. Mário Lopes**, pela ajuda, apoio e incentivo na execução deste trabalho.

Ao **Prof. Dr. Sueo Numazawa**, pela idéia que originou este trabalho, o qual facilitou a minha participação no Curso de Mestrado.

Ao **Prof. Dr. George Rodrigues da Silva**, pela grande ajuda na redação e normatização deste trabalho.

À **Engenheira Florestal da CIKEL Marcela Gomes da Silva**, pela sua incansável ajuda nas coletas e envio de materiais.

Às amigas **Vânia Silva de Melo, Sandra Andréa S. da Silva e Natasha Teixeira Soares**, por todo o auxílio e nas análises de laboratório.

A **Max Sarrazin**, pela paciência e grande auxílio nas análises de água.

Ao Bolsista de Iniciação Científica **Rosivaldo Araújo** e aos funcionários da UFRA **Joana Almeida, Júlio Costa e Samoel Oliveira**, pelo apoio durante a realização deste trabalho.

Ao corpo docente do Curso de Mestrado em Agronomia, pela contribuição na ampliação dos meus conhecimentos profissionais.

À Engenheira Agrônoma **Mariceli Nascimento Moura** pela sua amizade e apoio.

Ao **CNPq**, pela concessão da bolsa de estudos.

À empresa **CIKEL BRASIL VERDE S.A.** pela concessão da área da fazenda Rio Capim, para a realização deste experimento.

E finalmente, a todos aqueles que aqui não foram citados, mas que foram peças fundamentais para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	p.
LISTA DE TABELA.....	8
LISTA DE FIGURA.....	10
<b>CAPÍTULO 1 – EFEITO DE RESÍDUOS DA ATIVIDADE DE CARVOARIA NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DE CHUVA E NA BIOMASSA MICROBIANA DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS EM PARAGOMINAS/PA.....</b>	11
RESUMO.....	12
ABSTRACT.....	13
1.1 INTRODUÇÃO.....	14
1.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
<b>1.2.1 Biomassa Microbiana do Solo.....</b>	<b>16</b>
1.2.1.1 Relações da BMS com as Plantas.....	20
1.2.1.2 Determinação da BMS.....	20
1.2.1.3 Atividade da BMS.....	21
1.2.1.4 Índice Derivado da Estimativa da BMS.....	22
1.2.1.4.1 <i>Quociente Metabólico (qCO<sub>2</sub>)</i> .....	22
<b>1.2.2 Composição Química da Água da Chuva.....</b>	<b>23</b>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
<b>CAPÍTULO 2 – EFEITO DE RESÍDUOS DA ATIVIDADE DE CARVOARIA NA BIOMASSA MICROBIANA DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS EM PARAGOMINAS/PA.....</b>	<b>31</b>
RESUMO.....	32
ABSTRACT.....	33
2.1 INTRODUÇÃO.....	34
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
<b>2.2.1 Localização e Características Gerais da Área de Estudo.....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.2 Tipo de Vegetação.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.3 Clima, Solo, Topografia e Hidrografia.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.4 Coleta e Preparo das Amostras.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.5 Carbono da Biomassa Microbiana.....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.6 Respiração Basal da Biomassa Microbiana do Solo.....</b>	<b>40</b>
<b>2.2.7 Umidade do Solo.....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.8 Índice Calculado.....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.9 Tratamentos, variáveis estudadas e análise estatística.....</b>	<b>41</b>

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
2.4 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
<b>CAPÍTULO 3 – EFEITO DE RESÍDUOS DA ATIVIDADE DE CARVOARIA E DE DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DE CHUVA E PARÂMETROS BIOLÓGICOS DO SOLO EM PARAGOMINAS/PA.....</b>	<b>55</b>
RESUMO.....	56
ABSTRACT.....	57
3.1 INTRODUÇÃO.....	58
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	61
<b>3.2.1 Localização e Características Gerais da Área de Estudo.....</b>	<b>61</b>
<b>3.2.2 Tipo de Vegetação.....</b>	<b>61</b>
<b>3.2.3 Clima, Solo, Topografia e Hidrografia.....</b>	<b>62</b>
<b>3.2.4 Coleta e Preparo das Amostras.....</b>	<b>62</b>
<b>3.2.5 Carbono da Biomassa Microbiana.....</b>	<b>64</b>
<b>3.2.6 Respiração Basal da Biomassa Microbiana do Solo.....</b>	<b>65</b>
<b>3.2.7 Umidade do Solo.....</b>	<b>66</b>
<b>3.2.8 Índice Calculado.....</b>	<b>66</b>
<b>3.2.9 Tratamentos e Delineamento Experimental.....</b>	<b>66</b>
<b>3.2.10 Análises Químicas.....</b>	<b>69</b>
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
3.4 CONCLUSÃO.....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

## LISTA DE TABELA

### Capítulo 2

Tabela 1	Valores do teste F e níveis de significância do Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Respiração Basal (CO <sub>2</sub> ) e Quociente Metabólico (qCO <sub>2</sub> ), em função dos tratamentos adotados.....	42
Tabela 2	Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em g kg <sup>-1</sup> solo), respiração basal (CO <sub>2</sub> , em µg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> solo) e quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> , em µgCO <sub>2</sub> gC-BM <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, coletadas sob diferentes efeitos da carvoaria, coberturas vegetais, diferentes épocas de coleta do solo e profundidades de amostragem.....	43
Tabela 3	Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em g kg <sup>-1</sup> solo), respiração basal (CO <sub>2</sub> , em µg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> solo) e quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> , em µgCO <sub>2</sub> gC-BM <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, sob o efeito de interação entre atividade de carvoaria e épocas de coleta do solo.....	46
Tabela 4	Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em g kg <sup>-1</sup> solo), respiração basal (CO <sub>2</sub> , em µg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> solo) e quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> , em µgCO <sub>2</sub> gC-BM <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, sob o efeito da interação entre diferentes tipos de cobertura vegetal e épocas de coleta do solo.....	47
Tabela 5	Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em g kg <sup>-1</sup> solo), respiração basal (CO <sub>2</sub> , em µg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> solo) e quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> , em µgCO <sub>2</sub> gC-BM <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, sob o efeito da interação entre diferentes profundidades e épocas de coleta.....	49
Tabela 6	Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em g kg <sup>-1</sup> solo), respiração basal (CO <sub>2</sub> , em µg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> solo) e quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> , em µgCO <sub>2</sub> gC-BM <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, sob o efeito da interação entre a atividade de carvoaria e tipos de cobertura vegetal.....	50
Tabela 7	Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em g kg <sup>-1</sup> solo), respiração basal (CO <sub>2</sub> , em µg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> solo) e quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> , em µgCO <sub>2</sub> gC-BM <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, sob o efeito da interação entre a atividade da carvoaria e profundidades de amostragem.....	50
Tabela 8	Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em g kg <sup>-1</sup> solo), respiração basal (CO <sub>2</sub> , em µg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> solo) e quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> , em µgCO <sub>2</sub> gC-BM <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, sob o efeito da interação entre diferentes tipos de cobertura vegetal e profundidades de amostragem.....	51



### Capítulo 3

Tabela 9	Valores de teste F e níveis de significância de íons (em mg/L) e pH presentes em água de chuva.....	69
Tabela 10	Média dos teores de íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), em mg/L e pH da água de chuva em Paragominas/PA, coletadas sob diferentes épocas, efeitos da carvoaria e tipos de cobertura vegetal.....	71
Tabela 11	Média dos teores de íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), em mg/L e pH da água de chuva em Paragominas/PA, sob diferentes efeitos da carvoaria, épocas de coleta.....	72
Tabela 12	Média dos teores de íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), em mg/L e pH da água de chuva em Paragominas/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal, épocas de coleta.....	73
Tabela 13	Média dos teores de íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), em mg/L e pH da água de chuva em Paragominas/PA, sob diferentes efeitos da carvoaria, tipos de cobertura vegetal.....	74
Tabela 14	Coefficientes de correlação (r) e probabilidade (p) entre atributos biológicos do solo e atributos químicos de água de chuva, em área de produção de carvão vegetal, em Paragominas/PA. Março e Maio de 2005.....	74
Tabela 15	Estimativas dos parâmetros das equações de regressão lineares simples entre os efeitos isolados do cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e pH nas variações ocorridas no carbono da biomassa microbiana (CBM), em Paragominas/PA.....	77
Tabela 16	Estimativas dos parâmetros das equações de regressão lineares simples entre os efeitos isolados do cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e pH nas variações ocorridas na respiração basal da biomassa microbiana do solo, em Paragominas/PA.....	79
Tabela 17	Estimativas dos parâmetros das equações de regressão lineares simples entre os efeitos isolados do cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e pH nas variações ocorridas no quociente metabólico, em Paragominas/PA.....	80

## LISTA DE FIGURA

### Capítulo 1

Figura 1	Detalhe da fumaça produzida pela queima de carvão vegetal.....	25
----------	--	----

### Capítulo 2

Figura 2	Mapa temático dos ambientes fitoecológicos e uso do solo da Fazenda Rio Capim.....	36
Figura 3	Croqui da área de estudo.....	38
Figura 4	Área de carvoaria da Fazenda Rio Capim (CIKEL).....	39
Figura 5	Amostra de solo em presença de NaOH 0,5M em recipiente hermeticamente fechado (A), e incubação do solo durante 10 dias para determinação do CO <sub>2</sub> (B).....	40
Figura 6	Viragem na titulação com HCl 0,5 M.....	41

### Capítulo 3

Figura 7	Mapa temático dos ambientes fitoecológicos e uso do solo da Fazenda Rio Capim.....	61
Figura 8	Croqui da área de estudo.....	63
Figura 9	Sistema de coleta de água de chuva.....	64
Figura 10	Amostra de solo em presença de NaOH 0,5M em recipiente hermeticamente fechado (A), e incubação do solo durante 10 dias para determinação do CO <sub>2</sub> (B).....	65
Figura 11	Viragem na titulação com HCl 0,5 M.....	66

## **CAPÍTULO 1**

**EFEITO DE RESÍDUOS DA ATIVIDADE DE CARVOARIA NA  
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DE CHUVA E NA BIOMASSA  
MICROBIANA DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB DIFERENTES  
COBERTURAS VEGETAIS EM PARAGOMINAS/PA.**

## RESUMO

Um dos setores produtivos de grande magnitude na região Amazônica é o complexo siderúrgico dos estados do Pará e Maranhão que consome anualmente mais de 700 mil toneladas de carvão vegetal. A tecnologia do forno “Rabo Quente”, 100% poluente, que foi disseminado na região tornou-se um fator preocupante à questão do meio ambiente por essa atividade lançar na atmosfera gases e vapores gerados na transformação da madeira em carvão vegetal. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi de avaliar o efeito dos resíduos da atividade de carvoaria na composição química da água de chuva e biomassa microbiana e o grau de relação entre a água de chuva e os parâmetros biológicos do solo em um Latossolo Amarelo, sob diferentes tipos de cobertura vegetal na Fazenda Rio Capim, pertencente à Cikel Brasil Verde S.A. em Paragominas/PA. Em março, maio e junho de 2005 foram coletadas amostras do solo, sob cobertura vegetal de gramínea e essências florestais, em áreas com e sem influência de resíduos produzidos pela carvoaria, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm. As variações nas propriedades biológicas do solo (CBM, CO<sub>2</sub> e qCO<sub>2</sub>) foram avaliadas através do efeito de 24 tratamentos distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x2x2x2 com 4 repetições. Amostras de água foram coletadas nos meses de Março e Maio de 2005 nas mesmas áreas já descritas. O experimento foi avaliado por meio das variáveis propriedades químicas da água de chuva: Cl<sup>-</sup>; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e concentração de hidrogênio (pH) em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2x2x2, com 4 repetições. Os dados obtidos das propriedades biológicas do solo e análise química da água de chuva foram submetidos à ANOVA e a comparação de médias foi feita pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, usando o software SAEG 8.1. Isoladamente, os resíduos da atividade de carvoaria, e a época de maior intensidade de chuvas, reduziram os teores de carbono da biomassa microbiana-CBM e respiração basal-CO<sub>2</sub> do solo e não influenciaram os de quociente metabólico-qCO<sub>2</sub>. A cobertura vegetal influenciou significativamente o CO<sub>2</sub> e o qCO<sub>2</sub>, proporcionando maiores valores em condições de cobertura de gramínea. Houve redução do CBM, CO<sub>2</sub> e qCO<sub>2</sub> no solo coletado em área de cobertura vegetal de gramínea, no mês de maior intensidade de chuvas. Em época de menor intensidade de chuvas, o CBM aumentou com o aumento da profundidade do solo, ocorrendo o inverso com o CO<sub>2</sub>. Na área sem influência da atividade de carvoaria, os teores de CBM, CO<sub>2</sub> e qCO<sub>2</sub> foram maiores quando a cobertura vegetal era de essências florestais, e quando a mesma área interagiu com a profundidade de amostragem do solo, os maiores valores para CBM ocorreram na profundidade de 5-10 cm, enquanto que para CO<sub>2</sub> e qCO<sub>2</sub>, os maiores teores foram obtidos na profundidade de 0-5 cm. A produção de carvão vegetal afeta a composição química da água de chuva, provocando o aumento da concentração dos íons Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e pH da água de chuva. Na área sob o efeito da atividade de carvoaria, os teores de cloreto na água de chuva foram reduzidos quando a cobertura vegetal era de essências florestais. Os resíduos da atividade de carvoaria e a introdução de Cl<sup>-</sup> no sistema, por meio da água de chuva provocou redução nos parâmetros biológicos do solo CBM e CO<sub>2</sub>. O íon sulfato promoveu aumento no parâmetro CBM.

Palavras-chave: microbiologia, carvão vegetal, biomassa microbiana, latossolo amarelo, água de chuva, floresta amazônica.

## ABSTRACT

Considered the most productive sector in the Amazon region, the iron companies based in the States of Pará and Maranhão consumes more than 700.000 tons of vegetal charcoal annually. The highly disseminated technology of the hot oven, a 100% pollutant, has become an important environmental issue because of the massive release of gases and vapors to the atmosphere in the process of transformation of lumber in vegetable charcoal. In this context, our study aimed to evaluate the effects of residues generated by lumber burning in the composition of rain water, microbial mass as well as the degree of correlation between the rain water and the biological parameters of the soil in a yellow Latossoil, under different patterns of vegetal covering at the Rio Capim Farm, a property of Cikel Brasil Verde Inc., in the city of Paragominas, State of Pará. Soil samples were collected in different months (March, May and June) from areas with grass and forest essences covering, with or without the influence of the residues from lumber burning, at the depths of 0-5 cm and 5-10 cm. The variations in the biological properties of the soil (CBM – microbial biomass carbon, CO<sub>2</sub> and metabolic quotient-qCO<sub>2</sub>) were evaluated by measuring the effects of 24 treatments distributed in an entirely random arrangement, in a factorial 3x2x2x2 scheme with 4 repetitions. Water samples were collected (in the months of March and May) in the same areas described above. The following properties of the rain water were used to evaluate the experiments: Cl<sup>-</sup>; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and pH. The resulting data were submitted to ANOVA and Turkey's test with the software SAEG 8.1. Taken together, the lumber burning residues in the period of more rain episodes, produced reductions in the CBM and soil basal respiration -CO<sub>2</sub> without influencing the qCO<sub>2</sub>. The vegetal covering influenced significantly both CO<sub>2</sub> and qCO<sub>2</sub>, the highest values being observed in the condition of grass covering. We observed a reduction in CBM, CO<sub>2</sub> and qCO<sub>2</sub> in the soil samples collected from areas with grass covering and in the month with more rain episodes. In months with less rain, CBM values increased and CO<sub>2</sub> values decreased with the increase in the depth of the samples. In the area without the influence of lumber burning, the values for CBM, CO<sub>2</sub> and qCO<sub>2</sub> were higher when the vegetal covering was comprised of forest essences. Considering different depths of the soil samples, the highest CBM values were obtained at the 5-10 cm depths, and at the depths of 0-5 cm for CO<sub>2</sub> and qCO<sub>2</sub>. Production of vegetable charcoal disturbs the chemical composition of the rain water, with increases in the concentration of the ions Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and H<sup>+</sup> (pH). Considering the area under the influence of lumber burning, Cl<sup>-</sup> values were reduced when the soil was covered with forest essences. The residues from lumber burning associated with the chloride from the rain water resulted in reduction in both CBM and CO<sub>2</sub>. The sulphate ion caused an increase in CBM.

Keywords: microbiology, vegetable charcoal, microbial biomass, yellow Latossoil, rain water, amazon rain forest.

## 1.1 INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica é conhecida por ser a maior área contínua de floresta tropical do mundo com elevados índices de precipitação e um ecossistema caracterizado por sustentar extensa biodiversidade. À medida que as fronteiras da floresta Amazônica vão sendo alteradas pelo avanço da agricultura, da pecuária, pelo corte indiscriminado de árvores centenárias, e pelo fogo, o equilíbrio do ecossistema Amazônico é ameaçado e surge a inevitável questão de quais as conseqüências dessas ações num futuro próximo.

Um dos setores produtivos de grande magnitude na região Amazônica é o complexo siderúrgico dos estados do Pará e Maranhão que consome anualmente mais de 700 mil toneladas de carvão vegetal, segundo a Associação Brasileira de Carvão Vegetal - ABRACAVE (BERNADIN; MATOS, 1997).

A falta de tradição na fabricação de carvão dos estados mencionados fez com que se importasse do principal pólo siderúrgico do país, o estado de Minas Gerais, a tecnologia do forno “Rabo Quente”, 100% poluente, que foi disseminado na região e continua até hoje em plena atividade, tornando-se um fator preocupante à questão de meio ambiente por essa atividade lançar na atmosfera gases e vapores gerados na transformação da madeira em carvão vegetal.

Segundo Girard (1994) uma conversão termoquímica da madeira pode gerar cerca de 25% de resíduos sólidos (carvão vegetal); 25% de gases constituídos de CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> e diversos hidrocarbonetos e de 50% de líquido pirolenhoso, sendo que desse total cerca de 30% são constituídos de vapores tóxicos (ácido fórmico, ácido acético, metanol, acetona, derivados furfural, derivados de fenóis, cresóis, etc.) e o restante de vapor de água. Esses percentuais de vapores e gases nocivos, em relação ao montante de madeira usada para fins de carbonização, tornam-se um foco altamente poluidor para o meio ambiente.

Por simples cálculo, pode-se estimar a quantidade de gases e vapores que são lançados na atmosfera pela atividade de carvoejamento nos pólos siderúrgicos do Pará e do Maranhão. Com base no rendimento médio da conversão pirolítica, mencionado por Girard (1994), estima-se que para produzir 700 mil toneladas de carvão, necessita-se de 2,8 milhões de toneladas de madeira. O restante correspondente a 2,1 milhões toneladas representa a fumaça, onde 1,4 milhões de toneladas são formados de vapores pirolenhosos, sendo que desse total, 980 mil toneladas são constituídos de vapor d'água (70%) e 420 mil toneladas são de vapores tóxicos (30%) e, finalmente, 700 mil toneladas de gases também tóxicos, que são lançados

anualmente no meio ambiente pela atividade de carvoejamento, para atender a demanda das indústrias siderúrgicas.

Considerando que a produção de carvão vegetal em fornos de rabo quente ocorre durante todo o ano, supõe-se no período de janeiro a maio quando há uma incidência maior de chuvas ocorra maior arraste de vapores gerados na carbonização da madeira, podendo provocar um efeito sobre a microbiologia do solo.

A atividade dos microrganismos do solo é o indicador ecológico da ciclagem de nutrientes, visto que, quanto mais elevada for a atividade, maior será a mineralização da matéria orgânica em decomposição e a liberação de nutrientes para as plantas. Os microrganismos, 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 para as plantas (JENKINSON, 1988). Para Sparling e Ross (1993), a população microbiana tem sido considerada um indicador sensível das alterações no estoque de matéria orgânica decorrente do uso da terra.

A microfauna do solo participa de processos chave no ecossistema do solo, como decomposição de resíduos vegetais e animais, ciclagem de nutrientes e relações simbióticas, entre outros (MOREIRA; SIQUEIRA, 2001), sendo um componente fundamental nos processos de transformação e transferência de carbono, energia e nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera, sendo a base da sustentabilidade dos ecossistemas em equilíbrio (SIQUEIRA et al., 1994). A biomassa microbiana do solo (BMS) possui um papel fundamental na produtividade e manutenção de ecossistemas, pois atua como um catalisador das importantes transformações químicas do solo e constitui um reservatório de nutrientes disponíveis às plantas, devido pertencer ao componente lábil da matéria orgânica do solo, e possuir atividade influenciada pelas condições bióticas e abióticas (JENKINSON; LADD, 1981), além do que, o seu acompanhamento reflete possíveis modificações do solo, podendo ser considerada uma boa indicadora das alterações resultantes do manejo do solo (BALOTA et al., 1998).

A composição química da água da chuva pode ser responsável pela introdução de poluentes em um ecossistema. A composição química da precipitação tem ligação direta com parâmetros relacionados à qualidade do ar atmosférico. A atmosfera é um sistema dinâmico e quimicamente complexo que interage significativamente com oceanos, crosta e organismos vivos (AL MOMANI, 2003).

Por se tratar de um estudo pioneiro na região Amazônica, não existem bibliografias que referenciem os fatores aqui analisados inter-relacionados.

A partir de observações no campo que indicavam a possibilidade de formação de chuva ácida na área com influência e alterações morfológicas de folhas da vegetação mais distante da carvoaria na época menos chuvosa, foi idealizado este ensaio para comprovar aquela hipótese.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi de avaliar o efeito dos resíduos da atividade de carvoaria na composição química da água de chuva e biomassa microbiana, e o grau de relação entre esses parâmetros, em um Latossolo Amarelo, sob diferentes coberturas vegetais, do entorno da Fazenda Rio Capim, pertencente à Cikel Brasil Verde S.A. em Paragominas/PA.

Estes resultados preliminares deverão servir de subsídios para posteriores pesquisas, dentro de procedimentos da morfologia vegetal, que busquem elucidar a real influência das partículas da atividade de carvoaria na vegetação.

## 1.2 REVISÃO DE LITERATURA

### 1.2.1 Biomassa Microbiana do Solo

A biomassa microbiana do solo (BMS) pode ser definida como a parte viva da matéria orgânica do solo excluindo-se as raízes, meso e macrofauna, maiores do que aproximadamente  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ , e funciona como agente de transformação da matéria orgânica, no ciclo de nutrientes e no fluxo de energia (JENKINSON; LADD, 1981; WARDLE, 1992; DE-POLLI; GUERRA, 1999; GAMA - RODRIGUES, 1999). A BMS não é uma estimativa da atividade dos microrganismos, mas sim a estimativa da massa microbiana viva total do solo, com base na concentração de algum elemento ou de alguma substância celular ou diretamente por mensurações microscópicas (DE-POLLI; GUERRA, 1999).

Para Moreira e Siqueira (2001) o conhecimento dos parâmetros microbiológicos são de fundamental importância para a recuperação de áreas degradadas, uma vez que os microrganismos são os responsáveis pela mineralização do carbono e outros nutrientes, além de terem um papel preponderante na agregação do solo, pela liberação de substâncias que agem de forma cimentante ou pela ação física das hifas dos fungos. A atividade microbiana do solo é um indicador que permite monitorar as mudanças da qualidade do solo. A decomposição dos resíduos orgânicos é envolvida por reações microbianas de oxidação, onde



os microrganismos obtêm o carbono e energia para o seu crescimento e funções celulares, pela transformação de compostos orgânicos complexos em substratos mais simples. Nestas reações, parte do carbono presente no resíduo é assimilável pela microbiota como fonte de energia para construção do protoplasma celular e a outra parte é perdida na forma de CO<sub>2</sub>. O percentual correspondente a parte assimilável é em torno de 30%, enquanto que a parte perdida corresponde em torno de 70%.

A biomassa dos microrganismos do solo, além de atuar como agente da transformação bioquímica dos compostos orgânicos é também um reservatório de N, P e S (JENKINSON; LADD, 1981). O significado agroecológico de biomassa apontado por diversos autores (POWSON; JENKINSON, 1981; POWLSON et al., 1987; GRISI, 1995), tem como principais destaques, além de armazenador de nutrientes, o de servir como indicador rápido de mudanças no solo, quando matéria orgânica é a ele incorporada e indicador de sensibilidade de toxidez a substâncias nele introduzidas, como metais pesados, pesticidas, etc.

Segundo Grisi (1995) um parâmetro altamente dinâmico é a biomassa microbiana, que se modifica rapidamente no solo e nunca deve ser analisada isoladamente como uma única maneira de se estimar a situação das populações de microrganismos, ela deve ser analisada juntamente com a atividade nas mesmas amostras de solo, face à extrema heterogeneidade do ambiente natural da microbiota e da sua biodiversidade. A biomassa microbiana do solo (BMS) 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, e, portanto, a medição deste compartimento e sua atividade são relevantes para a conservação dos solos (SPARLING, 1992; WARDLE; GHANI, 1995; WARDLE, 1998; DE-POLLI; GUERRA, 1999).

Ademais, a atividade microbiana do solo pode ser avaliada por meio da respiração dos microrganismos, a qual pode ser utilizada como indicativo da qualidade do solo, podendo, ainda, ser usada para estudos sobre mineralização da matéria orgânica do solo, sendo, em alguns casos, utilizada como índice de fertilidade do solo (GAMA-RODRIGUES, 1999). A determinação da respiração basal do solo, pela quantificação do CO<sub>2</sub> evoluído, é um procedimento importante quando se está avaliando a atividade dos microrganismos do solo.

Como a decomposição e a mineralização dos resíduos vegetais dependem da atividade microbiana, a avaliação da biomassa microbiana fornece informações importantes para o entendimento da ciclagem de nutrientes (PAUL; CLARK, 1989). Por apresentar rápida ciclagem, este atributo microbiológico responde intensamente a flutuações sazonais de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos, sendo um indicador mais sensível

das mudanças nos níveis de matéria orgânica do que o teor de C orgânico (ANDERSON; DOMSCH, 1989; SPARLING, 1997).

A biomassa microbiana é o compartimento central do ciclo do C, representando um considerável reservatório de nutrientes nos solos, sendo um atributo fundamental para o estudo de ciclagem de nutrientes em diferentes ecossistemas. Nesse sentido, de acordo com as condições edafoclimáticas e da qualidade da serrapilheira, a biomassa microbiana pode exercer função catalisadora, de fonte e, ou, reserva de nutrientes (PAUL; CLARK, 1989; WARDLE, 1992). Para Smith e Paul (1990) a rápida ciclagem da biomassa microbiana pode também fornecer fluxos de relevante importância na nutrição de plantas.

Quando a biomassa microbiana exerce função de reserva, a quantidade de nutrientes fornecida via ciclagem microbiana é menor do que aquela que entra no sistema. Quando exerce função de fonte, a quantidade liberada é maior do que aquela que entra. Na função apenas de catalisadora, as quantidades de entrada e saída são iguais, ou seja, o balanço é nulo (GAMA - RODRIGUES, 1999).

A biomassa microbiana é influenciada pelo teor de argila dos solos. A argila aumenta a adsorção dos compostos orgânicos e nutrientes, proporciona maior tampão de acidez e protege os microrganismos contra predadores (SMITH; PAUL, 1990). Pfenning et al. (1992) estudando solos da Amazônia, sob mata natural, encontraram para solos muito argilosos valores de C da biomassa microbiana 76% mais elevado do que em solos com baixos teores de argila. Gama-Rodrigues (1997) encontrou correlação positiva entre o C-BM e a respiração basal da BM com o teor de argila em solos sob plantios de eucalipto.

No solo, o desenvolvimento dos microrganismos depende dentre outros fatores da disponibilidade de matéria orgânica, aeração, umidade, temperatura, estrutura, textura, nutrientes, pH e presença de microrganismos parasitas e antagonistas. Estreitas relações entre a biomassa microbiana e a matéria orgânica do solo foram encontradas por Gama - Rodrigues et al. (1994), estudando o método da fumigação-extração para a quantificação do C da biomassa microbiana.

A estrutura do solo altera a BMS e, com o aumento no tamanho e estabilidade dos agregados, geralmente ocorre um incremento no teor da biomassa (DRURY et al.<sup>1</sup>, 1991; CARTER; MELE<sup>2</sup>, 1992, apud WARDLE; HUNGRIA, 1994). Em sistemas de cultivo onde

---

<sup>1</sup> DRURY, C.F.; STONE, J.A.; FINDLAY, W.I.. Microbial biomass and soil structure associated with corn, grasses and legumes. **Soil Sci. Amer. J.**, v.55, p. 805-811, 1991.

<sup>2</sup> CARTER, M.R.; MELE, P.M. Changes in microbial biomass and structural stability at the surface of a duplex soil under direct drilling and stubble retention in north-eastern Victoria. **Aust. J. Soil Res.**, v.30, p. 493-503, 1992.

as práticas de preparo do solo são minimizadas, a estabilidade dos agregados do solo aumenta. Quando o sistema convencional foi comparado com o plantio direto em solos do Paraná, o último favoreceu a estabilidade dos agregados, avaliada pela maior proporção de agregados maiores do que 4 mm e maior diâmetro médio geométrico das partículas (SANTOS, 1993). Essas condições do plantio direto favorecem o desenvolvimento de hifas de fungos (HENDRIX et al.<sup>3</sup>, 1986, apud WARDLE; HUNGRIA, 1994) e, aparentemente, existe um mecanismo de retroalimentação entre a estrutura do solo e a formação de cadeias de hifas de fungos.

Para Cattelan e Vidor (1990) a população microbiana é influenciada pelo manejo e pela cobertura vegetal do solo que exerce papel importante sobre a temperatura e umidade do solo. Nos solos de clima tropical ou subtropical, os fatores climáticos exercem influência e estimula a proliferação da população microbiana, fator este que não é observado nas regiões de clima temperado por causa da periodicidade climática. As características de elevadas temperatura e umidade observadas nos trópicos úmidos durante todo o ano favorecem o desenvolvimento dos microrganismos que atuam diretamente na decomposição da matéria orgânica do solo. Ressalta-se também, que este padrão climático mantém as populações desses organismos estáveis em condições naturais. Este equilíbrio só é alterado quando há alguma intervenção no solo (BITTENCOURT, 2003).

A dinâmica da biomassa microbiana está estreitamente correlacionada à dinâmica da matéria orgânica do solo. A maioria dos sistemas naturais é fortemente limitada por nutrientes o que faz com que os microrganismos tenham crescimento lento ou mesmo fiquem em estado dormente (GOTTSCHAL<sup>4</sup>, 1990, apud WARDLE; HUNGRIA, 1994).

Os teores de carbono e nitrogênio dos resíduos vegetais são os principais fatores químicos que influenciam na decomposição da matéria orgânica, assim como na sua dinâmica e na liberação de nutrientes (PALM; SANCHEZ, 1991; TIAN et al., 1997).

Os ecossistemas são limitados por nutrientes, assim como a dinâmica dos microrganismos no solo. O C é a principal fonte de nutrientes da célula microbiana, participando com 47% da sua matéria seca (JENKINSON; LADD, 1981). Segundo Cerri et al (1996) o aporte anual de C em solos amazônicos é estimado entre 0,35 e 0,40 kg m<sup>-2</sup>. Os microrganismos regulam a acumulação de C no solo dependendo de fatores como o pH, drenagem e, principalmente, textura do solo.

---

<sup>3</sup> HENDRIX, P.F.; PARMELEE, R.W.; CROSSLEY, D.A.; COLEMAN, D.C.; ODUM, E.P.; GROFFMAN, P.M. Detritus food-webs in conventional and no-tillage agroecosystems. *Bioscience*, v.36, p. 374-380,1986.

<sup>4</sup> GOTTSCHAL, J.C. Phenotypic response to environmental changes. *FEMS Microbiol.Ecol.*, v. 74, p. 93-102, 1990.

As atividades antrópicas são os grandes responsáveis pela diminuição da diversidade microbiana (MAGURRAN, 1988), levando a alterações na atividade microbiana decorrente das perdas de qualidade e/ou quantidades de matéria orgânica na superfície do solo.

#### 1.2.1.1 Relações da BMS com as Plantas

As plantas normalmente estimulam a biomassa microbiana, principalmente porque a rizosfera está constantemente exsudando formas prontamente disponíveis de C e N, que são absorvidas pela microflora (SMITH; PAUL, 1990).

Para Okano et al. (1991) esse padrão de estímulo não é universal, e as plantas às vezes reduzem a biomassa, provavelmente pela competição por nutrientes com as raízes.

As espécies de plantas têm grande influência na biomassa microbiana e, de um modo geral, plantas de espécies diferentes em um mesmo solo resultam em níveis diferentes de biomassa microbiana, o que normalmente resulta de diferenças qualitativas e quantitativas na adição de matéria orgânica ao solo (SPARLING et al., 1992).

A cobertura vegetal favorece a atividade dos organismos através do aporte de matéria orgânica ao solo na forma de “litterfall” e exsudados radiculares. A incorporação da matéria orgânica ao solo aumenta sensivelmente a BMS (POWLSON et al., 1987), enquanto que o desmatamento reduz em mais de 50% a BMS (PFENNING et al., 1992). Assim, as plantas contribuem qualitativa e quantitativamente para o acúmulo de matéria orgânica e regulam a fonte de nutrientes para os microrganismos. A mineralização da matéria orgânica do solo torna os nutrientes disponíveis para as plantas, logo, a natureza da comunidade vegetal é muito importante para a definição da dinâmica dos microrganismos do solo.

#### 1.2.1.2 Determinação da BMS

Os métodos mais utilizados para a determinação da BMS são: observação direta, através da microscopia, fumigação-incubação (JENKINSON; POWLSON, 1976), taxa de respiração em resposta à glicose (ANDERSON; DOMSCH, 1978); índice de ATP (OADES; JENKINSON, 1979); e fumigação-extração (BROOKES et al., 1985; VANCE et al., 1987; TATE et al., 1988). O método da fumigação-extração é o mais indicado para solos ácidos (pH abaixo de 5,0) e para muitos solos florestais (COLEMAN; CROSSLEY, 1996), além de ser

um método menos laborioso do que o método da fumigação-incubação, que requer 10 dias de armazenamento, em recipiente de incubação.

Segundo Wardle (1994) a técnica da fumigação-extração (VANCE et al., 1987) envolve a eliminação da microflora do solo pelo clorofórmio, como no método de fumigação-incubação. Entretanto, diferentemente da incubação, o carbono liberado pela morte dos microrganismos é determinado por extração química ou digestão.

Pfenning et al (1992) concluíram que a fumigação-extração foi mais eficiente que a fumigação-incubação em solos de duas áreas da região amazônica (PA e AM). Gama-Rodrigues (1992) também testou esses dois métodos para estimar o C da BMS em solos Podzólico Vermelho-Amarelo e em Planossolo em Itaguaí (RJ) e ambos apresentaram boa correlação, embora a precisão dos métodos tenha caído com o decréscimo do C-total dos solos, tendo a fumigação-extração apresentado maior precisão para estes solos.

### 1.2.1.3 Atividade da BMS

Anderson (1982) definiu a respiração microbiana como a absorção de O<sub>2</sub> ou liberação de CO<sub>2</sub> pelas bactérias, fungos, algas e microfauna no solo e incluindo as trocas gasosas que resultam de ambos os metabolismos aeróbio e anaeróbio.

A respiração do solo pode ser mensurada no campo, sob condições naturais, ou em laboratório, sob condições controladas. A determinação da respiração do solo no campo tem sido usada para avaliação da atividade geral da biomassa do solo e práticas agrícolas. Também são observadas estimativas da mineralização e estabilização do C quando relacionadas ao tipo de matéria orgânica e sua taxa de adição sobre ou dentro do solo. Os objetivos de muitas dessas medidas têm sido obter uma compreensão do processo de mineralização e, portanto, do ganho de nutrientes e carbono do solo, possibilitando que a matéria orgânica seja mais eficiente utilizada e conservada (ANDERSON, 1982; PARKINSON; COLEMAN, 1991).

A respiração basal tem sido largamente usada para estudos sobre influências de diversos atributos físicos do solo como umidade, temperatura e aeração sobre a mineralização da matéria orgânica do solo (ANDERSON, 1982).

Biomassa microbiana e atividade microbiana são atributos distintos dos microrganismos do solo. A BMS é uma estimativa da massa microbiana viva total do solo, com base na concentração de algum elemento ou de alguma substância celular ou por

mensurações em microscopia direta (DE-POLLI; GUERRA, 1999). A atividade é medida em termos metabólicos e representa o CO<sub>2</sub> respirado pela BMS. A BMS é um parâmetro altamente dinâmico que se modifica rapidamente no solo, devendo sempre ser analisada juntamente com a atividade, das mesmas amostras de solo, face à extrema heterogeneidade do ambiente natural da microbiota e sua diversidade (GRISI; GRAY, 1985).

#### 1.2.1.4 Índice Derivado da Estimativa da BMS

##### 1.2.1.4.1 *Quociente Metabólico (qCO<sub>2</sub>)*

Para definir e quantificar mais claramente a atividade microbiana do solo, alguns autores relacionam a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado pela biomassa microbiana em uma mesma amostra de solo obtendo-se a respiração específica (INSAN; HASELWANTER<sup>5</sup>, 1989, apud VASCONCELOS, 2002), também denominada quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e taxa respiratória da biomassa microbiana (TRBM) (GAMA RODRIGUES, 1999). O quociente metabólico representa a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo.

O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) pode ser usado como parâmetro de avaliação do empobrecimento dos solos em termos de matéria orgânica, assim, com o aumento da maturidade da matéria orgânica do solo conseqüentemente o qCO<sub>2</sub> diminui, ou seja, quanto menor o qCO<sub>2</sub> mais eficiente se torna a biomassa microbiana do solo, ou ainda menos C é perdido pela respiração e uma fração significativa de C é incorporado no tecido microbiano (ANDERSON; DOMSCH, 1985). Com isso, observa-se que a biomassa microbiana tem relação inversa com o quociente metabólico, sugerindo que, em maiores teores de C, podem ocorrer aumento da BM e diminuição na atividade metabólica.

Segundo Santruckova e Straskraba (1991) as principais causas para as alterações da taxa de respiração da biomassa são: mudança na composição da biomassa, efeito do estresse ambiental, decréscimo de células ativas com aumento da biomassa microbiana e inibição decorrente da concentração de CO<sub>2</sub>.

A aplicação do qCO<sub>2</sub> tem grande potencial nos estudos sobre estrutura da comunidade microbiana e de como ela se relaciona com sua função, possibilitando o entendimento das

---

<sup>5</sup> INSAN, H.; HASELWANDTER, K. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. *Oecologia*, v. 79, p. 174-178, 1989.

mudanças na composição de populações dentro de uma comunidade, em termos de fluxo de energia nos ecossistemas. Em estudos realizados no Brasil, esse parâmetro tem sido pouco utilizado (VASCONCELOS, 2002).

### 1.2.2 Composição Química da Água da Chuva

A composição química da água da chuva pode ser responsável pela introdução de poluentes em um ecossistema. A composição química da precipitação tem ligação direta com parâmetros relacionados à qualidade do ar atmosférico. A atmosfera é um sistema dinâmico e quimicamente complexo que interage significativamente com oceanos, crosta e organismos vivos (AL MOMANI, 2003).

Segundo Jordan (1982) a composição e a deposição de solutos na chuva da Amazônia, são de grande interesse pelo fato da deposição atmosférica ser defendida como a principal fonte natural de reposição de nutrientes, apontando a inclusão da vegetação como um importante fator na modelagem hidrológica para tomada de informações sobre a chuva, tanto em termos de quantidade de água quanto em relação às características químicas que esta apresenta. Uma razão de interesse sobre as características químicas da chuva na Amazônia é devida às evidências indicadoras de que a floresta continental é a principal fonte de aerossóis, reduzindo a formação de gases que podem ter um impacto significativo na química da atmosfera. Outra razão é que esta serve como referência para a acidez da água natural da chuva (LESACK; MELACK, 1991).

Estudos mostram que a contaminação por partículas atmosféricas, ou aerossóis, é a razão da presença de impurezas químicas na precipitação (JUNGE; GUSTAFSON<sup>6</sup>, 1957, apud MANOKARAN, 1980). Como meio de origem dessas partículas, tem-se o oceano, a massa da terra, além de outras como, por exemplo, a poluição do ar pela queima de madeira para produção de carvão vegetal e origens biogênicas e vulcânicas.

A chuva constitui uma fonte de nutrientes para ecossistemas florestais. A entrada de nutrientes é alterada significativamente após a interação da chuva com a copa e o caule das árvores, proporcionando a lixiviação de sais minerais das plantas, arrastando poeira, poluentes particulados e excrementos dos vários animais que vivem nas copas e troncos das árvores (MELO, 1999).

---

<sup>6</sup> JUNGE, C.E. GUSTAFSON, P.E. On the distribution of sea salt over the United States and its removal by precipitation. *Tellus* 9: 164-173, 1957.

Odén (1976) esclarece que os processos de dispersão natural dos poluentes são dois: através dos ventos e através do “looping”. Os ventos podem levar os poluentes para centenas de quilômetros da fonte poluidora. O processo chamado “looping” ocorre devido à precipitação e a turbulência atmosféricas. Nele, certos compostos voláteis como H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> e outros, depois de depositado ao solo, podem se volatilizar, retornando à atmosfera, podendo se encaminhar novamente para locais distantes por ação dos ventos.

O enxofre como poluente atmosférico é originado pelo aquecimento de minérios do grupo de sulfatos, combustão da madeira, pela fabricação de fertilizantes, celulose e ácido sulfúrico. A CETESB (1984) cita que o enxofre também pode se originar da combustão de carvão (0,3 a 6,5% de enxofre) e derivados de petróleo (até 5,1% de enxofre) usados em veículos, usinas termo-elétricas, indústrias em geral, altos fornos de siderúrgicas, entre outros. Durante a combustão, o enxofre é convertido em dióxido de enxofre, que é oxidado para formar ácido sulfúrico. Esse ácido sulfúrico, formado pela oxidação do ácido sulfuroso ou pela hidrólise do trióxido de enxofre, pode reagir com a amônia ou com o carbonato de cálcio, para formar respectivamente sulfato de amônia ou sulfato de cálcio. O nitrogênio, por sua vez, como poluente do ar, é originado no processo de combustão do carvão vegetal e também na combustão de combustíveis fósseis (Figura 1). Através da reação do nitrogênio com o oxigênio, em condições de elevadas temperaturas, ocorre a formação do óxido nítrico. O óxido nítrico pode ser oxidado originando o dióxido de nitrogênio, tanto na zona de combustão como na atmosfera. Já o dióxido de nitrogênio pode ser hidrolisado na presença de água, formando o ácido nítrico e/ou o ácido nitroso. Estes ácidos podem reagir com o gás amônia e com o carbonato de cálcio, formando nitrito de amônia ou cálcio, respectivamente, ou ainda formando sais de nitrato (COOPER<sup>7</sup> et al., 1976, apud HAAG, 1985).

---

<sup>7</sup> COOPER, JR., H.B.H.; DEMO, J.M. e LOPEZ, A.J., 1976. Chemical composition of acid precipitation in central Texas. **USDA**. Forest Service NE General Technical Report, Upper Darby, (23): 281-91.





Figura 1: Detalhe da fumaça produzida pela queima de carvão vegetal.

De acordo com Mariotti (1982), outros gases que não o  $\text{SO}_2$  e o  $\text{NO}_2$ , podem causar mudanças na composição química da água da chuva, contudo em proporções menores, dando-se destaque ao ácido clorídrico e ao ácido fluorídrico, onde o ácido clorídrico pode se originar das indústrias de fertilizantes, das indústrias eletroquímicas, dos processos de esmaltação de porcelana e da combustão de materiais contendo cloro, como o P.V.C.; já o ácido fluorídrico se desprende das fundições de metais pesados e de alumínio, das indústrias de vidro, esmalte, porcelana e fertilizantes. Além dessas fontes, o cloro e o flúor podem estar presentes em quantidades pequenas nos carvões, reagindo durante a combustão, produzindo seus respectivos ácidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL- MOMANI, I.F. Trace elements in atmospheric precipitation at Northern Jordan measured by ICPMS: acidity and possible sources. **Atmospheric Environment**, 37, 4507-4515, 2003.
- ANDERSON, J.D.; DOMSCH, K.H. Ratio of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biol. Biochem.**,21:471-479,1989.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganism in a dormant state. **Biology and Fertility of Soil**, Berlin, v. 1, p. 81-89, 1985.
- ANDERSON, J. P. E. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R.(eds.) **Method of soil analysis**. 2. ed. Part 2. Madison, American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1982. p. 831-871.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.10, p. 215-221, 1978.
- BERNADIN, Y.; MATOS, R. **Etude de faisabilité au Brésil**. São Paulo – BRESIL,1999.
- BITTENCOURT, K. S. Q. Q. **Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em um argissolo vermelho amarelo sob vegetação de cerrado e de cultivo de grãos em Redenção – 2003**. 119 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 2003.
- CERRI, C.C. et al. Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia In: **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e desenvolvimento sustentado**. ALVAREZ, V. H.V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Eds.), Viçosa: SBCS; UFV, DPS, 1996. 930p.
- CETESB. **Caracterização química das águas de chuva de Cubatão: Impacto Ambiental**. Relatório Anual. São Paulo, 1984. 22p.
- COLEMAN, D. C.; CROSSLEY, D. A. **Fundamentals of soil ecology**. Academic Press, London, 1996. 201 p.
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.389-411.

- GAMA-RODRIGUES, E. F. **Biomassa-C microbiana de solos de Itaguaí: comparação entre os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração** - 1992. 108 p. Dissertação de mestrado. Departamento de Solos- Instituto de Agronomia- UFRRJ. Seropédica, RJ, 1992.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. da. 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, Genesis. 1999. p.227-244.
- GAMA-RODRIGUES et al. Biomassa microbiana de carbono de solos de Itaguaí (RJ): comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 18:427-432, 1994.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. da; BARROS, N. F. de. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p. 361-365, 1997.
- GIRARD, P. **Étude de marche potentielle pour un procédé de carbonisation sous pression**. CIRAD-Forêt, 1994.
- GRACE, C.; GRISI, B.M. Soil microbial biomass and organic matter dynamics in northern Europeans and tropical soils at elevated temperature. In: International Symposium on Microbial Ecology, 6, 1992, Barcelona. **Abstracts** p. 103.
- GREGORICH, E. G.; VORONEY, R. P.; KACHANOSKI. Turnover of carbon through the microbial biomass in soils with different textures, toxicity in subsoils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** Madison, v. 50, p. 28-34, 1990.
- GRISI, B.M. Biomassa e a atividade de microorganismos do solo: revisão metodológica. **R. Nord. Biol.**, 10:1-22, 1995.
- GRISI, B. M.; GRAY, T. R. G. Biomassa microbiana de solo estimada do biovolume com uso da microscopia de fluorescência. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 131-138, 1985.
- HAAG, H.P. et al. **Chuvadas ácidas**. Campinas-SP: Fundação Cargill, 1985. 77p.
- JENKINSON, D.S., ADAMS, D.E.; WILD, A. Model estimates of CO<sub>2</sub> emissions from soil in response to global warming. **Nature**, 1991. 351: 304-306.
- 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.

- JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: Measurement and Turnover In: PAUL, E.A.; LADD, J.N., (eds). **Soil Biochemistry**. New York, Marcel Dekker, 1981. v.5. p.415-471.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. Residual effects of soil fumigation on soil respiration and mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.2, p. 99-108, 1976.
- JORDAN, C.F. The nutrient balance of na Amazonian rain forest. **Ecology**, v. 63, n.3, p. 647-654, 1982.
- JOERGENSEN, R.G.; BROOKES, P.C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurement of microbial biomass in 0,5M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> soil extracts. **Soil Biol. Biochem.**,1990. 22:1023-1027.
- LESACK, L.F.W., MELACK, J.M. The composition and potential sources of major ionic solutes in rain of the Central Amazon Basin. **Water Resources Research**, v.27, n.11, p.2953-2977, 1991.
- MANOKARAN, N. The Nutrient Contents of Precipitation, Throughfall and Stemflow in a Lowland Tropical Rain Forest in Peninsular Malaysia. **The Malaysian Forester**. v. 43, n.3,1980.
- MARIOTTI, M. Z. **O papel da lixiviação e da chuva ácida na ciclagem de nutrientes em florestas**. Piracicaba, ESALQ/USP. 27p., 1982.
- MELO, V. S. **Contribuição da água escorrida pelo caule à chuva efetiva em floresta primária explorada na Amazônia Oriental**. 1999. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1999.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 1 ed. Lavras: UFLA, 2001. 626p.
- OADES, J. M.; JENKINSON, D. S. Adenosine triphosphate content of the soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.11, p. 201-204, 1979.
- ODÉN, S. The acidity problem: on outline of concepts **USDA** Forest Service NE General Technical Report, **Upper Darby**, (23): 1-36, 1976.
- OKANO, S.; SATO, K.; INOUE, K. Negative relationship between microbial biomass and root amount in topsoil of a grassland. **Soil Sci. Pant Nutr.**, v.37, p. 47-53, 1991.
- PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil. Biol. Biochem.**, v.23, p.83-88, 1991.
- PARKINSON, D.; COLEMAN, D. C. Methods for assessing soil microbial populations, activity and biomass-Microbial communities, activit and biomass. **Agric. Ecosyst. Environm.**, 34: 3-33, 1991.

- PARTON, W.J. et al. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 51: 1173-1179, 1987.
- PAUL, E.A.; CLARK, F.E., (eds.) **Soil microbiology and biochemistry**. New York, Academic Press, 1989. 340p.
- PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**, California, Academic Press, 1989. 275p.
- PFENNING, L.; EDUARDO, B. de P.; CERRI, C. C. Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p. 31-37, 1992.
- POWLSON, D.S.; JENKINSON, D.S. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils. **J. Agric. Sci.**, 1981. 97:713-721.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.19,n.2, p.159-164, 1987.
- SANTOS, J.C.F. **Comportamento de propriedades físicas e químicas de dois latossolos roxos sob diferentes sistemas de rotação de cultura em plantio direto**. 1993. Dissertação de Mestrado - Lavras: ESAL, 1993.
- SANTRUCKOVA, A. H.; STRASKRABA, M. On the relationship between specific respiration activity and microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, n.6, p. 525-532, 1991.
- SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. de.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. EMBRAPA. Brasília, 1994.
- SMITH, J.L.; PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J. M.; STOTZKY, G. eds. **Soil Biochemistry**, v.6, 1990. p. 357-396.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.30, p. 95-207, 1992.
- SPARLING, G.P.; ROSS, D.J. Biochemical methods to estimate soil microbial biomass: current development and applications. In: MULUNGOY, K.; MERCKX, R. (Ed.). **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Leuven: Willey-Sayce, 1993. p.21-37.

- SPARLING, G.P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: PANKHURST, C.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R., eds. **Biological indicators of soil health**. Cambridge, CAB International, 1997. p.97-120.
- TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAN, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 329-335, 1988.
- TIAN, G. et al. Soil fauna-mediated decomposition of plant residues under constrained environmental and residue quality conditions. In: CADISH, G. E GILLER, K. E. (Ed.). **Driven by nature: plant litter quality and decomposition**. Wallingford: CAB, 1997. p. 125-134.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, n.6, p. 703-707, 1987.
- VASCONCELOS, L. G. T. R. **Biomassa microbiana de um solo sob vegetação secundária na Amazônia Oriental**. 2002. 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Solos e Nutrição de Plantas). Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 2002.
- WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biology Review**, Praga, v.67, p.321-358, 1992.
- WARDLE, D. A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: a global-scale synthesis. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 30, n. 13, p. 1627-1637, 1998.
- WARDLE, D.A.; GHANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 27, n. 12, p. 1601-1610, 1995.
- WARDLE, D.A.; HUNGRIA, M. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: Araújo, R. S.; HUNGRIA, M. **Microorganismos de importância agrícola**. Embrapa SPI. Documentos, 44. 1994 236p.
- WARDLE, D. A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: **Avanços obtidos nos estudos sobre microorganismos de importância agrícola**. ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Eds.), Brasília: Embrapa. SPI, 1994. 236 p.

## **CAPÍTULO 2**

**EFEITO DE RESÍDUOS DA ATIVIDADE DE CARVOARIA NA BIOMASSA  
MICROBIANA DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB DIFERENTES  
COBERTURAS VEGETAIS EM PARAGOMINAS/PA.**

## RESUMO

Um dos setores produtivos de grande magnitude na região Amazônica é o complexo siderúrgico dos estados do Pará e Maranhão que consome anualmente mais de 700 mil toneladas de carvão vegetal. A tecnologia do forno “Rabo Quente”, 100% poluente, que foi disseminado na região tornou-se um fator preocupante à questão do meio ambiente por essa atividade lançar na atmosfera gases e vapores gerados na transformação da madeira em carvão vegetal. Supõe-se que no período de janeiro a maio, quando há maior incidência de chuva, aumente também, o arraste de vapores gerados na carbonização da madeira, podendo provocar um efeito sobre a microbiologia do solo. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi de avaliar o efeito dos resíduos da atividade de carvoaria na biomassa microbiana de um Latossolo Amarelo, em áreas sob diferentes tipos de cobertura vegetal, do entorno da Fazenda Rio Capim, pertencente à Cikel Brasil Verde S.A., em Paragominas/PA. Em março, maio e junho de 2005 foram coletadas amostras do solo, sob cobertura vegetal de gramínea e essências florestais, em áreas com e sem influência dos resíduos produzidos pela carvoaria, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm, perfazendo um total de 32 amostras por coleta. As variações nas propriedades biológicas do solo (carbono da biomassa microbiana, respiração basal da biomassa microbiana e quociente metabólico) foram avaliadas através do efeito de 24 tratamentos distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x2x2x2 com 4 repetições. A análise de variância e a comparação de médias foram feitas por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando o software SAEG 8.1. Isoladamente, os resíduos da atividade de carvoaria, e a época de maior intensidade de chuvas, reduziram os teores de carbono da biomassa microbiana-CBM e respiração basal-CO<sub>2</sub> do solo e não influenciaram os de quociente metabólico-qCO<sub>2</sub>. A cobertura vegetal influenciou significativamente o CO<sub>2</sub> e o qCO<sub>2</sub>, proporcionando maiores valores em condições de cobertura de gramínea. Houve redução do CBM, CO<sub>2</sub> e qCO<sub>2</sub> no solo coletado em área de cobertura vegetal de gramínea, no mês de maior intensidade de chuvas. Em época de menor intensidade de chuvas, o CBM aumentou com o aumento da profundidade do solo, ocorrendo o inverso com o CO<sub>2</sub>. Na área sem influência da atividade de carvoaria, os teores de CBM, CO<sub>2</sub> e qCO<sub>2</sub> foram maiores quando a cobertura vegetal era de essências florestais, e quando a mesma área interagiu com a profundidade de amostragem do solo, os maiores valores para CBM ocorreram na profundidade de 5-10 cm, enquanto que para CO<sub>2</sub> e qCO<sub>2</sub>, os maiores teores foram obtidos na profundidade de 0-5 cm.

Palavras-chave: microbiologia, carvão vegetal, biomassa microbiana, latossolo amarelo, floresta amazônica.



## ABSTRACT

Considered the most productive sectors in the Amazon region, the iron companies based in the States of Pará and Maranhão consumes more than 700.000 tons of vegetal charcoal annually. The highly disseminated technology of the hot oven, a 100% pollutant, has become an important environmental issue because of the massive release of gases and vapors released to the atmosphere in the process of transformation of lumber in vegetable charcoal. Theoretically, during the period of January to May, when there is the greatest rain incidence, also increase the drag of vapors generated by the carbonization of the lumber, what could provoke an effect on the microbiology of the soil. In that context, the objective of this study was of evaluating the effect of the residues from the charcoal production in the microbial biomass of a Yellow Latosol, in areas under different types of vegetable covering that surrounds the Rio Capim farm, belonging to Cikel Brasil Verde S.A., in Paragominas/PA. In March, May and June of 2005 samples of the soil were collected, both under vegetable covering of grass and forest essences, in areas with and without influence of the residues produced by the charcoal production activity, in the depths of 0-5 cm and 5-10 cm, in a total of 32 samples for collection. The variations in the biological properties of the soil (carbon of the microbial biomass, basal respiration of the microbial biomass and metabolic quotient) were assessed based on the effect of 24 treatments with an entirely randomized design, in a factorial arrangement  $3 \times 2 \times 2 \times 2$  with 4 repetitions. The ANOVA and the comparison of averages were made using the test of Tukey at 5% of probability, with the software SAEG 8.1. Taken together, the lumber burning residues in the period of more rain episodes, produced reductions in the CBM and soil basal respiration  $-CO_2$  without influencing the  $qCO_2$ . The vegetal covering influenced significantly both  $CO_2$  and  $qCO_2$ , the highest values being observed in the condition of grass covering. We observed a reduction in CBM,  $CO_2$  and  $qCO_2$  in the soil samples collected from areas with grass covering and in the month with more rain episodes. In months with less rain, CBM values increased and  $CO_2$  values decreased with the increase in the depth of the samples. In the area without the influence of lumber burning, the values for CBM,  $CO_2$  and  $qCO_2$  were higher when the vegetal covering was comprised of forest essences. Considering different depths of the soil samples, the highest CBM values were obtained at the 5-10 cm depths, and at the depths of 0-5 cm for  $CO_2$  and  $qCO_2$ .

Keywords: microbiology, vegetable coal, microbial biomass, yellow latosol, amazon rain forest.

## 2.1 INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica é conhecida por ser a maior área contínua de floresta tropical do mundo com elevados índices de precipitação e um ecossistema caracterizado por sustentar extensa biodiversidade. À medida que as fronteiras da floresta Amazônica vão sendo alteradas pelo avanço da agricultura e da pecuária, pelo corte indiscriminado de árvores centenárias, e pelo fogo, o equilíbrio do ecossistema Amazônico é ameaçado e surge a inevitável questão de quais as conseqüências dessas ações num futuro próximo.

Um dos setores produtivos de grande magnitude na região Amazônica é o complexo siderúrgico dos estados do Pará e Maranhão que consome anualmente mais de 700 mil toneladas de carvão vegetal, segundo a ABRACAVE - Associação Brasileira de Carvão Vegetal (BERNADIN; MATOS, 1997).

A falta de tradição na fabricação de carvão dos estados mencionados fez com que se importasse do principal pólo siderúrgico do país, o estado de Minas Gerais, a tecnologia do forno “Rabo Quente”, 100% poluente, que foi disseminado na região e continua até hoje em plena atividade, tornando-se um fator limitante à questão de meio ambiente por essa atividade lançar na atmosfera gases e vapores gerados na transformação da madeira em carvão vegetal.

Segundo Girard (1994), uma conversão termoquímica da madeira pode gerar cerca de 25% de resíduos sólidos (carvão vegetal); 25% de gases constituídos de CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> e diversos hidrocarbonetos e de 50% de líquido pirolenhoso, sendo que desse total cerca de 30% são constituídos de vapores tóxicos (ácido fórmico, ácido acético, metanol, acetona, derivados furfural, derivados de fenóis, cresóis, etc.) e o restante de vapor de água. Esses percentuais de vapores e gases nocivos, em relação ao montante de madeira usada para fins de carbonização, tornam-se um foco altamente poluidor para o meio ambiente.

Por simples cálculo, pode-se estimar a quantidade de gases e vapores que são lançados na atmosfera pela atividade de carvoejamento nos pólos siderúrgicos do Pará e do Maranhão. Com base no rendimento médio da conversão pirolítica mencionado por Girard (1994), estima-se que para produzir 700 mil toneladas de carvão, necessita-se de 2,8 milhões de toneladas de madeira. O restante correspondente a 2,1 milhões toneladas representa a fumaça, onde 1,4 milhões de toneladas são formados de vapores pirolenhosos, sendo que desse total, 980 mil toneladas são constituídos de vapor d'água (70%) e 420 mil toneladas são de vapores tóxicos (30%) e, finalmente, 700 mil toneladas de gases também tóxicos, que são lançados anualmente no meio ambiente pela atividade de carvoejamento, para atender a demanda das indústrias siderúrgicas.

Considerando que a produção de carvão vegetal em fornos “rabo quente” ocorre durante todo o ano, supõe-se que no período de janeiro a maio, quando há incidência de chuvas, ocorra o arraste de vapores gerados na carbonização da madeira, podendo provocar um efeito danoso sobre a microbiologia do solo.

O reconhecimento da importância dos microrganismos do solo, responsáveis também pela manutenção de uma série de reações que favorecem a maior liberação de nutrientes para as plantas, considerados importantes parâmetros ecológicos e de sustentabilidade do sistema produtivo (VASCONCELOS et al., 1999), tem aumentado o interesse em medir os nutrientes contidos nas células microbianas, como o carbono que é um bom indicador da biomassa e de sustentabilidade do ambiente. Os microrganismos do solo são responsáveis direta ou indiretamente por processos microbiológicos e bioquímicos diversos, os quais exercem enorme influência na sustentabilidade dos ecossistemas terrestres (WARDLE, 1992), atuando como indicador de sua degradação.

A atividade dos microrganismos é o indicador ecológico da ciclagem de nutrientes, visto que, quanto mais elevada for a atividade, maior será a mineralização da matéria orgânica em decomposição e a liberação de nutrientes para as plantas. Os microrganismos, 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 para as plantas (JENKINSON, 1988). Para Sparling e Ross (1993) a população microbiana tem sido considerada um indicador sensível das alterações no estoque de matéria orgânica decorrente do uso da terra.

A biomassa microbiana do solo (BMS) é fonte potencial de nutrientes para as plantas por ser o compartimento de mais rápida ciclagem que ocorre na matéria orgânica. A sua quantificação é essencial para estudos da dinâmica de nutrientes e da matéria orgânica, facilitando o entendimento dos processos biológicos em solos. Este indicador permite aferir o acúmulo ou perda de carbono (C), assim como de outros nutrientes contidos na sua biomassa microbiana que constitui uma parte significativa e potencialmente disponível para as plantas (MARUMOTO et al., 1982; GALLARDO; SCHLESINGER, 1990).

Um parâmetro cinético utilizado para avaliar e classificar a biomassa microbiana quanto à sua eficiência em decompor a matéria orgânica do solo, é o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), que representa a quantidade de  $CO_2$  liberado por unidade de biomassa microbiana em

determinado tempo (SANTRUCKOVA; STRASKRABA<sup>8</sup>, 1991, apud VASCONCELOS, 2002).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi de avaliar o efeito dos resíduos da atividade de carvoaria na biomassa microbiana de um Latossolo Amarelo, sob diferentes tipos de cobertura vegetal, do entorno da Fazenda Rio Capim, pertencente à Cikel Brasil Verde S.A., em Paragominas/PA.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Localização e Características Gerais da Área de Estudo

O material de estudo originou-se da Fazenda Rio Capim, pertencente à Empresa Cikel Brasil Verde S/A, localizada no Estado do Pará, cujas coordenadas são: 3° 30' e 3° 45' de latitude Sul e 48° 30' e 48° 45' de longitude a Oeste de Greenwich. Esta fazenda dista da sede do município de Paragominas cerca de 350 km, percorrendo o Rio Capim no mesmo sentido de seu desaguamento e, aproximadamente 370 km de Belém. O município de Paragominas está localizado no nordeste do Estado do Pará, na microrregião homogênea Guajarina. A área total da propriedade da Empresa Cikel Brasil Verde S/A abrange 197.811,95 hectares, sendo o estudo desenvolvido na carvoaria da Fazenda Rio Capim, a qual tem uma área de aproximadamente 140.658,550 hectares (Figura 2).

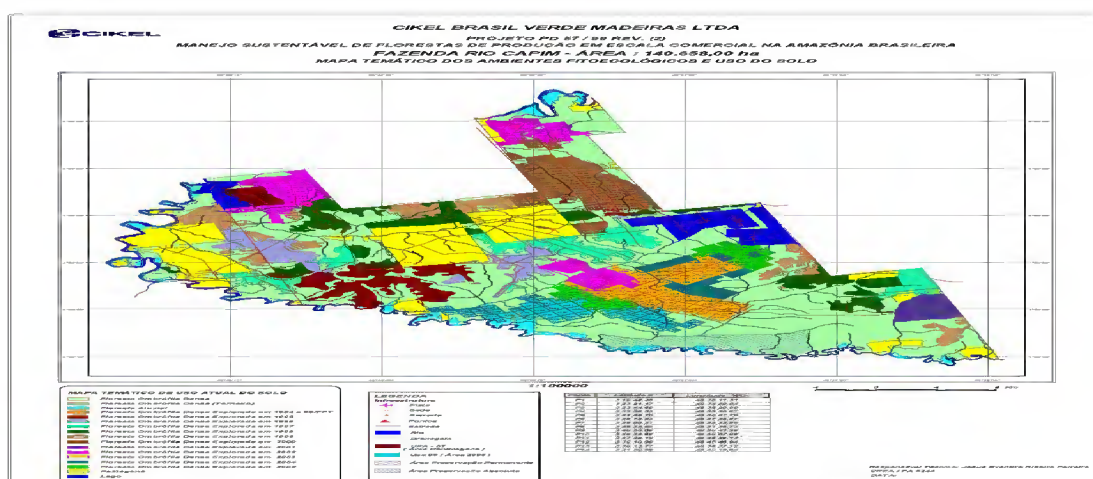


Figura 2 – Mapa temático dos ambientes fitoecológicos e uso do solo da fazenda Rio Capim.

<sup>8</sup> SANTRUCKOVA, H.; STRASKRABA, M. On the relationship between specific respiration activity and microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 23, p. 525-532, 1991.

### **2.2.2 Tipo de Vegetação**

A classificação e descrição da vegetação da área de estudo foram feitas com base na composição florística de cada tipologia vegetal da região. Os tipos de vegetações descritas neste experimento correspondem a plantações feitas pela empresa, as abaixo descritas são nativas da região.

- Floresta ombrófila densa, também conhecida como floresta equatorial úmida de terra firme;
- Floresta ombrófila aberta mista de cipó e palmeira;
- Floresta ombrófila aluvial, conhecida também como floresta equatorial úmida de várzea.

### **2.2.3 Clima, Solo, Topografia e Hidrografia**

Estudos realizados pela Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia-SUDAM descreveram que o clima da região de Paragominas é do tipo Aw, caracterizado como tropical chuvoso com estação seca bem definida, segundo a classificação de Köppen. As temperaturas médias mensais variam de 25 °C a 28 °C. As chuvas são abundantes no período de dezembro a maio, onde o excedente hídrico é de 282 mm. O déficit hídrico é de 512 mm e ocorre entre os meses de junho a dezembro.

A região apresenta um clima com duas condições distintas: uma de chuva e outra de seca (em torno de seis meses cada), com índice pluviométrico médio anual que varia entre 1.800 a 2.100 mm. A altitude é em torno de 200 m.

Os solos ocorrentes na região são dos tipos Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos, Plintossolos, Gleissolos e Neossolos, sendo que os Latossolos Amarelos são os dominantes, segundo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

A Fazenda Rio Capim, localizada na região de Paragominas, é banhada pelos rios Capim e Surubijú (limítrofes) e outros rios (interiores): Igarapé do Seis, 8A e Cabeça Fria.

### 2.2.4 Coleta e Preparo das Amostras

Em março, maio e junho de 2005 foram coletadas amostras de solo, sob cobertura vegetal de gramínea e essências florestais (eucalipto e paricá), ambas com sete anos de idade em áreas com e sem influência dos resíduos produzidos pela atividade da carvoaria, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm. Para cada tratamento foram feitos quatro pontos de coleta, cada um com duas profundidades, totalizando oito amostras para cada tratamento, perfazendo um total de 32 amostras por coleta. A área sem influência da carvoaria para a área com influência da carvoaria dista aproximadamente 600 m e a direção dos ventos predominantes ocorre no sentido da área sem influência para a área com influência da carvoaria, conforme observamos no croqui da área de estudo na Figura 3. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo, textura argilosa, segundo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

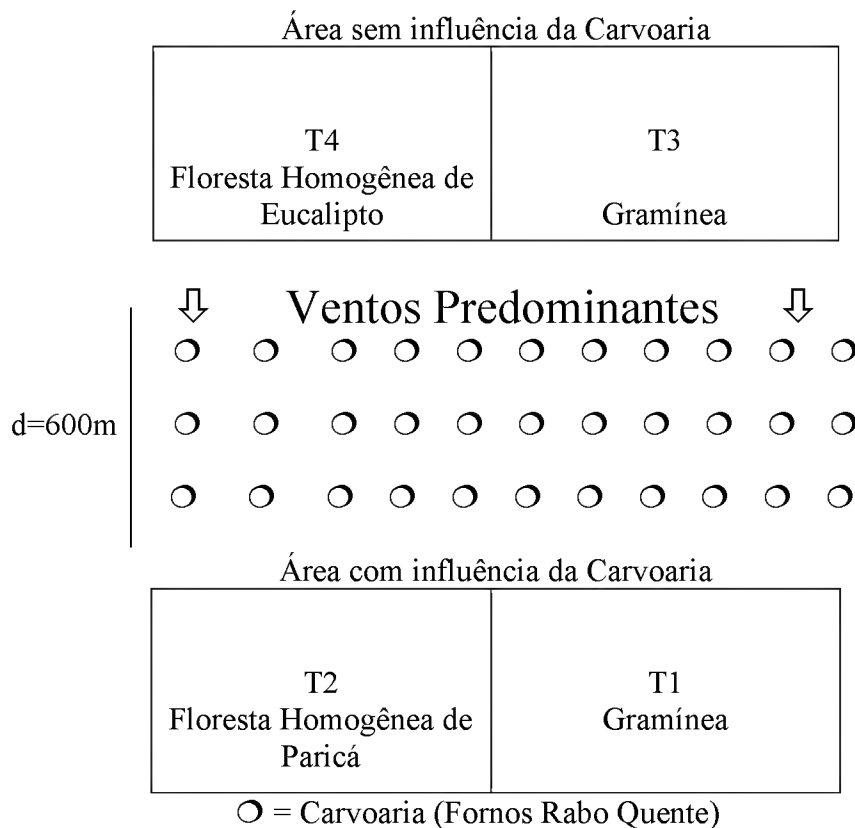


Figura 3 – Croqui da área de estudo

Uma visão geral da carvoaria objeto do estudo é mostrada na Figura 4.

Após a coleta em campo, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos de polietileno e conservadas em geladeira, para estagnar ou diminuir a atividade microbiana. As amostras de solo foram passadas em peneiras de quatro mm de malha, retirando-se raízes e resíduos visíveis de plantas e animais.



Figura 4 – Área de carvoaria da Fazenda Rio Capim (CIKEL)

### 2.2.5 Carbono da Biomassa Microbiana

Utilizou-se o método da fumigação-extração para estimar o C microbiano (VANCE et al., 1987; TATE et al., 1988). Amostras de aproximadamente 12,5g (peso úmido), em dessecador, foram submetidas à fumigação com clorofórmio, livre de álcool, por 24 horas. Em mesa agitadora horizontal, as amostras foram agitadas por 30' em solução de ( $K_2SO_4$  0,5M) e filtradas em papel de filtro Whatman n°42. Amostras não-fumigadas foram também submetidas à extração com  $K_2SO_4$  0,5M. Os extratos foram armazenados em frascos plásticos em geladeira.

O C microbiano foi determinado pelo método de Walkley-Black, modificado e titulado a partir de uma alíquota do extrato com dicromato de potássio a 1M. Para cálculo do C microbiano, utilizou-se a seguinte equação:

$$C-BM = (F-NF) / K_{EC}$$

Onde:

C-BM = C da biomassa microbiana em  $\mu\text{g}$  de C por g de solo seco;

F = quantidade de C extraído na amostra fumigada em  $\mu\text{g}$ ;

NF = quantidade de C extraído na amostra não fumigada em  $\mu\text{g}$ , e

$K_{EC}$  = fator de eficiência de extração de C.

### 2.2.6 Respiração Basal da Biomassa Microbiana do Solo

A respiração basal do solo foi determinada fazendo-se a incubação do solo durante 10 dias, sendo quantificada a partir da evolução de  $\text{CO}_2$  produzido pela respiração dos microrganismos, seguindo a metodologia proposta por Gregorich et al. (1990), com adaptações na metodologia proposta por Jenkinson e Ladd (1981).

O ensaio constou de um kit formado por um frasco plástico com capacidade de 2L, fechado hermeticamente, contendo um copo com 30g de solo na umidade de campo, juntamente com um becker contendo 10 mL de NaOH 0,5M, sem entrar em contato direto com a amostra de solo (Figura 5). Fez-se necessária também uma unidade deste kit sem a adição de solo, para ser utilizada como prova em branco. O  $\text{CO}_2$  capturado pelo hidróxido de sódio foi determinado por titulação, com solução de HCl 0,5M. Para isto, colocou-se uma alíquota de 4mL de solução de  $\text{BaCl}_2$  1M e 5 gotas de fenolftaleína, como indicador (Figura 6).

As determinações da respiração basal do solo foram feitas em duplicatas e o resultado expresso com base no peso seco.



Figura 5 – Amostra de solo em presença de NaOH 0,5 M em recipiente hermeticamente fechado (A), e incubação do solo durante 10 dias para determinação do  $\text{CO}_2$  (B).





Figura 6 – Viragem na titulação com HCl 0,5 M.

### 2.2.7 Umidade do Solo

Foi determinada a umidade gravimétrica do solo para cada área estudada segundo Embrapa (1997).

### 2.2.8 Índice Calculado

O quociente metabólico ( $q\text{ CO}_2$ ) representa a quantidade de  $\text{CO}_2$  liberado por unidade de biomassa por tempo ( $\mu\text{g de CO}_2\text{ g C-BM}^{-1}\text{ h}^{-1}$ ), também denominado de taxa respiratória específica da biomassa microbiana-TRBM (GAMA - RODRIGUES, 1999).

### 2.2.9 Tratamentos, variáveis estudadas e análise estatística.

As variações nas propriedades biológicas do solo (carbono da biomassa microbiana, respiração basal da biomassa microbiana e quociente metabólico) foram avaliadas através do efeito de 24 tratamentos distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $3 \times 2 \times 2 \times 2$  (três épocas de coleta do solo x dois tipos de cobertura vegetal x áreas com e sem efeito dos resíduos da carvoaria x duas profundidades).

A análise de variância e a comparação de médias foram feitas por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando o software SAEG 8.1.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se os dados da Análise de Variância (ANOVA) das variáveis estudadas, em função dos tratamentos.

Tabela 1 – Valores do teste F e níveis de significância do Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Respiração Basal (CO<sub>2</sub>) e Quociente Metabólico (qCO<sub>2</sub>), em função dos tratamentos adotados.

Fonte de Variação	G.L	CBM	CO <sub>2</sub>	qCO <sub>2</sub>
ÉPOCA	2	17,92**	6,42**	0,79 <sup>ns</sup>
CARVOARIA (CARV.)	1	37,10**	6,29*	0,48 <sup>ns</sup>
COBERTURA (COB.)	1	3,29 <sup>ns</sup>	6,39*	4,74*
PROFUNDIDADE (PROF.)	1	1,61 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
CARV.*ÉPOCA	2	8,71**	5,89*	2,46 <sup>ns</sup>
COB.*ÉPOCA	2	4,25*	4,08*	0,69 <sup>ns</sup>
PROF.*ÉPOCA	2	4,30*	5,69**	2,29 <sup>ns</sup>
COB.*CARV.	1	3,47*	6,71*	5,78*
PROF.*CARV.	1	4,08*	5,92*	1,40 <sup>ns</sup>
PROF.*COB.	1	0,12 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	3,60*
Média Geral		2,62	79,08	1,55
Coefficiente de Variação		31,76	49,49	112,81

OBS:\* = significativo (5% de probabilidade); \*\* = muito significativo (1% de probabilidade); ns = não significativo.

As médias de carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (CO<sub>2</sub>) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) do solo estudado, em função do efeito isolado dos tratamentos, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em g kg<sup>-1</sup> solo), respiração basal (CO<sub>2</sub>, em µg CO<sub>2</sub>g<sup>-1</sup> solo) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>, em µgCO<sub>2</sub>gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, coletadas sob diferentes efeitos da carvoaria, coberturas vegetais, diferentes épocas de coleta do solo e profundidades de amostragem.

<b>Variável Independente</b>	<b>CBM</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>qCO<sub>2</sub></b>
<b>Época</b>			
Março/2005	1,85 b	55,89 b	1,38 a
Maio/2005	2,73 a	93,27 a	1,91 a
Junho/2005	3,27 a	88,08 a	1,35 a
DMS	0,57	27,20	1,21
<b>Carvoaria</b>			
Com efeito	2,02 b	67,51 b	1,69 a
Sem efeito	3,22 a	90,65 a	1,41 a
DMS	0,39	18,48	0,82
<b>Cobertura</b>			
Gramínea	2,44 a	90,74 a	1,99 a
Essências Florestais	2,80 a	67,42 b	1,10 b
DMS	0,39	18,48	0,82
<b>Profundidade</b>			
0-5 cm	2,49 a	81,66 a	1,50 a
5-10 cm	2,74 a	76,50 a	1,59 a
DMS	0,39	18,48	0,82

DMS. Tukey a 5% de probabilidade. Letras iguais na mesma coluna, dentro de mesmo fator, não diferem entre si.

O CBM não foi afetado de forma significativa em função do tipo de cobertura vegetal e profundidade de amostragem, porém, houve efeito significativo quanto ao efeito da carvoaria e época de coleta do solo.

Os maiores valores para CBM foram observados na área sem efeito da carvoaria (3,22 g kg<sup>-1</sup> de solo) e quando o solo foi coletado em maio/2005 (2,73 g kg<sup>-1</sup> de solo) e em junho/2005 (3,27 g kg<sup>-1</sup> de solo).

Os menores valores para CBM, foram encontrados no solo coletado em março/2005 (1,85 g kg<sup>-1</sup> de solo) e na área com efeito dos resíduos da carvoaria (2,02 g kg<sup>-1</sup> de solo). Provavelmente, as intensas chuvas durante o período de janeiro a maio, na região de Paragominas, tenham provocado o arraste da atmosfera para o solo dos resíduos produzidos pela atividade da carvoaria, provocando um efeito nocivo sobre a microbiota do solo, reduzindo a biomassa microbiana.

A respiração basal (CO<sub>2</sub>) sofreu influência significativa das épocas de coleta do solo, do efeito da carvoaria e do tipo de cobertura vegetal. A maior taxa de respiração basal ocorreu

no solo coletado em maio/2005 (93,27  $\mu\text{g CO}_2/\text{g solo}$ ). Resultados semelhantes foram encontrados por Luizão et al. (1992), em estação chuvosa, que concluíram que o aumento da umidade no solo, provavelmente, aumentou a atividade microbiana.

Quanto ao efeito da carvoaria, na área sem influência dos resíduos, foi encontrada taxa superior de respiração basal (90,65  $\mu\text{g CO}_2/\text{g solo}$ ), em relação à área afetada, o que mostra que os resíduos produzidos pela carvoaria provavelmente provocam efeitos nocivos a atividade microbiana do solo.

Quanto à influência da cobertura vegetal, verificou-se que a maior atividade microbiana (90,74  $\mu\text{g CO}_2/\text{g solo}$ ) ocorreu na área de gramínea.

Os menores valores de atividade microbiana foram verificados no solo coletado em março/2005 (55,89  $\mu\text{g CO}_2/\text{g solo}$ ). A área sob o efeito dos resíduos da carvoaria, também apresentou menor taxa de respiração basal (67,51  $\mu\text{g CO}_2/\text{g solo}$ ), em relação à área fora do alcance do efeito da carvoaria. Esses resultados provavelmente ocorreram pelo fato de que através da água da chuva no mês de sua maior ocorrência (Março), na área com efeito da carvoaria deve ter sido adicionada ao solo uma quantidade maior de resíduos da carvoaria, em relação à área sem efeito da carvoaria, provocando diminuição da atividade microbiana, mostrando que a atividade de carvoejamento provavelmente afeta as propriedades biológicas do solo, uma vez que as variáveis estudadas são sensíveis a alterações no meio ambiente. Siqueira et al. (1994) ressaltam que esses parâmetros (CBM e  $q\text{CO}_2$ ) são indicadores sensíveis da atividade biológica do solo, e por isso, eles podem ser empregados no monitoramento de alterações ambientais do sistema solo-planta-atmosfera.

Quanto ao tipo de cobertura vegetal, a menor atividade microbiana (67,42  $\mu\text{g CO}_2/\text{g solo}$ ) foi obtida na área com cobertura vegetal de essências florestais. Esse resultado deve-se, provavelmente, ao menor conteúdo de substrato existente naquela área, o que limitaria a ação dos microrganismos do solo, reduzindo a atividade microbiana (MONTEIRO; GAMA-RODRIGUES, 2000).

Não houve efeito significativo da profundidade de coleta do solo, sobre a atividade microbiana do solo.

As médias de quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) variaram significativamente em função da cobertura vegetal, com maior valor na área de gramínea (1,99  $\mu\text{gCO}_2\text{gC-BM}^{-1}\text{h}^{-1}$ ), em relação ao encontrado na área com essências florestais (1,1  $\mu\text{gCO}_2\text{gC-BM}^{-1}\text{h}^{-1}$ ). Esse comportamento foi semelhante ao apresentado pela variável respiração basal, suportando a mesma justificativa já apresentada, de que o menor teor de substrato para a ação da microbiota do

solo, existente na área, limita a atividade microbiana, de acordo com Monteiro e Gama-Rodrigues (2000).

Não ocorreram diferenças significativas sob os demais tratamentos. A redução do quociente metabólico na área com essências florestais pode ser devido a maior maturidade do solo, ou seja, maior eficiência no seu uso de energia. Anderson e Domsch (1990) explicam que o quociente metabólico ( $qCO_2$  ou TRBM) diminui com o aumento da maturidade do solo, podendo ser usado para definir e quantificar mais claramente a atividade microbiana (INSAN; DOMSCH, 1988), e para caracterizar os riscos de empobrecimento dos solos em termos de matéria orgânica. Nesse sentido, a TRBM prediz que, à medida que uma determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos C é perdido como  $CO_2$  pela respiração e uma fração significativa de C é incorporada ao tecido microbiano. Desta forma, uma biomassa microbiana “eficiente” teria menor taxa de respiração em relação a uma biomassa “ineficiente”. De um modo geral, solos com TRBM baixa estão próximos do estado de equilíbrio, o que ocorreu nas áreas com essências florestais ( $1,1 \mu g CO_2 g C-BM^{-1} h^{-1}$ ).

Na Tabela 3, encontram-se as médias dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal ( $CO_2$ ) e quociente metabólico ( $qCO_2$ ) do solo estudado, em função da interação entre efeitos da carvoaria e épocas de coleta do solo. As médias de  $qCO_2$  não variaram significativamente, em função dos tratamentos.

As maiores médias de carbono da biomassa microbiana (CBM) e respiração basal ( $CO_2$ ) ocorreram na área fora da influência dos resíduos produzidos na carvoaria, em todas as épocas de coleta. Essas médias foram 1,92; 3,38 e 4,34  $g kg^{-1}$  de solo, para CBM, e 72,66; 92,22 e 107,06  $\mu CO_2/g^{-1}$  de solo, para  $CO_2$ , respectivamente nos solos coletados em março, maio e junho/2005. Para os diferentes meses de coleta observou-se que as variáveis atividade microbiana e CBM foram superiores na área sem influência da carvoaria, inferindo-se que os resíduos da queima de carvão vegetal podem ter afetado negativamente esses fatores biológicos estudados.

Dentro da área sem influência da carvoaria, as maiores médias de CBM ( $4,34 g kg^{-1}$  de solo) e  $CO_2$  ( $107,06 \mu CO_2/g^{-1}$  de solo), ocorreram nas amostras de solo coletadas em junho/2005.

Para  $qCO_2$ , as médias apresentadas na Tabela 3 não diferiram significativamente em função dos tratamentos. Entretanto, o valor dessa variável na área com efeito da carvoaria ( $2,60 \mu gCO_2 gC-BM^{-1}h^{-1}$ ) representa um aumento de 113% em relação ao valor obtido na área sem influência ( $1,22 \mu gCO_2 gC-BM^{-1}h^{-1}$ ). Do mesmo modo, média obtida para  $qCO_2$ , em amostras do solo coletado em maio/2005, é 173% maior que a obtida quando a coleta do solo

foi em março/2005 ( $0,95 \mu\text{gCO}_2 \text{ gC-BM}^{-1}\text{h}^{-1}$ ), mês de maior intensidade pluviométrica na região.

As médias de CBM,  $\text{CO}_2$  e  $\text{qCO}_2$  apresentaram os menores valores na área sob o efeito da carvoaria, quando a coleta do solo foi feita em março/2005, respectivamente,  $1,77 \text{ g kg}^{-1}$  de solo;  $39,12 \mu\text{gCO}_2 \text{ g}^{-1}$  de solo e  $0,95 \mu\text{gCO}_2 \text{ gC-BM}^{-1}\text{h}^{-1}$ . Provavelmente, a grande quantidade de chuvas ocorrentes nesta época, na região de Paragominas, arrasta da atmosfera para o solo, os resíduos emitidos pela produção de carvão vegetal, prejudicando a atividade microbiológica do solo.

Tabela 3 – Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em  $\text{g kg}^{-1}$  solo), respiração basal ( $\text{CO}_2$ , em  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$  solo) e quociente metabólico ( $\text{qCO}_2$ , em  $\mu\text{gCO}_2 \text{ gC-BM}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, sob o efeito de interação entre atividade de carvoaria e épocas de coleta do solo.

Época	Carvoaria (Com efeito)			Carvoaria (Sem efeito)		
	CBM	$\text{CO}_2$	$\text{qCO}_2$	CBM	$\text{CO}_2$	$\text{qCO}_2$
Março/2005	1,77 aA	39,12 bB	0,95 Aa	1,92 cA	72,66 aA	1,81 aA
Maió/2005	2,08 aB	94,32 aA	2,60 Aa	3,38 bA	92,22 aA	1,22 aA
Junho/2005	2,20 aB	69,10 abB	1,51 Aa	4,34 aA	107,06 aA	1,18 aA

DMS. Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si.

O comportamento do CBM,  $\text{CO}_2$  e  $\text{qCO}_2$ , em função do efeito de interação entre tipo de cobertura vegetal e época de coleta do solo, é demonstrado na Tabela 4. Somente a variável quociente metabólico ( $\text{qCO}_2$ ) não sofreu influência significativa dos tratamentos.

A maior média de CBM ocorreu na área com cobertura de essências florestais ( $3,65 \text{ g kg}^{-1}$  de solo), quando o solo foi coletado em junho/2005, fora do período de maior intensidade de chuvas. Comportamento diferente foi demonstrado pela variável  $\text{CO}_2$  que apresentou a maior média ( $110,04 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$  solo), no solo coletado em maio/2005. No caso do  $\text{qCO}_2$ , muito embora as médias não tenham diferido significativamente em função dos tratamentos (Tabela 4), observa-se uma tendência de aumento expressivo (116%) em amostras coletadas no mês de maio/2005, em interação com o tipo de cobertura, com valores de  $2,62 \mu\text{gCO}_2 \text{ gC-BM}^{-1}\text{h}^{-1}$  em condições de cobertura de gramínea, e  $1,21 \mu\text{gCO}_2 \text{ gC-BM}^{-1}\text{h}^{-1}$  essências florestais. Esses resultados de atividade microbiana podem ser justificados pelo fato de que nos referidos meses a intensidade de chuvas diminuiu, com isso diminuiu também o arraste dos resíduos da carvoaria para o solo. Os resultados obtidos estão maiores que o de Monteiro e

Gama-Rodrigues (2000) onde a respiração acumulada, de sete dias, em capoeira e em plantação de eucalipto variou de 35 a 86  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$  solo e aos de Gama-Rodrigues et al. (1999) que, em plantios de eucalipto, encontraram valores que variaram de 42 a 55  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$  solo e menores que os de Luizão et al. (1999) em Latossolo Amarelo sob floresta, onde obtiveram respiração acumulada de 10 dias igual a 194  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$  solo.

Independente do tipo de cobertura vegetal, as maiores médias para todas as variáveis analisadas, foram encontradas no solo coletado em maio e junho/2005, sem que os valores de cada variável, dentro de cada tipo de cobertura, diferissem significativamente entre si.

Para o CBM, a menor média (1,69  $\text{kg}^{-1}$  de solo) foi obtida na área com cobertura vegetal de gramínea, em solo coletado em março/2005. A menor média para  $\text{CO}_2$  (53,79  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$  solo) foi observada no solo coletado da área com cobertura de essências florestais, em março/2005.

Tabela 4 – Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em  $\text{g kg}^{-1}$  solo), respiração basal ( $\text{CO}_2$ , em  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$  solo) e quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ , em  $\mu\text{gCO}_2 \text{ gC-BM}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, sob o efeito da interação entre diferentes tipos de cobertura vegetal e épocas de coleta do solo.

Época	Cobertura (Gramínea)			Cobertura (Essências Florestais)		
	CBM	$\text{CO}_2$	$q\text{CO}_2$	CBM	$\text{CO}_2$	$q\text{CO}_2$
Março/2005	1,69 bA	57,99 bA	1,50 aA	2,00 bA	53,79 aA	1,26 aA
Maió/2005	2,73 aA	110,04 aA	2,62 aA	2,73 bA	76,50 aB	1,21 aA
Junho/2005	2,89 aB	104,19 aA	1,86 aA	3,65 aA	71,97 aB	0,83 aA

DMS. Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si.

As médias de carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal ( $\text{CO}_2$ ) e quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ), em função da interação entre épocas e profundidade de amostragem do solo, encontram-se na Tabela 5.

A variável  $q\text{CO}_2$  não foi afetada significativamente pelos tratamentos. Embora com significância estatística, foi observada uma tendência de redução do CBM, respiração basal e quociente metabólico, em ambas as profundidades de amostragem, quando a coleta do solo foi realizada em março/2005, em comparação com as outras épocas. Março, sendo um mês de grande ocorrência de chuvas na região de Paragominas, provavelmente ocorreu uma maior adição de resíduos da água da chuva ao solo, diminuindo assim, as médias das variáveis estudadas nesse período de coleta do solo.

Os menores valores para CBM (1,78 g Kg<sup>-1</sup>de solo), CO<sub>2</sub> (45,05 µg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> solo) e qCO<sub>2</sub> (1,20 µgCO<sub>2</sub> gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) ocorreram no solo coletado na profundidade 5-10 cm do solo, em março/2005, muito embora esses valores não tenham diferido significativamente daqueles encontrados no solo coletado à profundidade 0-5cm, na mesma época. Em solos sob floresta primária na Amazônia, Feigl et al. (1995) encontraram valores de 0,823 g Kg<sup>-1</sup>de solo a 1,108 g Kg<sup>-1</sup>de solo na profundidade de 0-10 cm, Davidson et al. (no prelo) encontraram valores de 0,280 g Kg<sup>-1</sup>de solo a 1,500 g Kg<sup>-1</sup>de solo para solos sob vegetação secundária em Paragominas, Pará.

O maior valor para atividade microbiana (112,48 µg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> solo), ocorreu na profundidade de 5-10 cm, no solo coletado no mês de maio, diferindo estatisticamente das demais datas de coleta. Vargas e Scholles (2000) ao estudarem um Argissolo Vermelho-Escuro em diferentes tipos de manejos, verificaram a respiração acumulada variando de 114 a 507 µg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> solo na camada de 0-5 cm e 67 a 302 µg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> solo na camada de 5-15 cm. Segundo Melloni et al. (2001), um maior valor da respiração microbiana deve-se a uma maior reciclagem da população microbiana, necessitando de um maior consumo de energia para a sua sobrevivência. Entretanto, não se deve esquecer do tipo de manejo do solo pode selecionar uma população microbiana mais eficiente, que perderia menos carbono via respiração, pois se mais C é respirado, maior a quantidade de C pode estar sendo liberado do solo, acarretando sua diminuição no mesmo. As diferenças encontradas em relação aos valores citados na literatura podem decorrer de diferenças nas condições edafo-climáticas e também dos métodos de análise da respiração basal entre os diversos estudos.

A maior média de CBM (3,60 g Kg<sup>-1</sup>de solo) foi obtida na profundidade 5-10cm, quando a amostragem do solo foi feita em junho/2005. Novamente, apesar das médias de qCO<sub>2</sub> não apresentarem diferenças significativas em função dos tratamentos, observa-se que o maior valor para esta variável (2,57 µgCO<sub>2</sub> gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>), foi encontrada na profundidade de 5-10 cm do solo coletado em maio/2005, representando uma expressiva tendência de redução de 105,6%, quando comparado com a média encontrada na profundidade de 0-5 cm (1,25 µgCO<sub>2</sub> gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) . Observa-se mais uma vez, que quanto maior a intensidade de chuvas (Março) as variáveis estudadas tendem a reduzir seus valores, e com a redução das chuvas (Maio e Junho), rapidamente percebe-se um aumento de valores dos fatores estudados.



Tabela 5 – Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em g kg<sup>-1</sup> solo), respiração basal (CO<sub>2</sub>, em µg CO<sub>2</sub>g<sup>-1</sup> solo) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>, em µgCO<sub>2</sub>gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, sob o efeito da interação entre diferentes profundidades e épocas de coleta.

Época	Profundidade (0-5 cm)			Profundidade (5-10 cm)		
	CBM	CO <sub>2</sub>	qCO <sub>2</sub>	CBM	CO <sub>2</sub>	qCO <sub>2</sub>
Março/2005	1,91 bA	66,72 aA	1,56 aA	1,78 bA	45,05 bA	1,20 aA
Mai/2005	2,62 abA	74,06 aB	1,25 aA	2,85 aA	112,48 aA	2,57 aA
Junho/2005	2,95 aA	104,19 aA	1,70 aA	3,60 aA	71,97 bB	1,00 aA

DMS. Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si.

O comportamento da biomassa microbiana, CO<sub>2</sub> e qCO<sub>2</sub>, em função da interação entre os efeitos da atividade de carvoaria e tipos de cobertura vegetal, são mostrados na Tabela 6.

Nas áreas com e sem efeito dos resíduos da produção de carvão vegetal, as médias de CBM não sofreram influência significativa do tipo de cobertura vegetal, muito embora tenha havido uma tendência de aumento da média dessa variável, nas áreas de essências florestais. A maior média absoluta para CBM (3,46 g Kg<sup>-1</sup>de solo), foi encontrada nas áreas de essências florestais, sem influência do efeito da carvoaria, enquanto que a menor média (1,91 g Kg<sup>-1</sup>de solo) foi obtida na áreas de gramínea, sob efeito dos resíduos da carvoaria. Cattelan e Vidor (1990) ressaltam que os solos sob florestas propiciam melhores condições para o desenvolvimento de populações microbianas, devido à alta produção de resíduos orgânicos, os quais possibilitam aumento da biomassa, em função dos benefícios da cobertura do solo e da maior disponibilidade de carbono orgânico.

Na área sem efeito da carvoaria, o tipo de cobertura vegetal não influenciou as médias da CO<sub>2</sub> e do qCO<sub>2</sub>. Na área sob a influência do efeito da carvoaria, nas condições de cobertura vegetal de gramínea, ocorreram as maiores médias para atividade microbiana (91,13 µg CO<sub>2</sub>/g<sup>-1</sup>) e quociente metabólico (2,48 µgCO<sub>2</sub> gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>), as quais sofreram drástica redução para 43,90 µg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> solo e 0,90 µgCO<sub>2</sub> gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>, respectivamente, sob cobertura de essências florestais. Isso ocorre, provavelmente, devido ao acúmulo de cinzas provenientes da carvoaria que foram incorporadas ao solo após a chuva; ressalta-se que não existem trabalhos científicos que justifiquem a ocorrência desses fatores, pois este estudo é pioneiro na região amazônica e baseia-se em observações dos fatores estudados.

Tabela 6 – Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em g kg<sup>-1</sup> solo), respiração basal (CO<sub>2</sub>, em µg CO<sub>2</sub>g<sup>-1</sup> solo) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>, em µgCO<sub>2</sub>gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, sob o efeito da interação entre a atividade de carvoaria e tipos de cobertura vegetal.

Cobertura	Carvoaria (Com efeito)			Carvoaria (Sem efeito)		
	CBM	CO <sub>2</sub>	qCO <sub>2</sub>	CBM	CO <sub>2</sub>	qCO <sub>2</sub>
<b>Gramínea</b>	1,91 aB	91,13 aA	2,48 aA	2,97 aA	90,35 aA	1,51 aA
<b>Essências Florestais</b>	2,13 aB	43,90 bB	0,90 bA	3,46 aA	90,94 aA	1,30 aA

DMS. Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si.

A Tabela 7 mostra os resultados obtidos para as variáveis CBM, CO<sub>2</sub> e qCO<sub>2</sub>, sob os efeitos da interação entre atividade de carvoaria e profundidade de amostragem do solo estudado. Somente o qCO<sub>2</sub> não variou significativamente sob o efeito dos tratamentos.

A profundidade de coleta do solo não exerceu influência significativa sobre as variáveis estudadas, independente do efeito da atividade de carvoaria. Na área sob o efeito da carvoaria, as médias de CO<sub>2</sub> e qCO<sub>2</sub> mostraram uma tendência de crescimento, com o aumento da profundidade de amostragem do solo.

O CBM e o CO<sub>2</sub> apresentaram as maiores médias absolutas na área fora do efeito da carvoaria, respectivamente, 3,44 g kg<sup>-1</sup>de solo, na profundidade de amostragem 5-10cm, e 101,11 µg CO<sub>2</sub>g<sup>-1</sup>, na profundidade 0-5cm. Para qCO<sub>2</sub>, a maior média foi obtida na área sob influência da atividade de carvoaria (1,97 µgCO<sub>2</sub> gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>), na profundidade 5-10cm, que embora não tenha apresentado diferença estatística significativa, apresentou tendência de crescimento de ordem de 40,7%, em relação ao valor observado na profundidade de 0-5 cm (1,40 µgCO<sub>2</sub> gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>).

Tabela 7 – Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em g kg<sup>-1</sup> solo), respiração basal (CO<sub>2</sub>, em µg CO<sub>2</sub>g<sup>-1</sup> solo) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>, em µgCO<sub>2</sub>gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, sob o efeito da interação entre a atividade da carvoaria e profundidades de amostragem.

Profundidade	Carvoaria (Com efeito)			Carvoaria (Sem efeito)		
	CBM	CO <sub>2</sub>	qCO <sub>2</sub>	CBM	CO <sub>2</sub>	qCO <sub>2</sub>
<b>0-5 cm</b>	2,00 aB	62,20 aB	1,40 aA	2,99 aA	101,11 aA	1,60 aA
<b>5-10 cm</b>	2,04 aB	72,83 aA	1,97 aA	3,44 aA	80,18 aA	1,20 aA

DMS. Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si.

Os dados de CBM, CO<sub>2</sub> e qCO<sub>2</sub>, em função do efeito de interação entre diferentes tipos de cobertura vegetal e profundidades de amostragem do solo, encontram-se na Tabela 8.

As variáveis CBM e CO<sub>2</sub> não foram influenciadas significativamente pela profundidade de amostragem do solo, nem pelo tipo de cobertura vegetal. O qCO<sub>2</sub> sofreu influência do tipo de cobertura, somente quando o solo foi coletado na profundidade 5-10 cm, quando apresentou maior valor (2,20 µgCO<sub>2</sub> gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) sob cobertura de gramínea, quando comparado com o valor de 0,98 µgCO<sub>2</sub> gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> obtido na área de cobertura de essências florestais. Era de se esperar esses resultados, uma vez que a respiração microbiana por unidade de biomassa microbiana diminui em sistemas mais estáveis (INSAN; DOMSCH, 1988). Os valores obtidos nos diferentes tipos de manejo do solo foram superiores ao valor médio 0,81 µg CO<sub>2</sub> g C-BM<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> encontrado por Luizão et al. (1992) para solo sob floresta e aos valores que Gama-Rodrigues et al. (1999) relataram (0,35 a 0,70 µg CO<sub>2</sub> g C-BM<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) para diversos solos de Itaguaí (RJ).

O CBM mostrou tendência de superioridade (2,95 g Kg<sup>-1</sup>de solo) sob o efeito da interação entre cobertura de gramínea e profundidade de 5-10cm.

Tabela 8 – Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM, em g kg<sup>-1</sup> solo), respiração basal (CO<sub>2</sub>, em µg CO<sub>2</sub>g<sup>-1</sup> solo) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>, em µgCO<sub>2</sub>gC-BM<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) de amostras de Latossolo Amarelo de Paragominas/PA, sob o efeito da interação entre diferentes tipos de cobertura vegetal e profundidades de amostragem.

Profundidade	Cobertura (Gramínea)			Cobertura (Essências Florestais)		
	CBM	CO <sub>2</sub>	qCO <sub>2</sub>	CBM	CO <sub>2</sub>	qCO <sub>2</sub>
0-5 cm	2,35 aA	93,03 aA	1,79 aA	2,64 aA	70,28 aA	1,21 aA
5-10 cm	2,53 aA	88,45 aA	2,20 aA	2,95 aA	64,56 aA	0,98 aB

DMS. Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si.

## 2.4 CONCLUSÃO

1. Isoladamente, os resíduos da atividade de carvoaria, e a época de maior intensidade de chuvas, reduziram os teores de carbono da biomassa microbiana-CBM e respiração basal- $\text{CO}_2$  do solo e não influenciaram os de quociente metabólico- $\text{qCO}_2$ ;
2. A cobertura vegetal influenciou significativamente o  $\text{CO}_2$  e o  $\text{qCO}_2$ , proporcionando maiores valores em condições de cobertura de gramínea;
3. Houve redução do CBM,  $\text{CO}_2$  e  $\text{qCO}_2$  no solo coletado em área de cobertura vegetal de gramínea, no mês de maior intensidade de chuvas. Em época de menor intensidade de chuvas, o CBM aumentou com o aumento da profundidade do solo, ocorrendo o inverso com o  $\text{CO}_2$ .
4. Na área sem influência da atividade de carvoaria, os teores de CBM,  $\text{CO}_2$  e  $\text{qCO}_2$  foram maiores quando a cobertura vegetal era de essências florestais, e quando a mesma área interagiu com a profundidade de amostragem do solo, os maiores valores para CBM ocorreram na profundidade de 5-10 cm, enquanto que para  $\text{CO}_2$  e  $\text{qCO}_2$ , os maiores teores foram obtidos na profundidade de 0-5 cm.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients ( $qCO_2$  and  $qD$ ) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biol. Biochem.**, 22: 251-255. 1990.
- BERNADIN, Y.; MATOS, R. **Etude de faisabilité au Brésil**. São Paulo – BRESIL, 1999.
- CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **R. Bras. Ci. Solo**, 14: 133-142, 1990.
- DAVDSON, E.A. et al. Nutrient limitation of biomass growth in a tropical secondary forest: Early results of a nitrogen and phosphorus amendment experiment, **no prelo**.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos** – Brasília : Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412p., 1999.
- EMBRAPA-CPNS. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos, nº 1).
- FEIGL, B.J. et al. Soil microbial biomass in Amazon soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, n. 11, p. 1467-1472, 1995.
- GALLARDO, A.; SCHLESINGER, W. H. Estimating microbial biomass nitrogen using the fumigation-incubation and fumigation-extraction method in a warm-temperate forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 927-932, 1990.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. da. 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, Genesis. 1999. 508p.
- GIRARD, P. **Étude de marche potentielle pour un procédé de carbonisation sous pression**. CIRAD-Forêt, 1994.
- GREGORICH, E. G.; VORONEY, R. P.; KACHANOSKI. Turnover of carbon through the microbial biomass in soils with different textures, toxicity in subsoils. **Soil Sci. Soc. Am. J. Madison**, v. 50, p. 28-34, 1990.
- INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecol.**, 15: 177-188, 1988.
- 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.

- JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: Measurement and Turnover In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Eds). **Soil Biochemistry**. New York, Marcel Dekker, 1981. v.5. p.415-471.
- LUIZÃO, C. C. R.; COSTA, E. S.; LUIZÃO, F. J. Mudanças na biomassa microbiana e nas transformações de nitrogênio do solo em uma seqüência de idades de pastagens após derruba e queima da floresta na Amazônia central. **Acta Amazônica**, 29 (1): 43-56, 1999.
- LUIZÃO, R. C. C.; BONDE, T. A.; ROSSWALL, T. Seasonal variation of soil microbial biomass – the effects of clearfelling a tropical rainforest and establishment of pasture in the central Amazon. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, p. 805-813, 1992.
- MARUMOTO, T.; ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 14, p.469-475, 1982.
- MELLONI, R. et al. Características biológicas de solos sob mata ciliar e campo cerrado no sul de Minas Gerais. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 7-13, jan./fev. 2001.
- MONTEIRO, M. T.; GAMA RODRIGUES, E. F. da. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana de solos sob diferentes ecossistemas florestais da região norte fluminense. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 24. Santa Maria-RS. **Resumos Expandidos**. 2000.
- SIQUEIRA, J.O. et al. **Microorganismos e processos biológicos do solo**: perspectiva ambiental. EMBRAPA. Brasília, 1994.
- SPARLING, G.P.; ROSS, D.J. Biochemical methods to estimate soil microbial biomass: current development and applications. In: MULUNGOY, K.; MERCKX, R. (Ed.). **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Leuven: Willey-Sayce, 1993. p.21-37.
- VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral de um Argissolo Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.24, p. 35-42, 2000.
- VASCONCELOS, C. A. et al. Resposta da soja e da biomassa de carbono do solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. **R. Brás. Ci. Solo**, v.23, p. 69-77, 1999.
- WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biology Review**, Praga, v.67, p.321-358, 1992.

### **CAPÍTULO 3**

**EFEITO DE RESÍDUOS DA ATIVIDADE DE CARVOARIA E DE  
DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA  
DE CHUVA E PARÂMETROS BIOLÓGICOS DO SOLO EM PARAGOMINAS/PA.**

## RESUMO

Um dos setores produtivos de grande magnitude na região Amazônica é o complexo siderúrgico dos estados do Pará e Maranhão que consome anualmente mais de 700 mil toneladas de carvão vegetal. A tecnologia do forno “Rabo Quente”, 100% poluente, que foi disseminado na região tornou-se um fator preocupante à questão do meio ambiente por essa atividade lançar na atmosfera gases e vapores gerados na transformação da madeira em carvão vegetal. A composição e a deposição de solutos na chuva da Amazônia, são de grande interesse pelo fato da deposição atmosférica ser defendida como a principal fonte natural de reposição de nutrientes, apontando a inclusão da vegetação como um importante fator na modelagem hidrológica para tomada de informações sobre a chuva, tanto em termos de quantidade de água, quanto em relação às características químicas que esta apresenta. Supõe-se no período de janeiro a maio, quando há maior incidência de chuva, aumente também o arraste de vapores gerados na carbonização da madeira, podendo provocar um efeito sobre a microbiologia do solo e composição química da água de chuva. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi de avaliar o efeito dos resíduos provenientes da atividade de carvoaria na composição química da água de chuva e o grau de relação entre a água de chuva e os parâmetros biológicos do solo, em áreas sob diferentes tipos de cobertura vegetal do entorno da Fazenda Rio Capim, pertencente à Cikel Brasil Verde S.A., em Paragominas/PA. As amostras de água foram coletadas nos meses de Março e Maio de 2005 em quatro áreas: duas áreas que sofrem influência dos resíduos produzidos pela carvoaria, e outras duas áreas que não sofrem influência da carvoaria, em vegetação de gramínea e essências florestais, respectivamente, nas áreas estudadas. O experimento foi avaliado por meio das propriedades químicas da água de chuva: íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ); íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ); íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e concentração de hidrogênio (pH), em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial  $2 \times 2 \times 2$ , com 4 repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para as variáveis de respostas em questão, pelo programa de estatística computacional SAEG 8.1. Quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. Para avaliar o efeito da produção de carvão nas propriedades biológicas do solo, foram estudadas as relações entre as propriedades químicas da água de chuva e as propriedades do solo relacionadas à população microbiana (CBM,  $\text{CO}_2$ ,  $q\text{CO}_2$ ). A avaliação das relações foi feita por meio da utilização de regressões lineares simples entre estas variáveis. A produção de carvão vegetal afeta a composição química da água de chuva, provocando o aumento da concentração dos íons  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e pH da água de chuva. Na área sob o efeito da atividade de carvoaria, os teores de cloreto na água de chuva foram reduzidos quando a cobertura vegetal era de essências florestais. Os resíduos da atividade de carvoaria e a introdução de  $\text{Cl}^-$  no sistema, por meio da água de chuva provocou redução nos parâmetros biológicos do solo CBM e  $\text{CO}_2$ . O íon sulfato promoveu aumento no parâmetro CBM.

Palavras-chave: microbiologia, carvão vegetal, biomassa microbiana, água de chuva, íons, floresta amazônica.



## ABSTRACT

Considered the most productive sectors in the Amazon region, the iron companies based in the States of Pará and Maranhão consumes more than 700.000 tons of vegetal charcoal annually. The highly disseminated technology of the hot oven, a 100% pollutant, has become an important environmental issue because of the massive release of gases and vapors released to the atmosphere in the process of transformation of lumber in vegetable charcoal. Both the composition and decomposition of solute in the rain water in Amazon represent great interest due to the fact that the atmospheric deposition to be claimed as the main natural source of replacement of nutrients, showing the inclusion of the vegetation as an important factor in the hydrologic modeling for gathering of information about rain water, so much in terms of amount of water, as in relation to the chemical characteristics of it. Theoretically, from January to May, when there is the greatest rain incidence, also increase the drag of vapors generated by the carbonization of the lumber, what could provoke an effect on the microbiology of the soil and chemical composition of the rain water. In that context, the objective of this study was of evaluating the effect of the residues from the charcoal production in the chemical composition of the rain water and the relationship degree between the rain water and the biological parameters of the soil, in areas under different types of vegetable covering that surrounds the Rio Capim farm, belonging to Cikel Brasil Verde S.A., in Paragominas/PA. The samples of water were collected in March and May of 2005 in four areas: two areas that suffered influence of the residues produced by the charcoal production activity, and other two areas that did not suffer influence of the charcoal production activity, in grass vegetation and forest essences covering, respectively, in the studied areas. The experiment was evaluated based on the chemical properties of the rain water: ion chloride ( $\text{Cl}^-$ ); ion nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ); ion sulphate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) and concentration of hydrogen (pH), in an entirely randomized design, in factorial arrangement  $2 \times 2 \times 2$ , with 4 repetitions. The data were submitted to the variance analysis for each one of the variables, using the statistical program SAEG 8.1. When significant, the averages were compared by the test of Tukey at 0,05 of probability. To evaluate the effect of the production of coal in the biological properties of the soil, were studied the relationships among the chemical properties of the rain water and the properties of the soil related to the microbial population (CBM,  $\text{CO}_2$ ,  $q\text{CO}_2$ ). Production of vegetable charcoal disturbs the chemical composition of the rain water, with increases in the concentration of the ions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{H}^+$  (pH). Considering the area under the influence of lumber burning,  $\text{Cl}^-$  values were reduced when the soil was covered with forest essences. The residues from lumber burning associated with the chloride from the rain water resulted in reduction in both CBM and  $\text{CO}_2$ . The sulphate ion caused an increase in CBM.

Keywords: microbiology, vegetable coal, microbial biomass, rain water, ions, amazon rain forest.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Atualmente tem sido dada uma ênfase particular à composição química das águas das chuvas, pois estas não só refletem as condições atmosféricas em termos de constituintes químicos, como também são as maiores fontes de alimentação dos aquíferos continentais. Deste modo, a degradação da qualidade da água da chuva poderá causar um desequilíbrio no meio ambiente.

A composição química da água da chuva pode ser responsável pela introdução de poluentes em um ecossistema, e tem relação direta com parâmetros relacionados à qualidade do ar atmosférico. A atmosfera é um sistema dinâmico e quimicamente complexo que interage significativamente com oceanos, crosta e organismos vivos (AL MOMANI, 2003).

Segundo Jordan (1982) a composição e a deposição de solutos na chuva da Amazônia são de grande interesse pelo fato de a deposição atmosférica ser defendida como a principal fonte natural de reposição de nutrientes, apontando a inclusão da vegetação como um importante fator na modelagem hidrológica para tomada de informações sobre a chuva, tanto em termos de quantidade de água quanto em relação às características químicas que esta apresenta. Uma razão de interesse sobre as características químicas da chuva na Amazônia é devida às evidências indicadoras de que a floresta continental é a principal fonte de aerossóis, reduzindo a formação de gases que podem ter um impacto significativo na química da atmosfera. Outra razão é que esta serve como referência para a acidez da água natural da chuva (LESACK; MELACK, 1991).

Estudos mostram que a contaminação por partículas atmosféricas, ou aerossóis, é a razão da presença de impurezas químicas na precipitação (JUNGE; GUSTAFSON<sup>9</sup>, 1957 citados por MANOKARAN, 1980). Como meio de origem dessas partículas, tem-se o oceano, a massa da terra, além de outras como, por exemplo, a poluição do ar pela queima de madeira para produção de carvão vegetal e origens biogênicas e vulcânicas.

Um dos setores produtivos de grande magnitude na região Amazônica é o complexo siderúrgico dos Estados do Pará e do Maranhão que consome anualmente mais de 700 mil toneladas de carvão vegetal, segundo ABRACAVE - Associação Brasileira de Carvão Vegetal (BERNADIN; MATOS, 1997).

A falta de tradição na fabricação de carvão dos estados mencionados fez com que se importasse do principal pólo siderúrgico do país, o Estado de Minas Gerais, a tecnologia do

---

<sup>9</sup> JUNGE, C.E. GUSTAFSON, P.E. On the distribution of sea salt over the United States and its removal by precipitation. *Tellus* 9: 164-173, 1957.

forno “Rabo Quente”, 100% poluente, que foi disseminado na região e continua até hoje em plena atividade, tornando-se um fator limitante à questão de meio ambiente por essa atividade lançar na atmosfera gases e vapores gerados na transformação da madeira em carvão vegetal.

Segundo Girard (1994) uma conversão termoquímica da madeira pode gerar cerca de 25% de resíduos sólidos (carvão vegetal); 25% de gases constituídos de CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> e diversos hidrocarbonetos e de 50% de líquido pirolenhoso, sendo que desse total cerca de 30% são constituídos de vapores tóxicos (ácido fórmico, ácido acético, metanol, acetona, derivados furfural, derivados de fenóis, cresóis, etc.) e o restante de vapor de água. Esses percentuais de vapores e gases nocivos, em relação ao montante de madeira usada para fins de carbonização, tornam-se um foco altamente poluidor para o meio ambiente.

Por simples cálculo, pode-se estimar a quantidade de gases e vapores que são lançados na atmosfera pela atividade de carvoejamento nos pólos siderúrgicos do Pará e do Maranhão. Com base no rendimento médio da conversão pirolítica mencionado por Girard (1994), estima-se que para produzir 700 mil toneladas de carvão, necessita-se de 2,8 milhões de toneladas de madeira e o restante de 2,1 milhões toneladas representa a fumaça, sendo que 1,4 milhão de toneladas é formado de vapores pirolenhosos e que desse total 980 mil toneladas são constituídos de vapor d'água (70%) e 420 mil toneladas são de vapores tóxicos (30%) e, finalmente, 700 mil toneladas de gases também tóxicos que são lançados anualmente no meio ambiente pela atividade de carvoejamento para atender a demanda das indústrias siderúrgicas.

A chuva constitui uma fonte de nutrientes para ecossistemas florestais. A entrada de nutrientes é alterada significativamente após a interação da chuva com a copa e o caule das árvores, proporcionando a lixiviação de sais minerais das plantas, arrastando poeira, poluentes particulados e excrementos dos vários animais que vivem nas copas e troncos das árvores (MELO, 1999).

Odén (1976) esclarece que os processos de dispersão natural dos poluentes são dois: através dos ventos e através do “looping”. Os ventos podem levar os poluentes para centenas de quilômetros da fonte poluidora. O processo chamado “looping” ocorre devido à precipitação e a turbulência atmosféricas. Nele, certos compostos voláteis como H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> e outros, depois de depositado ao solo, podem se volatilizar, retornando à atmosfera, podendo se encaminhar novamente para locais distantes por ação dos ventos.

O enxofre como poluente atmosférico é originado pelo aquecimento de minérios do grupo de sulfatos, combustão da madeira, pela fabricação de fertilizantes, celulose e ácido sulfúrico. A CETESB (1984) cita que o enxofre também pode se originar da combustão de carvão (0,3 a 6,5% de enxofre) e derivados de petróleo (até 5,1% de enxofre) usados em

veículos, usinas termoelétricas, indústrias em geral, altos fornos de siderúrgicas, entre outros. Durante a combustão, o enxofre é convertido em dióxido de enxofre, que é oxidado para formar ácido sulfúrico. Esse ácido sulfúrico, formado pela oxidação do ácido sulfuroso ou pela hidrólise do trióxido de enxofre, pode reagir com a amônia ou com o carbonato de cálcio, para formar respectivamente sulfato de amônia ou sulfato de cálcio. O nitrogênio, por sua vez, como poluente do ar, é originado no processo de combustão do carvão vegetal e também na combustão de combustíveis fósseis. Através da reação do nitrogênio com o oxigênio, em condições de elevadas temperaturas, ocorre a formação do óxido nítrico. O óxido nítrico pode ser oxidado originando o dióxido de nitrogênio, tanto na zona de combustão como na atmosfera. Já o dióxido de nitrogênio pode ser hidrolisado na presença de água, formando o ácido nítrico e/ou o ácido nitroso. Estes ácidos podem reagir com o gás amônia e com o carbonato de cálcio, formando nitrito de amônia ou cálcio, respectivamente, ou ainda formando sais de nitrato (COOPER<sup>10</sup> et al. (1976) citados por HAAG et al., 1985).

De acordo com Mariotti (1982), outros gases que não o SO<sub>2</sub> e o NO<sub>2</sub>, podem causar mudanças na composição química da água da chuva, contudo em proporções menores, dando-se destaque ao ácido clorídrico e ao ácido fluorídrico, onde o ácido clorídrico pode se originar das indústrias de fertilizantes, das indústrias eletroquímicas, dos processos de esmaltação de porcelana e da combustão de materiais contendo cloro, como o P.V.C.; já o ácido fluorídrico se desprende das fundições de metais pesados e de alumínio, das indústrias de vidro, esmalte, porcelana e fertilizantes. Além dessas fontes, o cloro e o flúor podem estar presentes em quantidades pequenas nos carvões, reagindo durante a combustão, produzindo seus respectivos ácidos. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi de avaliar o efeito dos resíduos provenientes da atividade de carvoaria na composição química da água de chuva e o grau de relação entre a água de chuva e os parâmetros biológicos do solo sob diferentes tipos de cobertura vegetal, do entorno da Fazenda Rio Capim, pertencente à Cikel Brasil Verde S.A., em Paragominas/PA.

---

<sup>10</sup> COOPER, JR., H.B.H.; DEMO, J.M. e LOPEZ, A.J., 1976. Chemical composition of acid precipitation in central Texas. **USDA**. Forest Service NE General Technical Report, Upper Darby, (23): 281-91.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Localização e Características Gerais da Área de Estudo

A área de estudo está localizada na Fazenda Rio Capim, pertencente à Empresa Cikel Brasil Verde S/A, município de Paragominas, Estado do Pará, cujas coordenadas são: 3° 30' e 3° 45' de latitude Sul e 48° 30' e 48° 45' de longitude a Oeste de Greenwich. Esta fazenda dista da sede do município de Paragominas, cerca de 350 km, percorrendo o Rio Capim no mesmo sentido de seu desaguamento e, aproximadamente 370 km de Belém. O município de Paragominas está localizado no nordeste do Estado do Pará, na microrregião homogênea Guajarina.

A área total da propriedade da Empresa Cikel Brasil Verde S/A abrange 197.811,95 hectares (Figura 7), sendo o estudo desenvolvido na carvoaria da Fazenda Rio Capim.

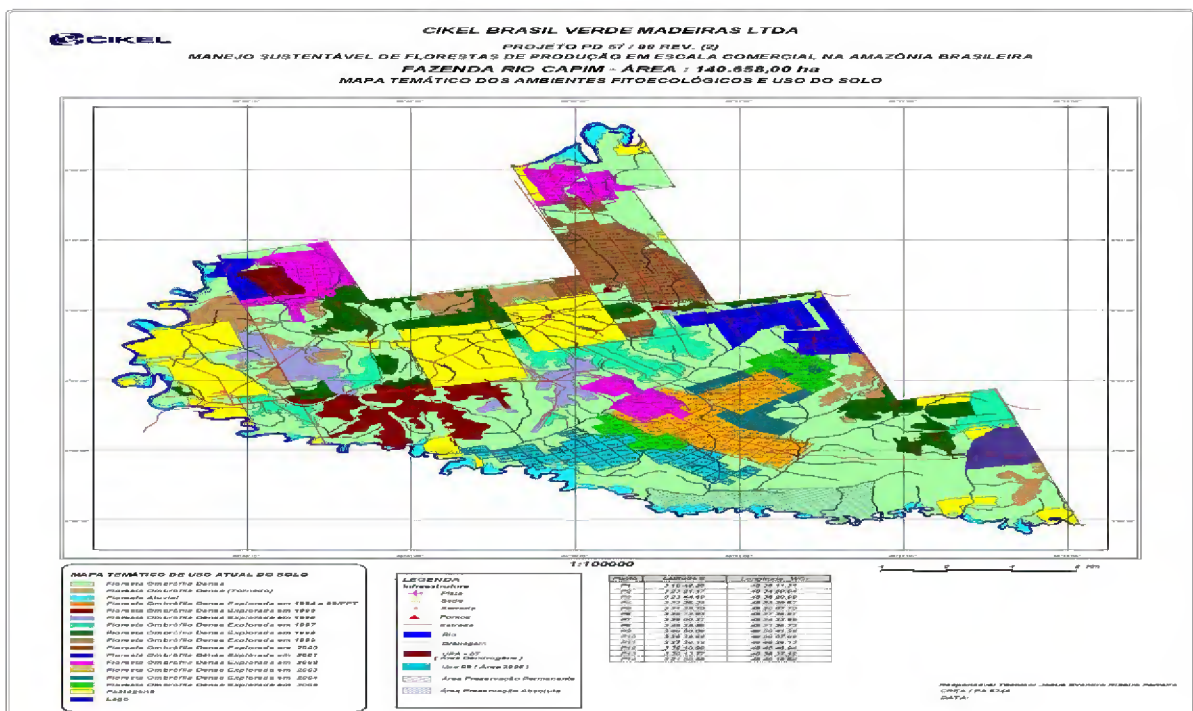


Figura 7 – Mapa temático dos ambientes fitoecológicos e uso do solo da Fazenda Rio Capim.

### 3.2.2 Tipo de Vegetação

A classificação e descrição da vegetação da área de estudo, foram feitas com base na composição florística de cada tipologia vegetal da região. Os tipos de vegetações descritas neste experimento correspondem a plantações feitas pela empresa, as abaixo descritas são nativas da região.

- Floresta Ombrófila Densa, também conhecida como Floresta Equatorial Úmida de Terra Firme;
- Floresta Ombrófila Aberta Mista de Cipó e Palmeira;
- Floresta Ombrófila Aluvial, conhecida também como Floresta Equatorial Úmida de Várzea.

### 3.2.3 Clima, Solo, Topografia e Hidrografia

Estudos realizados pela Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia-SUDAM, descreveram que o clima da região de Paragominas é do tipo Aw, caracterizado como tropical chuvoso com estação seca bem definida, segundo a classificação de Köppen. As temperaturas médias mensais variam de 25 °C a 28 °C. As chuvas são abundantes no período de dezembro a maio, com o excedente hídrico de 282 mm. O déficit hídrico é de 512 mm e ocorre entre os meses de junho a dezembro.

A região apresenta um clima com duas condições distintas: uma de chuva e outra de seca (em torno de seis meses cada), com índice pluviométrico médio anual que varia entre 1.800 a 2.100 mm. A altitude é em torno de 200 m.

Os solos ocorrentes na região são dos tipos Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos, Plintossolos, Gleissolos e Neossolos, sendo que os Latossolos Amarelos são os dominantes, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

A Fazenda Rio Capim é banhada pelos Rios Capim e Surubijú (limítrofes) e outros rios (interiores), Igarapé do Seis, Igarapé 8A e Cabeça Fria.

### 3.2.4 Coleta e Preparo das Amostras

Em março, maio e junho de 2005 foram coletadas amostras de solo, sob cobertura vegetal de gramínea e essências florestais (eucalipto e paricá), ambas com sete anos de idade

em áreas com e sem influência dos resíduos produzidos pela atividade da carvoaria, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm. Para cada tratamento foram feitos quatro pontos de coleta, cada um com duas profundidades, totalizando oito amostras para cada tratamento, perfazendo um total de 32 amostras por coleta. A área sem influência da carvoaria para a área com influência da carvoaria dista aproximadamente 600 m e a direção dos ventos predominantes ocorre no sentido da área sem influência para a área com influência da carvoaria, conforme observamos no croqui da área de estudo na Figura 8. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo, textura argilosa, segundo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

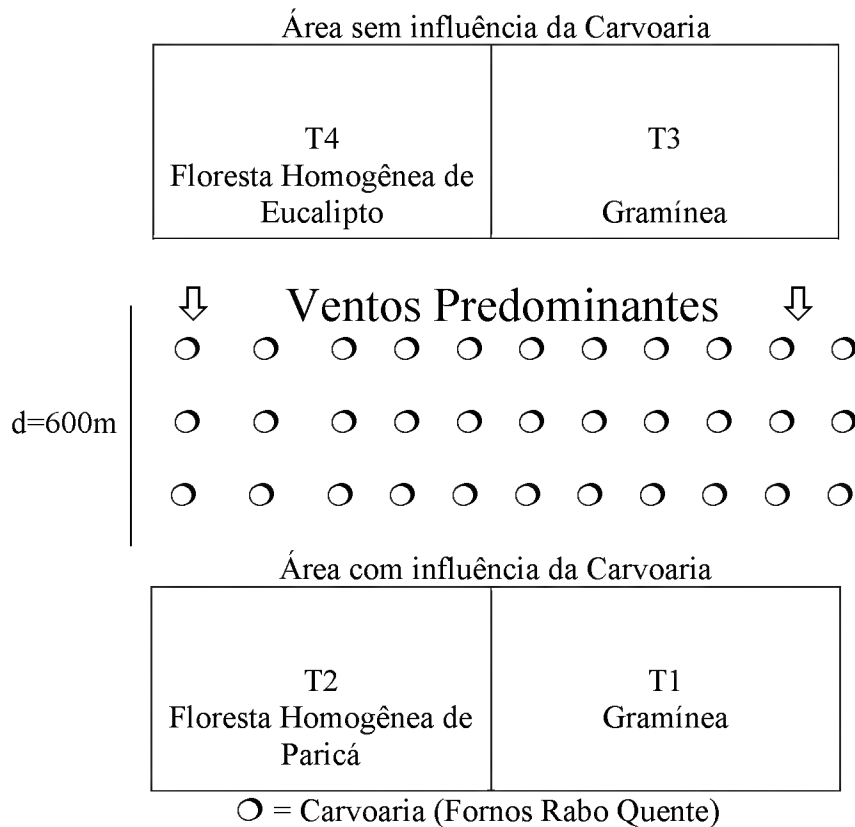


Figura 3 – Croqui da área de estudo

As amostras de água foram coletadas nos meses de Março e Maio de 2005 nas quatro áreas: duas áreas que sofrem influência dos resíduos produzidos pela carvoaria, e outras duas áreas que não sofrem influência da carvoaria, em vegetação de gramínea e essências florestais, respectivamente, nas áreas estudadas.

Em cada área foram instalados coletores, onde foram utilizados potes plásticos de 700 ml suspensos em piquetes a 1m de altura da superfície do solo, para evitar a possível mistura

da água da chuva com o solo (Figura 9). Para cada uma das quatro áreas foram instalados 4 conjuntos de coletores formados por 5 coletores por conjunto.



Figura 9 – Sistema de coleta de água de chuva.

Após cada evento de chuva foi medido o pH por amostra, ainda em campo, utilizando pHmetro portátil. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em garrafas plásticas e mantidas sob refrigeração em geladeira, para posterior análise química.

### 3.2.5 Carbono da Biomassa Microbiana

Utilizou-se o método da fumigação-extração para estimar o C microbiano (VANCE et al., 1987; TATE et al., 1988). Amostras de aproximadamente 12,5g (peso úmido), em dessecador, foram submetidas à fumigação com clorofórmio, livre de álcool, por 24 horas. Em mesa agitadora horizontal, as amostras foram agitadas por 30' em solução de ( $K_2SO_4$  0,5M) e filtradas em papel de filtro Whatman n°42. Amostras não-fumigadas foram também submetidas à extração com  $K_2SO_4$  0,5M. Os extratos foram armazenados em frascos plásticos em geladeira.

O C microbiano foi determinado pelo método de Walkley-Black, modificado e titulado a partir de uma alíquota do extrato com dicromato de potássio a 1M. Para cálculo do C microbiano, utilizou-se a seguinte equação:

$$C-BM = (F-NF) / K_{EC}$$

Onde:



C-BM = C da biomassa microbiana em  $\mu\text{g}$  de C por g de solo seco;

F = quantidade de C extraído na amostra fumigada em  $\mu\text{g}$ ;

NF = quantidade de C extraído na amostra não fumigada em  $\mu\text{g}$ , e

$K_{EC}$  = fator de eficiência de extração de C.

### 3.2.6 Respiração Basal da Biomassa Microbiana do Solo

A respiração basal do solo foi determinada fazendo-se a incubação do solo durante 10 dias, sendo quantificada a partir da evolução de  $\text{CO}_2$  produzido pela respiração dos microrganismos, seguindo a metodologia proposta por Gregorich et al. (1990), com adaptações na metodologia proposta por Jenkinson e Ladd (1981).

O ensaio constou de um kit formado por um frasco plástico com capacidade de 2L, fechado hermeticamente, contendo um copo com 30g de solo na umidade de campo, juntamente com um becker contendo 10 mL de NaOH 0,5M, sem entrar em contato direto com a amostra de solo (Figura 10). Fez-se necessária também uma unidade deste kit sem a adição de solo, para ser utilizada como prova em branco. O  $\text{CO}_2$  capturado pelo hidróxido de sódio foi determinado por titulação, com solução de HCl 0,5M. Para isto, colocou-se uma alíquota de 4mL de solução de  $\text{BaCl}_2$  1M e 5 gotas de fenolftaleína, como indicador (Figura 11).

As determinações da respiração basal do solo foram feitas em duplicatas e o resultado expresso com base no peso seco.

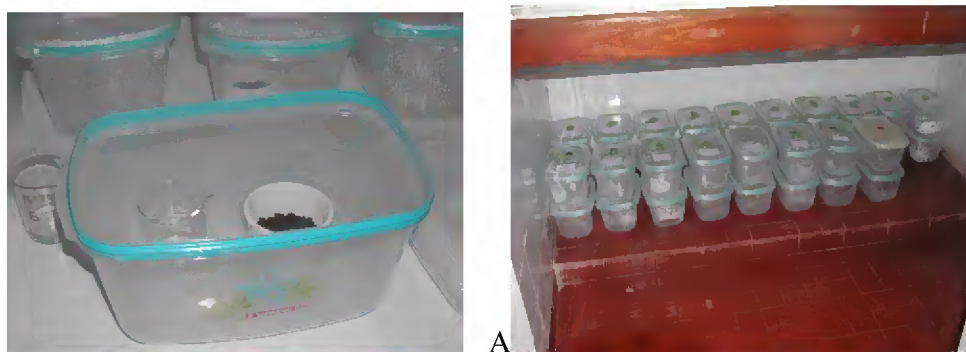


Figura 10 – Amostra de solo em presença de NaOH 0,5 M em recipiente hermeticamente fechado (A), e incubação do solo durante 10 dias para determinação do  $\text{CO}_2$  (B).



Figura 11 – Viragem na titulação com HCl 0,5 M.

### 3.2.7 Umidade do Solo

Foi determinada a umidade gravimétrica do solo para cada área estudada segundo Embrapa (1997).

### 3.2.8 Índice Calculado

O quociente metabólico ( $q\text{ CO}_2$ ) representa a quantidade de  $\text{CO}_2$  liberado por unidade de biomassa por tempo ( $\mu\text{g de CO}_2\text{ g C-BM}^{-1}\text{ h}^{-1}$ ), também denominado de taxa respiratória específica da biomassa microbiana-TRBM (GAMA - RODRIGUES, 1999).

### 3.2.9 Tratamentos e Delineamento Experimental

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial  $2 \times 2 \times 2$  (duas datas de coleta: Março e Maio de 2005; dois efeitos da produção de carvão: área de influência da carvoaria e área sem influência; dois tipos de cobertura vegetal: gramínea e essências florestais), com 4 repetições.

O experimento foi avaliado por meio das variáveis propriedades químicas da água de chuva: íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ); íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ); íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e concentração de hidrogênio (pH). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para as variáveis de respostas em questão pelo programa de estatística computacional SAEG 8.1. Quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Para avaliar o efeito da produção de carvão nas propriedades biológicas do solo, foram estudadas as relações entre as propriedades químicas da água de chuva ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e

pH), aqui consideradas como variáveis independentes, e as propriedades do solo relacionadas à população microbiana, tais como, carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo ( $\text{CO}_2$ ) e quociente metabólico ( $\text{qCO}_2$ ), aqui consideradas como variáveis dependentes. A avaliação das relações foi feita por meio da utilização de regressões lineares simples entre estas variáveis, conforme funções especificadas abaixo. A avaliação do efeito da produção de carvão nas propriedades biológicas do solo, feita por meio do CBM,  $\text{CO}_2$  e  $\text{qCO}_2$ , deveram-se ao fato de estas variáveis apresentarem respostas imediatas a quaisquer mudanças no meio ambiente, seja de ordem biótica ou abiótica.

As funções são especificadas da seguinte forma:

$$\text{CBM} = a_{10} + a_{11} \text{Cl}^- + \varepsilon_1 ; \quad (1)$$

$$\text{CBM} = a_{20} + a_{21} \text{NO}_3^- + \varepsilon_2 ; \quad (2)$$

$$\text{CBM} = a_{30} + a_{31} \text{SO}_4^{2-} + \varepsilon_3 ; \quad (3)$$

$$\text{CBM} = a_{40} + a_{41} \text{pH} + \varepsilon_4 ; \quad (4)$$

$$\text{CO}_2 = a_{50} + a_{51} \text{Cl}^- + \varepsilon_5 ; \quad (5)$$

$$\text{CO}_2 = a_{60} + a_{61} \text{NO}_3^- + \varepsilon_6 ; \quad (6)$$

$$\text{CO}_2 = a_{70} + a_{71} \text{SO}_4^{2-} + \varepsilon_7 ; \quad (7)$$

$$\text{CO}_2 = a_{80} + a_{81} \text{pH} + \varepsilon_8 ; \quad (8)$$

$$\text{qCO}_2 = a_{90} + a_{91} \text{Cl}^- + \varepsilon_9 ; \quad (9)$$

$$\text{qCO}_2 = a_{100} + a_{101} \text{NO}_3^- + \varepsilon_{10} ; \quad (10)$$

$$\text{qCO}_2 = a_{110} + a_{111} \text{SO}_4^{2-} + \varepsilon_{11} ; \quad (11)$$

$$\text{qCO}_2 = a_{120} + a_{121} \text{pH} + \varepsilon_{12} ; \quad (12)$$

em que:

a) variável dependente:

CBM = carbono da biomassa microbiana do solo ( $\text{g kg}^{-1}$  de solo), obtido pela extração com  $\text{K}_2\text{SO}_4$  0,5M e determinação colorimétrica.

$\text{CO}_2$  = respiração basal do solo ( $\mu\text{g CO}_2/\text{g}^{-1}\text{solo}$ ), obtida pela produção de  $\text{CO}_2$  do solo incubado durante 10 dias em presença de NaOH.

$\text{qCO}_2$  = quociente metabólico do solo ( $\mu\text{g CO}_2/\text{gC-BM}^{-1}\text{h}^{-1}$ ), representa a quantidade de  $\text{CO}_2$  liberado por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo.

b) variável independente:

$\text{Cl}^-$  = íon cloreto presente na água de chuva e determinado por titulometria;

$\text{NO}_3^-$  = íon nitrato presente na água de chuva e determinado por colorimetria de fluxo contínuo;

$\text{SO}_4^{2-}$  = íon sulfato presente na água de chuva e determinado por espectrocolorimetria;

pH = concentração de íons hidrogênio presente na água da chuva;

$\varepsilon$  = termo de erro aleatório que, por hipótese, apresenta média zero e variância constante.

Os testes de hipóteses para os parâmetros estimados são feitos da seguinte maneira:

Hipótese nula ( $H_0$ ):	Hipótese alternativa ( $H_1$ ):
$H_0: a_1 = 0$	$H_1: a_1 \neq 0$
$a_2 = 0$	$a_2 \neq 0$
$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$
$a_n = 0$	$a_n \neq 0$

A hipótese sobre o sinal esperado do parâmetro a ser estimado é de relação negativa entre a variável independente e a variável dependente. A justificativa está em que a presença de íons na água de chuva derivados da dissociação de substâncias formadas a partir da conversão termoquímica da madeira em carvão, tais como ácido clorídrico (HCl), óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), provoca danos nas propriedades biológicas do solo, devido as mesmas serem muito sensíveis à alterações abióticas do meio ambiente.

Se o resultado obtido para teste t de Student, relativo a cada parâmetro, for superior ao valor tabulado para os graus de liberdade de cada regressão estimada, rejeita-se a hipótese  $H_0$  e se aceita a hipótese alternativa  $H_1$ , a 0,05 de probabilidade de erro, de que a variável é importante na explicação das variações ocorridas nas variáveis dependentes.

O teste F de Snedecor, que avalia a adequação da regressão ao fenômeno estudado, é utilizado para avaliar as seguintes hipóteses:

$H_0: a_{10} = a_{20} = \dots = a_n = 0$

A hipótese alternativa ( $H_1$ ) é de que pelo menos um dos parâmetros é maior do que zero.

### 3.2.10 Análises químicas

Foram feitas análises químicas da água de chuva coletada nas áreas experimentais, determinando-se o cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), segundo metodologia proposta por Rodier (1984). Para possibilitar a relação entre os resultados analíticos da água de chuva e a biomassa microbiana do solo, foram analisados, também o carbono da biomassa microbiana (CBM) através do método da fumigação-extração (VANCE et al., 1987; TATE et al., 1988), a respiração basal da biomassa microbiana ( $\text{CO}_2$ ), através da metodologia proposta por Gregorich et al. (1990) adaptada de Jenkinson e Ladd (1981), e o quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ), calculado segundo Gama-Rodrigues (1999).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 9 encontram-se os valores do teste F da Análise de Variância (ANOVA) das variáveis estudadas, em função dos tratamentos.

Tabela 9 – Valores de teste F e níveis de significância de íons (em mg/L) e pH presentes em água de chuva.

Fonte de Variação	G.L	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	pH
COBERTURA (COB.)	1	22,52**	11,70**	43,99**	0,01 <sup>ns</sup>
CARVOARIA (CARV.)	1	44,34**	2,52 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	14,55**
ÉPOCA	1	79,56**	3,76 <sup>ns</sup>	110,59**	35,70**
COB.*CARV.	1	13,92**	12,60*	29,07**	22,96**
COB.*ÉPOCA	1	7,25**	7,14*	12,92**	0,00 <sup>ns</sup>
CARV.*ÉPOCA	1	25,02**	38,93**	5,90*	19,45**
Média Geral		9,43	0,47	2,17	6,58
Coefficiente de Variação (%)		27,71	121,00	90,95	10,58

OBS:\* = significativo (5% de probabilidade); \*\* = muito significativo (1% de probabilidade); ns = não significativo.

Verifica-se por meio das Tabelas 9 e 10 que houve efeito significativo, de forma isolada, do fator cobertura vegetal em todas as variáveis analisadas, exceto para pH da água de chuva; a influência da carvoaria foi manifestada apenas na concentração dos íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e pH, não ocorrendo em íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), conforme atestam os valores

do Teste F; a época de coleta da água de chuva só não exerceu influência significativa na concentração do íon nitrato, sendo observada para as demais variáveis analisadas.

Todas as variáveis sofreram o efeito da interação entre os tratamentos, exceção para a não significância da interação tipo de cobertura x época de coleta da chuva, sobre o pH da água.

A Tabela 10 mostra as médias das variáveis independentes analisadas, em função dos tratamentos. Os maiores valores de cloreto foram encontrados no mês de março (6,27 mg/L). Observa-se, também, que sob os efeitos isolados da carvoaria e da influência da cobertura vegetal de gramínea, foram encontrados os maiores valores para cloreto, 5,8 mg/L e 5,41mg/L, respectivamente. O nitrato sofreu variação significativa do efeito da cobertura vegetal, isoladamente apresentando o maior valor para a cobertura de essências florestais (0,62 mg/L), não sendo influenciado pelo efeito isolado das diferentes épocas de coleta e dos efeitos da carvoaria. A variável sulfato apresentou os maiores valores no mês de maio e sob o efeito isolado da cobertura vegetal de essências florestais, sendo eles 3,82 mg/L e 3,21 mg/L, respectivamente. Esta variável não sofreu influência do efeito da carvoaria. O pH da água da chuva diferiu significativamente para os efeitos isolados da época de coleta da água e da influência da carvoaria, obtendo os maiores valores em março (6,91) e na área com efeito da carvoaria (6,79), não diferindo, entretanto, em função do efeito dos diferentes tipos de cobertura vegetal.

Os valores para cloreto (6,27 mg/L), nitrato (0,56 mg/L) e sulfato (6,91 mg/L) encontrados na água de chuva coletada em março/2005, foram superiores aos valores de 1,98; 0,30 e 3,62 mg/L, obtidos para as mesmas variáveis por Moreira-Nordemann et al. (1984), em estudos visando a obtenção dos primeiros dados da composição iônica da água da chuva, coletada em época de maior precipitação pluviométrica, em Cubatão, São Paulo. Este fato mostra que a atividade de carvoejamento altera a composição química da água da chuva no local, afetado pelos resíduos, principalmente no mês de maior ocorrência de chuva (março).

Tabela 10 – Média dos teores de íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), em mg/L e pH da água de chuva em Paragominas/PA, coletadas sob diferentes épocas, efeitos da carvoaria e tipos de cobertura vegetal.

Variável Independente	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	pH
<b>Época</b>				
Março/2005	6,27 a	0,56 a	0,53 b	6,91 a
Maió/2005	2,59 b	0,38 a	3,82 a	6,25 b
DMS	0,81	0,17	0,60	0,21
<b>Carvoaria</b>				
Com efeito	5,8 a	0,54 a	2,06 a	6,79 a
Sem efeito	3,05 b	0,40 a	2,29 a	6,37 b
DMS	0,81	0,17	0,60	0,21
<b>Cobertura</b>				
Gramínea	5,41 a	0,31 b	1,14 b	6,58 a
Essências Florestais	3,45 b	0,62 a	3,21 a	6,59 a
DMS	0,81	0,17	0,60	0,21

DMS. Tukey a 5% de probabilidade. Letras iguais na mesma coluna, dentro do mesmo fator, não diferem entre si.

A Tabela 11 mostra o efeito da interação entre a atividade de carvoaria e a época de coleta da água de chuva, sobre as variáveis estudadas. Observa-se que os maiores teores de cloreto (8,68 mg/L) e de nitrato (0,9 mg/L) foram encontrados na água da chuva coletada em março/2005, época de grande precipitação pluviométrica, na área sob o efeito da atividade de carvoaria.

Na água da chuva coletada no mês de maio o sulfato apresentou os maiores valores, 4,10 mg/L e 3,55 mg/L, para as áreas com e sem efeito da carvoaria, respectivamente, sem diferenças estatísticas significativas. Quando coletada em março/2005 a água da chuva registrou o maior pH (7,37) na área sob o efeito da carvoaria, provocado, possivelmente, pelos maiores teores de cloreto e nitrato, obtidos nas mesmas condições. O pH da água de chuva coletada em período de menor intensidade pluviométrica (maio/2005) não diferiu significativamente entre as áreas e pelo efeito da carvoaria, 6,22 e 6,29, respectivamente.

Em estudos realizados pela CETESB (1984) em Santos-SP, os valores obtidos foram maiores que os demonstrados na Tabela 11, para os ânions estudados, sendo 19,00 mg/L de cloreto, 0,73 mg/L de nitrato e 9,00 mg/L de sulfato. Os maiores valores para os ânions estudados foram encontrados na área sob o efeito da carvoaria, o que mostra que certamente a chuva arrasta da atmosfera, poluentes emitidos pela fumaça da carvoaria.

Tabela 11 - Média dos teores de íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), em mg/L e pH da água de chuva em Paragominas/PA, sob diferentes efeitos da carvoaria, épocas de coleta.

DATA	CARVOARIA							
	COM EFEITO				SEM EFEITO			
	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	pH	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	pH
Março/2005	8,68 aA	0,91 aA	0,04 bB	7,37 aA	3,86 aB	0,20 bB	1,02 bA	6,46 aB
Maió/2005	2,93 bA	0,17 bB	4,10 aA	6,22 bA	2,24 bA	0,59 aA	3,55 aA	6,29 aA

DMS. Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, para cada variável analisada.

Observando a Tabela 12, verifica-se o efeito da interação entre tipos de cobertura vegetal e épocas de coleta da chuva, onde se observa que a concentração de cloreto foi superior em março, tanto para a cobertura de gramínea (7,81 mg/L), quanto para cobertura de essências florestais (4,73 mg/L). Quando a coleta foi efetuada em março/2005, os teores de nitrato não foram afetados significativamente pelo tipo de cobertura, embora tenha alcançado os maiores valores, 0,47 mg/L na área com cobertura de gramínea, e 0,64 mg/L em área de essências florestais. Em maio, os maiores teores foram obtidos sob cobertura de essências florestais (0,60 mg/L). Na área sob cobertura de essências florestais, a época de coleta não teve influência significativa.

A variável sulfato foi superior no mês de maio, tanto para cobertura de gramínea (2,22 mg/L), quanto para cobertura de essências florestais (5,42 mg/L). Os maiores valores de pH ocorreram em Março, com valores absolutamente iguais, de 6,91 para os diferentes tipos de cobertura vegetal. Dentro de cada período de coleta, o tipo de cobertura não influenciou o pH do solo.

Cintra (2004), em estudo realizado em um ecossistema florestal urbano no Maciço da Pedra Branca – RJ obteve maiores teores de cloreto, nitrato e sulfato com valores de 9,71 mg/L, 12,5 mg/L e 7,21 mg/L, respectivamente, quando comparados aos resultados apresentados na Tabela 12.

De maneira geral, os maiores valores para as variáveis estudadas foram observadas no mês de março, época de maior precipitação pluviométrica<sup>11</sup> na região, mostrando o efeito da

<sup>11</sup> Informação pessoal obtida da Engenheira Florestal (CIKEL) Marcela Gomes da Silva.



ação de partículas da carvoaria na atmosfera, que com a maior intensidade de chuvas adiciona ao solo maior quantidade de partículas da carvoaria.

Tabela 12 - Média dos teores de íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), em mg/L e pH da água de chuva em Paragominas/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal, épocas de coleta.

DATA	COBERTURA							
	GRAMÍNEA				ESSÊNCIAS FLORESTAIS			
	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	pH	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	pH
Março/2005	7,81 aA	0,47 aA	0,05 bB	6,91 aA	4,73 aB	0,64 aA	1,00 bA	6,91 aA
Mai/2005	3,01 bA	0,16 bB	2,22 aB	6,25 bA	2,16 bA	0,60 aA	5,42 aA	6,26 bA

DMS. Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si.

Observa-se na Tabela 13, que nas áreas com e sem efeito da carvoaria, os valores de  $\text{NO}_3^-$  e pH não variaram significativamente, quando a cobertura era de gramínea. O nitrato e o sulfato, também, não variaram significativamente em função do tipo de cobertura, quando em área sob o efeito dos resíduos da carvoaria. O mesmo pode ser dito do cloreto, porém, em área sem efeito da carvoaria.

Os maiores teores de cloreto ocorreram na área com efeito da carvoaria: 7,55 mg/L e 4,05 mg/L, respectivamente, nas áreas de cobertura de gramínea e essências florestais. Quanto ao nitrato o maior e o menor valor (0,71 e 0,08 mg/L) foram encontrados, respectivamente, em áreas com cobertura de essências florestais e de gramínea, sem efeito da atividade de carvoaria. O mesmo comportamento apresentou o sulfato, com o maior valor na área com cobertura de essências florestais (4,17 mg/L) e o menor valor, 0,08 mg/L, na de gramínea.

Em área com cobertura de gramínea, foram encontrados o maior e o menor valor de pH (7,05 e 6,10) com e sem efeito da carvoaria, respectivamente.

Moreira-Nordemann et al. (1984) estudando a composição química da água da chuva na localidade de Vila Parisi – SP obteve menores teores de cloreto (3,34 mg/L) e nitrato (0,22 mg/L) e maior valor de sulfato (19,29 mg/L), quando comparados com os resultados observados na tabela 13.

Tabela 13 - Média dos teores de íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), em mg/L e pH da água de chuva em Paragominas/PA, sob diferentes efeitos da carvoaria, tipos de cobertura vegetal.

COBERTURA	CARVOARIA							
	COM EFEITO				SEM EFEITO			
	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	pH	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	pH
Gramínea	7,55 aA	0,55 aA	1,87 aA	7,05 aA	3,26 aB	0,08 bB	0,40 bB	6,10 bB
Essências Florestais	4,05 bA	0,53 aA	2,26 aB	6,53 bA	2,84 aB	0,71 aA	4,17 aA	6,64 aA

DMS. Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si.

A Tabela 14 apresenta os resultados dos coeficientes de correlação entre as variáveis analisadas.

Tabela 14 - Coeficientes de correlação (r) e probabilidade (p) entre atributos biológicos do solo e atributos químicos de água de chuva, em área de produção de carvão vegetal, em Paragominas/PA. Março e Maio de 2005.

		CBM	$\text{CO}_2$	$\text{qCO}_2$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
pH	r	-0,096 <sup>ns</sup>	-0,103 <sup>ns</sup>	-0,317*	0,588**	0,450**	-0,250*
	p	0,259	0,243	0,014	0,000	0,000	0,044
$\text{SO}_4^{2-}$	r	0,347**	0,116 <sup>ns</sup>	-0,025 <sup>ns</sup>	-0,441*	0,221 <sup>ns</sup>	
	p	0,008	0,217	0,434	0,01	0,065	
$\text{NO}_3^-$	r	0,116 <sup>ns</sup>	-0,140 <sup>ns</sup>	-0,175 <sup>ns</sup>	0,231 <sup>ns</sup>		
	p	0,217	0,171	0,117	0,057		
$\text{Cl}^-$	r	-0,375**	-0,290*	-0,105 <sup>ns</sup>			
	p	0,004	0,023	0,238			
$\text{qCO}_2$	r	-0,344**	0,749**				
	p	0,008	0,000				
$\text{CO}_2$	r	0,135 <sup>ns</sup>					
	p	0,181					

CBM= Carbono da biomassa microbiana;  $\text{CO}_2$ = respiração basal do solo;  $\text{qCO}_2$ = quociente metabólico;  $\text{Cl}^-$ = íon cloreto;  $\text{NO}_3^-$ = íon nitrato;  $\text{SO}_4^{2-}$ = íon sulfato; pH = potencial hidrogeniônico. <sup>ns</sup>= não significativo, \* e \*\*= significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t de Student.

Das propriedades biológicas do solo, o CBM foi a variável que mais sofreu influência das demais variáveis, sejam as de solo ( $qCO_2$ ), sejam as de água da chuva ( $SO_4^{2-}$  e  $Cl^-$ ). Verifica-se que CBM não se correlacionou com pH ( $p = 0,259$ ) e  $NO_3^-$  ( $p = 0,116$ ), conforme atestam os valores do  $t$  não-significativos. No entanto, ocorreu um efeito positivo do  $SO_4^{2-}$  ( $p = 0,008$ ) no CBM ( $r = 0,347$ ), indicando que o aumento na quantidade de  $SO_4^{2-}$  no solo, trazido pela água de chuva, favorece a biomassa microbiana do solo. Tal fato era esperado, uma vez que o enxofre é um dos elementos que compõem protoplasmas celulares que ocorrem em maior quantidade (Gama - Rodrigues, 1999). Por outro lado, verifica-se um efeito negativo do íon cloreto, indicando que ocorre redução do CBM com o aumento da concentração desse ânion; isto era esperado, uma vez que o  $Cl^-$  apresenta alta correlação ( $r = 0,588$  e  $p = 0,0001$ ) com o pH da água.

A correlação negativa entre CBM e  $qCO_2$  ( $r = -0,344$ ) pode ser explicada pelo fato de o quociente metabólico ser um índice que apresenta relação inversa com o CBM, indicando que um elevado valor de biomassa microbiana tende a diminuir o  $qCO_2$ , se a respiração do solo se mantiver inalterada, indicação do estado de estabilização da população microbiana do solo. Tal constatação foi feita por Anderson e Domsch (1985), onde citam que o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) pode ser usado como parâmetro de avaliação do empobrecimento dos solos em termos de matéria orgânica, assim, com o aumento da maturidade da matéria orgânica do solo, conseqüentemente, o  $qCO_2$  diminui, ou seja, quanto menor o  $qCO_2$  mais eficiente se torna a biomassa microbiana do solo, ou ainda menos C é perdido pela respiração e uma fração significativa de C é incorporado no tecido microbiano. Com isso, observa-se que a biomassa microbiana tem relação inversa com o quociente metabólico, sugerindo que, em maiores teores de C, podem ocorrer aumento da BM e diminuição na atividade metabólica.

A respiração basal do solo ( $CO_2$ ) não se correlacionou com o pH da água de chuva e com o íon nitrato, como ocorreu com CBM, e, também, com o sulfato, diferentemente do ocorrido com CBM. Das propriedades químicas da água da chuva, o  $Cl^-$  exerceu efeito negativo, tanto em CBM quanto em  $CO_2$ , indicando que os resíduos da atividade de carvoaria, de imediato afetam a população microbiana do solo, por meio da ação do íon cloreto introduzido no solo através da precipitação pluviométrica.

Como era esperado, a relação entre  $CO_2$  e  $qCO_2$  foi elevada ( $r = 0,749$ ) e altamente significativa ( $p = 0,0001$ ). A explicação para tal fato pode ser semelhante à utilizada para CBM, porém de forma inversa, uma vez que o  $qCO_2$  tem relação diretamente proporcional com  $CO_2$ . Ou seja, um aumento na respiração basal do solo provoca elevação do valor  $qCO_2$  e sugere que a população microbiana está muito ativa, produzindo alta taxa de  $CO_2$  para um

valor baixo de CBM. Tal fato foi observado por Melloni et al. (2001) em experimento, onde cita que um maior valor da respiração microbiana deve-se a uma maior reciclagem da população microbiana, necessitando de um maior consumo de energia para a sua sobrevivência. Entretanto, não se deve esquecer que o tipo de manejo do solo pode selecionar uma população microbiana mais eficiente, que perderia menos carbono via respiração, pois se mais C é respirado, maior a quantidade de C pode estar sendo liberado do solo, acarretando sua diminuição no mesmo.

O quociente metabólico só apresentou correlação significativa com o pH da água de chuva ( $r = 0,014$ ). A relação entre tais variáveis foi negativa, indicando redução daquele parâmetro com a elevação do valor de pH. O sinal negativo pode ser explicado pela influência que o  $\text{Cl}^-$  exerceu em CBM ( $r = -0,375$ ) e em  $\text{CO}_2$  ( $r = -0,290$ ), uma vez que o íon cloreto teve alta correlação, e de forma positiva, com o pH ( $r = 0,588$ ) da água de chuva.

O íon cloreto, além do pH teve correlação significativa com o  $\text{SO}_4^{2-}$ . Porém, com este último a correlação foi negativa, sugerindo diminuição na concentração deste quando aquele aumenta. Nitrato e sulfato se correlacionaram significativamente com pH, conforme atestam os valores do Teste t para as probabilidades calculadas ( $p = 0,000$  e  $p = 0,044$ , respectivamente).

De todas as variáveis químicas estudadas a que apresentou maior efeito, e de forma negativa, nas propriedades biológicas do solo foi o íon cloreto. Sulfato exerceu influência positiva, mas somente no CBM.

Na Tabela 15 estão contidos os resultados das análises de regressões lineares simples, em que se avaliaram os efeitos isolados do cloreto, nitrato, sulfato e pH no carbono da biomassa microbiana.

Tabela 15 - Estimativas dos parâmetros das equações de regressão lineares simples entre os efeitos isolados do cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e pH nas variações ocorridas no carbono da biomassa microbiana (CBM), em Paragominas/PA.

Número	Função	Coeficiente		$R^2$	Estatística F
		$a_0$	$a_1$		
(1)	CBM= f( $\text{Cl}^-$ )	3,28 (8,63)*	-0,10 (2,74)*	0,14	7,53*
(2)	CBM= f( $\text{NO}_3^-$ )	2,19 (11,98)*	0,21 (0,79) <sup>ns</sup>	0,01	0,62 <sup>ns</sup>
(3)	CBM= f( $\text{SO}_4^{2-}$ )	2,02 (11,89)*	0,13 (2,51)*	0,12	6,29*
(4)	CBM= f(pH)	3,06 (2,60)*	-0,12 (-0,65) <sup>ns</sup>	0,01	0,42 <sup>ns</sup>

(\*, <sup>ns</sup>) Significante e não-significante, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses são os valores do teste  $t$  de "Student".

O intercepto ( $a_0$ ) foi positivo e significativo a 5% de probabilidade de erro, para todas as funções, conforme atestam os valores do teste  $t$  de Student.

O intercepto ( $a_0$ ) informa a variação média do CBM na ausência de influência das variáveis independentes cloreto, nitrato, sulfato e pH, incluídas em cada regressão. O valor  $a_0 = 3,28$  na função (1), informa que o CBM teria um valor máximo de  $3,28 \text{ g kg}^{-1}$  solo quando a concentração de  $\text{Cl}^-$  fosse zero. Interpretação semelhante pode ser aplicada para as demais funções.

Os sinais dos parâmetros  $a_1$  nas funções (1) e (4) foram negativos, significativos e não significativos, respectivamente. Já para as funções (2) e (3) os sinais foram positivos, não significativo e significativo, respectivamente. Atestados pelo Teste  $t$  de Student, teoricamente está correto o sinal da função (1), ocorrendo de acordo com o esperado, mostrando que a variação no CBM foi inversamente proporcional à variação  $\text{Cl}^-$ . A interpretação pode ser feita da seguinte maneira: um aumento unitário de  $\text{Cl}^-$  leva a uma redução de  $0,10 \text{ g kg}^{-1}$  solo em CBM.

O teste  $t$  de Student mostra que teoricamente está correto o sinal da função (3), ocorrendo de acordo com o esperado, mostrando que a variação no CBM foi diretamente proporcional à variação  $\text{SO}_4^{2-}$ . A interpretação pode ser feita da seguinte maneira: um aumento unitário de  $\text{SO}_4^{2-}$  leva a uma adição de  $0,13 \text{ g kg}^{-1}$  solo em CBM.

Para a função (4) mesmo apresentando o sinal negativo, o efeito do pH foi nulo, o que é atestado pelo Teste  $t = -0,65$ , não significativo.

O coeficiente de determinação  $R^2$ , que indica o poder explicativo da regressão, foi significativo para as regressões que avaliam os efeitos de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , não sendo para as que avaliam  $\text{NO}_3^-$  e pH no CBM, conforme o teste  $F = 0,62$  (função 2) e  $0,42$  (função 4) não-significativos, respectivamente.

Analisando os resultados da Tabela 15, verificou-se que as variáveis  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  foram as mais importantes para explicar as variações no CBM, apresentando os valores de  $R^2 = 0,14$  e  $0,12$ , sendo significativos a 5% de probabilidade de erro.

No entanto, verifica-se que o íon cloreto exerce efeito negativo na população microbiana, uma vez que o mesmo provoca redução no carbono da biomassa microbiana e respiração basal da BM do solo.

Na Tabela 16 estão contidos os resultados das análises de regressões lineares simples, em que se avaliaram os efeitos isolados do cloreto, nitrato, sulfato e pH na respiração da biomassa microbiana do solo.

O intercepto ( $a_0$ ) foi positivo e significativo a 5% de probabilidade de erro, para as funções (5), (6) e (7).

O intercepto ( $a_0$ ) informa a variação média do  $\text{CO}_2$  na ausência de influência das variáveis independentes cloreto, nitrato, sulfato e pH, incluídas em cada regressão. O valor  $a_0 = 115,93$  na função (5) informa que o  $\text{CO}_2$  teria um valor máximo de  $115,93 \mu\text{gCO}_2\text{g}^{-1}$  solo quando a concentração de  $\text{Cl}^-$  fosse zero. Interpretação semelhante pode ser aplicada para as demais funções.

Os sinais dos parâmetros  $a_1$  nas funções (5), (6) e (8) foram negativos, apresentando apenas significância a função (5). Atestados pelo teste  $t$  de Student, teoricamente está correto o sinal da função (5), ocorrendo de acordo com o esperado, mostrando que a variação do  $\text{CO}_2$  foi inversamente proporcional à variação  $\text{Cl}^-$ . A interpretação pode ser feita da seguinte maneira: um aumento unitário de  $\text{Cl}^-$  leva a uma redução de  $4,40 \mu\text{gCO}_2\text{g}^{-1}$  solo.

Para as funções (6) e (8) mesmo apresentando o sinal negativo, o efeito do nitrato e pH foram nulos, o que é atestado pelo Teste  $t = -0,96$  e  $0,70$  não significativos, respectivamente.

O coeficiente de determinação  $R^2$ , que indica o poder explicativo da regressão, foi significativo apenas para cloreto, com  $R^2 = 0,08$ , conforme o Teste  $F = 4,22$  significativo a 5% de probabilidade de erro. Apesar da baixa correlação entre  $\text{Cl}^-$  e CBM, o modelo proposto (função (5)) serviu para explicar as variações ocorridas em  $\text{CO}_2$ .

Tabela 16 - Estimativas dos parâmetros das equações de regressão lineares simples entre os efeitos isolados do cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e pH nas variações ocorridas na respiração basal da biomassa microbiana do solo, em Paragominas/PA.

Número	Função	Coeficiente		$R^2$	Estatística F
		$a_0$	$a_1$		
(5)	$\text{CO}_2 = f(\text{Cl}^-)$	115,93 (5,43)*	-4,40 (-2,05)*	0,08	4,22*
(6)	$\text{CO}_2 = f(\text{NO}_3^-)$	81,01 (8,14)*	-13,58 (-0,96) <sup>ns</sup>	0,02	0,92 <sup>ns</sup>
(7)	$\text{CO}_2 = f(\text{SO}_4^{2-})$	69,51 (7,11)*	2,33 (0,79) <sup>ns</sup>	0,01	0,63 <sup>ns</sup>
(8)	$\text{CO}_2 = f(\text{pH})$	119,23 (1,86) <sup>ns</sup>	-6,80 (0,70) <sup>ns</sup>	0,01	0,49 <sup>ns</sup>

(\* , <sup>ns</sup>) Significante e não-significante, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses são os valores do teste  $t$  de "Student".

Na Tabela 17 estão contidos os resultados das análises de regressões lineares simples, em que se avaliaram os efeitos isolados do cloreto, nitrato, sulfato e pH no quociente metabólico.

O intercepto ( $a_0$ ) foi positivo e significativo a 5% de probabilidade de erro, para todas as funções.

O intercepto ( $a_0$ ) informa a variação média do  $q\text{CO}_2$  na ausência de influência das variáveis independentes cloreto, nitrato, sulfato e pH, incluídas em cada regressão. O valor  $a_0 = 2,29$  na função (9) informa que o  $q\text{CO}_2$  teria um valor máximo de  $2,29 \mu\text{g CO}_2 \text{ g C-BM}^{-1} \text{ h}^{-1}$  quando a concentração de  $\text{Cl}^-$  fosse zero. Interpretação semelhante pode ser aplicada para as demais funções.

Os sinais dos parâmetros  $a_1$  nas funções foram negativos, sendo não significativo para as funções (9), (10) e (11). Atestados pelo Teste  $t$  de Student, teoricamente está correto o sinal das funções, ocorrendo de acordo com o esperado, mostrando que a variação do  $q\text{CO}_2$  foi inversamente proporcional à variação pH. A interpretação pode ser feita da seguinte maneira: um aumento unitário de pH leva a uma redução de  $0,89 \mu\text{g CO}_2 \text{ g C-BM}^{-1} \text{ h}^{-1}$  de  $q\text{CO}_2$ .

Para as funções (9), (10) e (11) mesmo apresentando o sinal negativo, o efeito do cloreto, nitrato e sulfato, foram nulos, o que é atestado pelo Teste  $t = -0,72, -1,20$  e  $-0,17$  não significativos, respectivamente.

O coeficiente de determinação  $R^2$ , que indica o poder explicativo da regressão, foi significativo apenas para o pH, com  $R^2 = 0,10$ , conforme o Teste F = 5,14 significativo a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 17 - Estimativas dos parâmetros das equações de regressão lineares simples entre os efeitos isolados do cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e pH nas variações ocorridas no quociente metabólico, em Paragominas/PA.

Número	Função	Coeficiente		$R^2$	Estatística F
		$a_0$	$a_1$		
(9)	$q\text{CO}_2 = f(\text{Cl}^-)$	2,29 (2,43)*	-0,07 (-0,72) <sup>ns</sup>	0,01	0,52 <sup>ns</sup>
(10)	$q\text{CO}_2 = f(\text{NO}_3^-)$	1,99 (4,74)*	-0,72 (-1,20) <sup>ns</sup>	0,03	1,45 <sup>ns</sup>
(11)	$q\text{CO}_2 = f(\text{SO}_4^{2-})$	1,70 (4,06)*	-0,02 (-0,17) <sup>ns</sup>	0,00	0,03 <sup>ns</sup>
(12)	$q\text{CO}_2 = f(\text{pH})$	7,49 (2,89)*	-0,89 (2,27)*	0,10	5,14*

(\* , <sup>ns</sup>) Significante e não-significante, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses são os valores do teste  $t$  de "Student".

### 3.4 - CONCLUSÃO

1. A produção de carvão vegetal afeta a composição química da água de chuva, provocando o aumento da concentração dos íons  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e pH da água de chuva.
2. Na área sob o efeito da atividade de carvoaria, os teores de cloreto na água de chuva foram reduzidos quando a cobertura vegetal era de essências florestais.
3. Os resíduos da atividade de carvoaria e a introdução de  $\text{Cl}^-$  no sistema, por meio da água de chuva provocou redução nos parâmetros biológicos do solo CBM e  $\text{CO}_2$ . O íon sulfato promoveu aumento no parâmetro CBM.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL- MOMANI, I.F. Trace elements in atmospheric precipitation at Northern Jordan measured by ICPMS: acidity and possible sources. **Atmospheric Environment**, 37, 4507-4515, 2003.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganism in a dormant state. **Biology and Fertility of Soil**, Berlin, v. 1, p. 81-89, 1985.
- BERNADIN, Y.; MATOS, R. **Etude de faisabilité au Brésil**. São Paulo – BRESIL, 1999.
- CETESB. Caracterização química das águas de chuva de Cubatão: Impacto Ambiental. **Relatório Anual**. São Paulo, 1984. 22p.
- CINTRA, A. T. de F. **Entradas atmosféricas de nutrientes e poluentes em um ecossistema florestal urbano, Maciço da Pedra Branca - RJ**. Departamento Química, 2004. 116p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- EMBRAPA-CPNS. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos, nº 1).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos** – Brasília : Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412p., 1999.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. da. 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, Genesis. 1999. p.227-244.
- GIRARD, P. **Étude de marche potentielle pour un procédé de carbonisation sous pression**. CIRAD-Forêt, 1994.
- GREGORICH, E. G.; VORONEY, R. P.; KACHANOSKI. Turnover of carbon through the microbial biomass in soils with different textures, toxicity in subsoils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** Madison, v. 50, p. 28-34, 1990.
- HAAG, H.P. et al. Chuvas ácidas. Campinas-SP: **Fundação Cargill**, 1985. 77p.
- JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: Measurement and Turnover In: PAUL, E.A.; LADD, J.N., (eds). **Soil Biochemistry**. New York, Marcel Dekker, 1981. v.5. p.415-471.
- JORDAN, C.F. The nutrient balance of na Amazonian rain forest. **Ecology**, v. 63, n.3, p. 647-654, 1982.

- LESACK, L.F.W.; MELACK, J.M. The composition and potential sources of major ionic solutes in rain of the Central Amazon Basin. **Water Resources Research**, v.27, n.11, p.2953-2977, 1991.
- MANOKARAN, N. The Nutrient Contents of Precipitation, Throughfall and Stemflow in a Lowland Tropical Rain Forest in Peninsular Malaysia. **The Malaysian Forester**. v. 43, n.3,1980.
- MARIOTTI, M. Z. **O papel da lixiviação e da chuva ácida na ciclagem de nutrientes em florestas**. Piracicaba, ESALQ/USP. 27p., 1982.
- MELO, V. S. **Contribuição da água escorrida pelo caule à chuva efetiva em floresta primária explorada na Amazônia Oriental**. 1999. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1999.
- MELLONI, R. et al. Características biológicas de solos sob mata ciliar e campo cerrado no sul de Minas Gerais. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 7-13, jan./fev. 2001.
- MOREIRA-NORDEMANN, L.C. et al. **Análise química preliminar das águas de chuva de Cubatão – Impactos ambientais**. Public. INPE-2857-PRE/396, 13p., 1984.
- ODÉN, S. The acidity problem: on outline of concepts **USDA** Forest Service NE General Technical Report, Upper Darby, (23): 1-36, 1976.
- RODIER, J. **L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer; chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie**. 7° edition. Dunod. Bordas, Paris, 1984.
- TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAN, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 329-335, 1988.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, n.6, p. 703-707, 1987.