



MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA

IRENE CIBELLE GONÇALVES SAMPAIO

**BIOGEOQUÍMICA DO CARBONO EM SOLOS
DE PARCELAS SOB TRITURAÇÃO, SOB QUEIMA E SOB CAPOEIRA**

**Belém
Pará-Brasil
2008**

IRENE CIBELLE GONÇALVES SAMPAIO

**BIOGEOQUÍMICA DO CARBONO EM SOLOS
DE PARCELAS SOB TRITURAÇÃO, SOB QUEIMA E SOB CAPOEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA-Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais. Área de Concentração: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Sócio-Ambientais.

Orientador: Prof.^o Dr. Cláudio Reis de Carvalho.

Belém
Pará-Brasil
2008

IRENE CIBELLE GONÇALVES SAMPAIO

**BIOGEOQUÍMICA DO CARBONO EM SOLOS
DE PARCELAS SOB TRITURAÇÃO, SOB QUEIMA E SOB CAPOEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA-Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Data de Aprovação: ____ / ____ / ____

Conceito:

Banca Examinadora:

Prof. Steel Vasconcelos
Doutor em Recursos e Conservação Florestais
Embrapa/Amazônia Oriental

Prof. Leonardo Deane de Abreu Sá
Doutor em Geofísica e técnicas espaciais
Embrapa/Amazônia Oriental

Prof. Raimundo Cosme de Oliveira Junior
Doutor em Geologia e Geoquímica
Embrapa/Amazônia Oriental

Dedico aos meus pais, Almério Brelaz
Sampaio e Lúcia Maria Gonçalves
Sampaio

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Cláudio Reis de Carvalho por ter aceitado ser meu orientador e ter viabilizado todos os processos da minha dissertação. Obrigada por ter encontrado tempo pra me auxiliar e me direcionar na solução dos problemas que se apresentaram durante o mestrado. Agora estou concluindo esta etapa e posso dizer que vencemos.

Ao LBA e ao PPG-7 por financiar este estudo. Ao Projeto TIPITAMBA por ceder alojamento e o local de pesquisa. A EMBRAPA por ter disponibilizado transporte para campo e por ter cedido o laboratório de Ecofisiologia.

Ao programa de bolsas BECA, que me concedeu uma bolsa de mestrado – que garantiu minha estadia em Belém e a conclusão desta dissertação. Agradeço também a todos os funcionários do BECA, que sempre foram cordiais, atenciosos e dispostos a ajudar.

Ao programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais (UFPA/EMBRAPA/MPEG) pela oportunidade de continuar meus estudos. Aos professores do PPGA, que me ajudaram a conhecer mais sobre outras áreas do conhecimento científico e fizeram com que pudesse olhar a ciência com uma admiração ainda maior.

À todos os colegas do mestrado em Ciências Ambientais (UFPA/EMBRAPA/MPEG) por compartilharem seus conhecimentos e pelo companheirismo. Meu agradecimento especial para Bruno, Crisalda, Dani, Eliete, Harumi, Joelma e Lívia. A amizade de vocês foi essencial para mim. Realmente estivemos juntos em tudo: na fila do RU, nos longos trabalhos

realizados no escritório do LBA/Belém, nos lanches na praça de Ananideua, na mudança de casa..... muitas histórias pra contar...

À Márcia Figueiredo, pelo carinho e pela disposição para resolver os problemas administrativos e logísticos que a turma de mestrado enfrentou. Você um anjo auxiliador que conquistou todos. Um exemplo de profissional e de pessoa.

Ao pessoal do laboratório de Ecofisiologia/EMBRAPA de Belém, pela amizade, pela paciência e pelo auxílio. Obrigada Cléo, Fabiano, Harumi, Helieth, Ivanildo, Joelma, Jorge e Teresa. Sem vocês eu não teria condição nem de começar esta dissertação.

Ao Dr. Steel Vasconcelos, Dr. Leonardo Sá, Dr. Raimundo Cosme de Oliveiras Jr e Dr. Osvaldo Kato pelas sugestões.

A professora Aurora por ter me auxiliado e me tranquilizando na fase de conclusão desta dissertação. Foi muito bom poder contar com sra na hora do desespero.

Agradeço os meus pais, Almério Brelaz Sampaio e Lúcia Maria Gonçalves Sampaio, pelo esforço e dificuldades que passaram para me dar uma boa educação. Por me encorajarem na luta por meus sonhos, por terem aceitado a dor da saudade para que eu fosse atrás do que era meu.

Às minhas amadas irmãs Sarah Giselle e Ádrea Nayara Gonçalves Sampaio, por serem tão compreensivas, amigas e companheiras. Obrigada por me aturarem. Especialmente quando cansei vocês falando do meu trabalho, do que deu errado, do que deu certo. Sou muito grata a Deus por ter irmãs tão preciosas.

À todos os meus tios, tias, primos e primas que me apoiaram e torceram por mim.

À Universidade Federal do Pará em Santarém, pela educação pública e gratuita. Também sou grata a todos os professores que fizeram parte da minha formação. Em especial agradeço a prof^a Chieno e a prof^a Graça por terem me encorajado a seguir o caminho da pesquisa.

O grupo TG-04/LBA por ter me dado a oportunidade de começar meu caminho na ciência. Agradeço também ao apoio e a amizade de todos os integrantes do grupo: Dr. Chris Martens, Howard Mendlovitz, José Mauro Souza e Risonaldo Leal.

O grupo TG-07/LBA que possibilitou um relevante aprendizado sobre a biogeoquímica, que me deu base para formular meu projeto de pesquisa. Obrigada Dr. Cosme, por nunca ter deixado de me apoiar, incentivar e por ter sempre boa vontade em responder os meus questionamentos - antes do mestrado e durante o mestrado. O sr. sempre será uma referência para mim.

O LBA em Santarém por ter apoiado na minha luta para chegar ao mestrado. Agradeço todos os que fizeram parte desta luta: Albert, Augusto, Bethany, Brait, Cleuton, Chico, Davi, Fitzalrald, Genilson, Hudson, Jadson, José Mauro, Joelma, Kemerson, Lisa, Marry, Michela, Miranda, Nagib, Osvaldo, Paulo, Renan, Risonaldo, Rodrigo, Sakai, Troy, Valéria, Viviane, Wellington e Williams.

À Elzinha por me hospedado em sua casa, no período de entrevista para seleção do mestrão. Obrigada pelo carinho e pelos mapinhas, desenhados com toda a atenção, pra que eu não me perdesse em Belém.

À minha família belenense Tia Alice, Alícia, Aline, Dina, Karol, Fernandinha, Léa, Marta, e Victoria. Vocês foram um grande presente de Deus na minha vida. Obrigada pela acolhida, carinho e apoio em todos os momentos. Momentos de alegria, de doença, de angústias, de saudades...

Aos meus queridos amigos de Belém. Carol, Daniel, Danilo, Eliene, Márcia, Neth, Paty, Thiago e Tony. Vocês me deram muitas alegrias, momentos maravilhosos que nunca esquecerei.

Aos amigos-irmãos: Regina, Thiago, Riso e Mauro. A distância só provou que nossa amizade é forte e que vocês são amigos para sempre. Obrigada por me ouvir nos momentos difíceis e por me fazer sentir melhor depois de nossas conversas.

Sobretudo agradeço a Deus, por ter me dado saúde, coragem e por ter colocado todas essas pessoas na minha vida.

A melhor lição que eu aprendi nestes anos é que é possível fazer um mundo melhor: Isso só depende de nós.

Stefano Merlin

RESUMO

As mudanças climáticas e no uso da terra têm potencial para alterar o estoque e a dinâmica do carbono no solo. O objetivo deste trabalho foi investigar os processos biogeoquímicos do carbono no solo - em um projeto piloto na Amazônia. Este projeto possui uma parcela sob sistema de queima, uma parcela sob sistema de trituração e uma floresta secundária (capoeira). O projeto se localiza no município do Igarapé-Açu, na região bragantina, no nordeste do estado do Pará. O solo da área é o latossolo amarelo. Os resultados deste trabalho mostraram que os maiores fluxos de CO_2 foram medidos no período chuvoso. No período seco deste estudo, o fluxo de CO_2 do solo sob capoeira foi maior do que o das outras parcelas. Durante o período chuvoso, não houve diferença significativa. A quantidade de carbono orgânico e de carbono total foi maior na parcela triturada (até 10 cm de profundidade) do que na parcela sob queima e sob capoeira (resultados preliminares). Em nenhuma das parcelas estudadas foi encontrada relação entre o metabolismo microbiano ($q\text{CO}_2$) e a quantidade carbono total no solo, entre o $q\text{CO}_2$ e a quantidade carbono da biomassa microbiana do solo (C_{BMS}) e entre quantidade de C_{BMS} e quantidade de carbono total. Somente a parcela sob capoeira apresentou relação entre a quantidade de C_{BMS} e a porcentagem de PPA. Em todas as parcelas desse estudo, houve relação significativa entre $q\text{CO}_2$ e a porcentagem de PPA do solo. Os resultados destas relações demonstram que, nas parcelas deste estudo, a metabolismo microbiano sofre maior influência das alterações de umidade no solo do que em relação a disponibilidade de carbono. Também é possível dizer que, as variações na quantidade de microorganismo (C_{BMS}) não ocorreram devido mudanças na umidade do solo (nas parcelas sob trituração e sob queima) e nem devido a mudanças na quantidade de carbono (em todas as parcelas deste estudo). Durante este estudo, na parcela sob tritura, o material da capoeira triturada não ofereceu proteção para o solo. O material triturado já havia sido incorporado ao solo.

Palavras-chave: Mudança no uso da terra; respiração do solo; carbono; corte e queima; corte e tritura.

ABSTRACT

Changes in stocks of carbon and change land use have the potential to modify the dynamic of carbon in the soil. This report goal was to investigate the biogeochemistry of carbon in the soil - at a pilot project in Amazon. This project has a plot on slash-and-mulch system, a plot on slash-and-burn system and a plot on secondary forest. The project is located in the municipality of Igarapé-Açu, at Bragantina Region, northeastern of Para state. The soil is ultisol (latossolo yellow). The results of this report showed that the largest eflux of CO₂ were measured in rainy period. In the dry period of this study, the eflux of CO₂ on secondary forest was higher than that of other plots. During the rainy period, there was not difference among the plots. The organic carbon and total carbon was higher in the mulched plot (up to 10 cm of depth) then in the burned plot and in the secondary forest (preliminary results). In none of plots was found relation between microbial metabolism (qCO₂) and the amount of total carbon in the soil, between qCO₂ and the amount of carbon in the microbial biomass of soil (C_{BMS}) and between the amount of C_{BMS} and amount of total carbon in the soil. Just the secondary forest presented relation between C_{BMS} and water filled pore percent (WFP). In all the plots, there were significant relation between qCO₂ and WFP percent. The results of theses relation show that, in the plots of this study, the microbial metabolism suffers greater influences of the alterations of moisture than about alterations in carbon availability. It is possible say too, that the variation in amount of microorganism (C_{BMS}) had not occurred due changes in moisture (in the parcels under mulching and under burning) and neither due change in the amount of carbon (in all the parcels of this study). In this study, in the mulched plot, that fallow mulched offered no protection to the soil. The mulched material had already been integrated into the soil.

Key-words: Change land use; soil respiration; carbon; slash-and-burn; slash-and-mulch.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 -	Localização do município de Igarapé-Açu. Adaptado da apresentação de Tatiana Sá.....	25
FIGURA 02 -	Balanco entre a precipitação e a evaporação de água em Igarapé-Açu (2000-2007). Fonte: EMBRAPA Amazônia Oriental – Laboratório de climatologia.....	26
FIGURA 03 -	Representação esquemática da distribuição dos anéis para medidas de efluxo de CO ₂ nas parcelas sob o sistema de trituração, sob o sistema de queima e capoeira.	27
FIGURA 04 -	Ilustração de um dos anéis de PVC instalado no solo das parcelas sob trituração, queima e capoeira. Estes anéis serviram de base para câmara do analisador EGM-4, que analisou o fluxo de CO ₂ do solo.....	29
FIGURA 05 -	Procedimento de coleta de amostras do solo para análise da densidade: Trincheira para coleta de amostras de solo (A) e retirada de amostra do solo (B).	31
FIGURA 06 -	Ilustração do processo de análise do fluxo de CO ₂ do solo.....	34
FIGURA 07 -	Regressão linear do carbono da biomassa microbiana do solo em relação à porcentagem de poros do solo preenchidos por água - na parcela sob trituração, sob queima e sob capoeira.	56
FIGURA 08 -	Regressão linear do carbono da biomassa microbiana do solo em relação à porcentagem de carbono total no solo - na parcela sob trituração, sob queima e sob capoeira.	58
FIGURA 09 -	Regressão linear do quociente metabólico em relação à porcentagem de carbono total no solo - nas parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira.	61
FIGURA 10 -	Regressão linear do quociente metabólico em relação à quantidade de carbono da biomassa microbiano no solo - na parcela sob trituração, sob queima e sob capoeira.	63
FIGURA 11 -	Regressão linear do quociente metabólico em relação à porcentagem de poros preenchidos por água na parcela sob trituração, sob queima e sob capoeira.	64
FIGURA 12 -	Regressão linear entre o efluxo de CO ₂ e a temperatura do solo na parcela sob trituração, sob queima e sob capoeira.	70
FIGURA 13 -	Regressão linear entre o efluxo de CO ₂ e a porcentagem de poros preenchidos por água (PPA) na parcela sob trituração, sob queima e sob capoeira . O efluxo superficial de CO ₂ , emitido pelo solo, foi relacionada a PPA nas profundidades de 0 a 5, 5 a10, 10 a 20 e 20 a 30 centímetros.	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 -	Histórico das práticas agrícolas no projeto experimental, na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (Oswaldo Kato, comunicação pessoal).....	28
TABELA 02 -	Comparação da quantidade de biomassa seca das folhas e dos ramos coletados sobre o solo entre as parcelas sob trituração, sob queima e capoeira.....	41
TABELA 03 -	Comparação da porcentagem de carbono total no solo entre as parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira - em julho de 2007, setembro de 2007 e janeiro de 2008 - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.....	43
TABELA 04 -	Comparação da porcentagem de carbono total no solo entre as parcelas sob trituração e sob queima - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm – reunindo dados coletados nos meses de junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008.....	44
TABELA 05 -	Comparação da porcentagem de carbono total do solo entre as profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm - nas parcelas sob trituração e sob queima, nas profundidades – reunindo dados coletados em junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008.....	45
TABELA 06 -	Comparação da densidade do solo entre as parcelas sob trituração, sob queima e capoeira - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.....	46
TABELA 07 -	Estoque e carbono em diferentes usos da terra na Amazônia brasileira. Adaptado de Palm et al., 1996.....	47
TABELA 08 -	Comparação da porcentagem de carbono orgânico no solo entre as parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm - reunindo dados coletados em setembro de 2007 e janeiro de 2008.....	48
TABELA 09 -	Comparação da porcentagem de carbono orgânico no solo entre as profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm - nas parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira - reunindo dados coletados em setembro de 2007 e janeiro de 2008.....	49
TABELA 10 -	Comparação da porcentagem de poros do solo preenchidos por água (PPA%) entre as profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm - nas parcelas sob trituração, queima e capoeira - em julho de 2007, setembro de 2007 e janeiro de 2008.....	50
TABELA 11 -	Comparação da porcentagem de poros do solo preenchidos por água (PPA%) entre as parcelas sob trituração, queima e capoeira - em julho de 2007, setembro de 2007 e janeiro de 2008 - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.....	51
TABELA 12 -	Comparação da quantidade de carbono da biomassa microbiana no solo entre os meses coletados (junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008), nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm - nas parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira.....	53
TABELA 13 -	Comparação da quantidade de carbono da biomassa microbiana no solo entre parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira – em junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008 - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.....	55
TABELA 14 -	Comparação da quantidade de quociente do metabolismo microbiano (qCO ₂) no solo entre os meses coletados (junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008) - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm - nas parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira.....	59
TABELA 15 -	Efluxos de CO ₂ em diferentes usos da terra na região tropical.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C_{BMS}	Carbono da biomassa microbiana do solo
CH_4	Metano
CO_2	Dióxido de carbono
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEE	Gases do efeito estufa
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de mudanças climáticas)
NO	Óxido nítrico
N_2O	Óxido nitroso
O_3	Ozônio
OH	Hidroxila
PPA	Poros do solo preenchidos por água
PVC	Polivinilcarbono
qCO_2	Quociente metabólico microbiano
RBS	Respiração Basal do Solo
SHIFT	Studies of Human Impacts on Forest and Floodplains in the Tropics (Estudos de impactos humanos nas florestas e várzeas dos trópicos).
TRITUCAP	Trator que tritura capoeira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3	ELEMENTOS TEÓRICO.....	20
3.1	SISTEMA DE CORTE E QUEIMA.....	20
3.2	EFEITO ESTUFA E O AQUECIMENTO GLOBAL.....	22
3.3	GASES DO EFEITO ESTUFA EMITIDOS PELO SOLO.....	23
4	METODOLOGIA.....	25
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	25
4.2	HISTÓRICO DA ÁREA	27
4.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	29
4.4	DENSIDADE DO SOLO.....	30
4.5	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO.....	32
4.6	TEMPERATURA DO SOLO	34
4.7	EFLUXO DE CO ₂	34
4.8	COLETA DE SERRAPILHEIRA.....	36
4.9	COLETA E PREPARAÇÃO DE SOLO	36
4.9.1	Quantificação da biomassa microbiana do solo.....	37
4.9.2	Quantificação do carbono total	38
4.9.3	Quantificação do carbono orgânico.....	38
4.9.4	Quantificação do quociente metabólico microbiano do solo.....	38
4.10	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1	ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE SERRAPILHEIRA SOBRE O SOLO.	41
5.2	CARBONO NO SOLO.....	42
5.3	PORCENTAGEM DE POROS DO SOLO PREENCHIDOS POR ÁGUA....	49
5.4	ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO.....	52
5.5	RELAÇÃO DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO E A PORCENTAGEM DE POROS DO SOLO PREENCHIDOS POR ÁGUA.....	55
5.6	RELAÇÃO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO E A PORCENTAGEM DE CARBONO TOTAL DO SOLO.....	57
5.7	QUOCIENTE METABÓLICO MICROBIANO.....	58
5.8	RELAÇÃO ENTRE QUANTIDADE DE CARBONO TOTAL E O qCO ₂ NO SOLO.....	60
5.9	RELAÇÃO ENTRE qCO ₂ NO SOLO E A QUANTIDADE DE CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA	62
5.10	RELAÇÃO ENTRE qCO ₂ E POROS DO SOLO PREENCHIDOS POR ÁGUA.....	64
5.11	EFLUXO DE CO ₂ EMITIDO PELO SOLO.....	66
5.12	RELAÇÃO ENTRE EFLUXO DE CO ₂ E UMIDADE DO SOLO.....	69

5.13	RELAÇÃO ENTRE O EFLUXO DE CO ₂ E A TEMPERATURA DO SOLO....	71
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	73
	REFERÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

Estudos realizados na Zona Bragantina, nordeste do estado do Pará, mostram a insustentabilidade do sistema de corte e queima devido à diminuição do tempo de regeneração da floresta secundária (MARCKENSE et al., 1996; METZGER, 2002).

Tradicionalmente, os ciclos de cultivo duravam um ano e meio e a fase de pousio era de seis a dez anos. Após a construção da rodovia Belém-Bragança, o rápido crescimento populacional e a progressiva interação com o mercado provocaram o encurtamento do pousio. Desta forma - em um curto período - a floresta secundária (localmente conhecida como capoeira) não reacumula os nutrientes perdidos pelo sistema de corte e queima. Este cenário gerou diminuição da fertilidade do solo e obrigou muitos produtores a venderem suas terras para grandes proprietários de culturas permanentes ou de gado (HURTIENNE, 2006).

Para restaurar a sustentabilidade da atividade agrícola na Zona Bragantina, o projeto de cooperação Brasil-Alemanha conhecido como SHIFT-Capoeira (um dos componentes do Programa SHIFT-Studies of Human Impacts on Forest and Floodplains in the Tropics) tem recomendado a substituição do sistema de corte e queima pelo sistema de trituração. Neste novo sistema, a capoeira é cortada e triturada por um trator adaptado (TRITUCAP) e o material triturado é deixado como cobertura sobre o solo (KATO, 1998).

A proposta desta técnica é manter a matéria orgânica sobre o solo, assegurando liberação lenta e contínua de nutrientes. Esta técnica, também, aumentaria a retenção de água, reduziria o aquecimento, a lixiviação, a erosão do solo e a germinação de vegetação invasora. O sistema de trituração, também, possibilita que o agricultor prolongue o período de cultivo e permite o plantio durante o período chuvoso. Sob o sistema de corte e queima, a vegetação cortada necessita secar para que o fogo consiga se propagar e não seja extinto antes da completa combustão do material orgânico. No sistema de

trituração, o TRITUCAP pode triturar a floresta secundária sobre solo seco e sobre solo úmido (KATO, 1998).

Além da substituição da queima pela trituração, o SHIFT-Capoeira sugere que a capoeira seja enriquecida com árvores leguminosas de crescimento rápido para incrementar a biomassa e a entrada de nitrogênio durante o período de pousio (KATO, 1998). As leguminosas, devido às relações de simbiose com rizobactérias, absorvem nitrogênio presente na atmosfera (N_2) e fixam este em sua biomassa (SCHLESINGER, 1997).

Segundo Davidson et al. (2004), a recuperação da capoeira é limitada pela concentração de nitrogênio e fósforo. Assim, o enriquecimento com leguminosas possibilita uma melhor recuperação de nutrientes na biomassa vegetal da capoeira - diminuindo problemas com degradação ambiental da área.

Além disso, o acúmulo de biomassa vegetal triturada sobre o solo pode diminuir as emissões de gases do efeito estufa. O aumento da concentração desses gases na atmosfera terrestre tem provocado o aquecimento global e mudanças climáticas. Essas mudanças têm potencial para provocar aumentar a frequência de enchentes, secas e ciclones tropicais; diminuir a produção agrícola; extinguir de espécies e destruir ecossistemas (Quarto relatório do IPCC, 2007).

Devido os prejuízos ambientais e sociais das mudanças climáticas, existe um interesse mundial em mitigar as emissões de gases do efeito estufa. O estudo sobre a biogeoquímica do carbono no solo sob diferentes usos da terra pode auxiliar no processo de redução das emissões desses gases. Isso porque esse tipo estudo é capaz de identificar práticas capazes de acumular carbono e identificar os fatores que mitigam a emissão de dióxido de carbono no solo – contribuindo para um manejo com menor impacto negativo sobre o meio ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Analisar os processos biogeoquímicos do carbono no solo em sistemas de diferentes usos da terra: sistema de queima, sistema de trituração e floresta secundária na Amazônia Oriental.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os efluxos de dióxido de carbono na interface solo-atmosfera, nas parcelas sob diferentes usos da terra.

- Analisar a quantidade de serrapilheira sobre o solo, quantidade de carbono e carbono da biomassa microbiana do solo nas parcelas sob diferentes usos da terra.

- Avaliar parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo em diferentes sistemas de usos da terra e sua relação com o efluxo de dióxido de carbono na interface solo-atmosfera.

3 ELEMENTOS TEÓRICOS

3.1 SISTEMA DE CORTE E QUEIMA

No sistema de corte e queima existe alternância entre períodos de cultivo e de pousio. O período de cultivo dura de 1.5 a 2 anos e o tempo de pousio depende da necessidade do agricultor. O crescimento da vegetação, durante o pousio, repõe os nutrientes e controla a proliferação de plantas invasoras (SOMMER et al., 2004). A vegetação que cresce durante o pousio forma uma floresta secundária, também conhecida como capoeira. Após o pousio, a capoeira é cortada e queimada a fim de preparar a terra para um novo período de cultivo (KATO, 1998).

A utilização do fogo, na preparação da terra, apresenta vantagens e desvantagens. Entre as vantagens podem ser citadas:

1. O fogo é uma ferramenta de baixo custo e que exige pouca mão-de-obra. Estas vantagens são essenciais para os pequenos agricultores da Amazônia, que possuem restrição de recursos financeiros, têm sua produção caracterizada pela mão-de-obra familiar, enfrentam a baixa qualidade do solo e a baixa rentabilidade agrícola (NEPSTAD et al., 1999, NEPSTAD et al., 2001).

2. Enriquecimento temporário do solo. As cinzas que ficam sobre o solo, após a queimada, são ricas em nutrientes (GIARDINA et al., 2000).

3. Controle de pragas e doenças. A queima ajuda na redução de doenças que poderiam prejudicar a produção, e reduz o crescimento das plantas invasoras. O fogo destrói grande parte das sementes nos roçados, diminuindo o trabalho de capina (NESPTAD et al., 2001).

Algumas desvantagens são:

1. Perda de elementos no solo. Durante a queima, grande parte do carbono, nitrogênio e fósforo armazenados na vegetação é perdida por volatilização e transferência de partículas de cinza (MARCKENSEN et al., 1996). Uma menor parte é perdida após a queima, pelo processo de lixiviação (SOMMER et al., 2004). Estudos no município de Igarapé Açu - mostraram que

a queima da capoeira provoca a perda de 94-97% do carbono, 96-98% de nitrogênio, 40-70% de cátions K, Mg e Ca, além de 63-48% de fósforo (SOMMER et al., 2004). A baixa concentração de nitrogênio e fósforo no solo promove baixa produtividade agrícola e pode limitar o crescimento da floresta secundária - comprometendo a restauração dos nutrientes durante o período de pousio (DAVIDSON et al., 2007).

2. Prejuízos com relação à micro e mesofauna do solo. Estes organismos decompõem a matéria orgânica, disponibilizando nutrientes às plantas e promovendo aeração do solo (NESPTAD et al., 2001). Yeager et al., 2005 encontraram diminuição da biomassa microbiana do solo, nos primeiros centímetros de profundidade. A mesofauna do solo também é drasticamente afetada pela queimada EMBRAPA (1998).

3. Dificuldades de controle de plantas invasoras após vários ciclos de queima. Quando uma mesma área é queimada várias vezes, aparecem plantas invasoras que são difíceis de controlar manualmente (NESPTAD et al., 2001).

4. Existem ainda os prejuízos sociais. Quando o fogo escapa, ele pode destruir cercas, currais, casas e outros bens, provocar brigas entre vizinhos e destruir áreas de florestas que são utilizadas pelas populações tradicionais para caça e extrativismo. Nesta situação, os incêndios provocam maiores prejuízos para as comunidades tradicionais, que utilizam a floresta para subsistência (NEPSTAD et al., 1999; NESPTAD et al., 2001).

5. Contribuem também com emissões significativas de óxido nítrico (NO). Este gás é um dos gases envolvidos na produção fotoquímica do ozônio (O₃) na troposfera. Durante a queimada de biomassa na Amazônia a concentração de ozônio varia de 60-90 ppb (McCLAIM et al., 2001). As altas concentrações de O₃ podem ser danosas à floresta não queimada, a milhares de quilômetros das áreas queimadas, pois o ozônio danifica os estômatos das folhas (ANDREAE et al., 2002).

6. As queimadas também provocam doenças respiratórias e podem suprimir a precipitação na região ou alterar padrões de precipitação na região (ARTAXO et al., 2005).

7. As queimadas são uma significativa fonte global de vários gases de efeito estufa. Durante a queima são liberados gases como dióxido de carbono

(CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), que agravam a tendência de aquecimento global (NEPSTAD et al., 1999).

3.2 EFEITO ESTUFA E O AQUECIMENTO GLOBAL

A atmosfera da Terra absorve apenas 24% da radiação solar que passa por ela. Os 76% restantes chegam à superfície da Terra e causam o aquecimento do solo, água, vegetação e ar adjacente (AYOADE, 2004). Como todo corpo com temperatura acima de zero Kelvin, a superfície da Terra emite radiação. Devido à Terra ser muito mais fria do que o Sol, ela emite radiação em ondas de comprimento longo (com baixa quantidade de energia) - na porção infravermelha do espectro (GRAEDEL e CRUTZEN,1993). Esta radiação também é chamada de radiação termal, energia térmica ou calor (FLORENZANO, 2002). O sol emite radiação com comprimento máximo de 0,74 μm, enquanto a maior parte da radiação emitida pela Terra esta na faixa espectral de 4 a 100 μm, com um máximo em torno de 10 μm (AYOADE,2004).

A atmosfera é composta basicamente de nitrogênio (78%), oxigênio (20,9%) e argônio (0,9%). Estes três gases formam a maior parte – mais de 99,95% - do ar que respiramos. O restante dos gases que compõem esta mistura são chamados de gases traço (FLANNERY,2007).

Os gases nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂) (constituídos por dois átomos) e argônio (constituído por um átomo) não conseguem absorver a radiação infravermelha e nem a radiação solar no comprimento de onda visível. Conseqüentemente, estes gases não aquecem a atmosfera. No entanto, alguns gases traços denominados de gases do efeito estufa (GEE) podem absorver o calor irradiado pela superfície da Terra, porque suas moléculas vibram na mesma frequência que a radiação infravermelha (LOVELOCK, 2006 a).

A energia dos fótons infravermelhos é insuficiente para causar mudanças químicas. A sua absorção por GEE aumenta a vibração interna e a energia de rotação destes gases. Este excesso de energia é transferido para a atmosfera como energia cinética pela colisão de moléculas. A emissão de radiação

térmica, que em grande parte retorna à superfície terrestre, envolve um processo de transição entre níveis de energia de rotação e vibração. Esta transição radiativa requer uma mudança no momento dipolar da molécula. Apenas as moléculas com três ou mais átomos possuem momento dipolar. Por isso não encontramos GEE diatômicos ou monoatômicos (LOVELOCK,2006 b).

Este mecanismo de efeito estufa mantém a Terra aquecida. Sem os GEE, a Terra seria 33°C mais fria e provavelmente incompatível com a vida (LOVELOCK ,2006a). Por outro lado, o incremento antropogênico dos GEE tem provocado um aumento na absorção de calor - levando ao aquecimento global (IPCC/ONU, 2007). Esse aquecimento, por sua vez, exerce uma pressão sobre o sistema climático da Terra e pode levar a uma mudança climática brusca. Mudanças deste tipo são, sem dúvida, um risco para a sobrevivência de diversas espécies (FLANNERY,2007).

3.3 GASES DO EFEITO ESTUFA EMITIDOS PELO SOLO

Os solos das florestas tropicais têm participação significativa na dinâmica de processos químicos e físicos da atmosfera, uma vez que são fontes e sumidouros de vários GEE: (1) dióxido de carbono (CO_2); (2) metano (CH_4) e; (3) óxido nitroso (N_2O) (SOTTA et al., 2004; MOSIER et al., 2004; RAICH e SCHLENSIGER,1992; YIM et al., 2002).

A conversão de florestas tropicais em áreas agricultura pode modificar profundamente os estoques de carbono do solo e a dinâmica de emissão de GEE. A conversão de floresta em cultivo agrícola pode provocar a perda aproximada de 22% do carbono no solo (MURTY et al., 2002), e a maior parte das perdas é devida à oxidação da matéria orgânica em CO_2 e liberação para a atmosfera (SCHLESINGER,1997). Além disso, o uso de fertilizantes em áreas agrícolas pode aumentar a produção de N_2O e diminuir a oxidação de CH_4 no solo (HÜTSCH, 2001; SPARKS, 2001).

O relatório do IPCC 2001 informa que as atividades agropecuárias contribuem com 20% das emissões de CO_2 , 50 % de N_2O e 70% de CH_4 . Fearnside (2002) afirma que o aumento da emissão GEE devido o

desmatamento e conversão de floresta em área sob atividade agropecuária é maior que os as estimativas oficiais sugerem. Isso porque as estimativas oficiais são subestimadas em um fator de três, devido à negligência em contabilizar as emissões posteriores à queima (quando a decomposição tem um papel de alta significância).

O impacto da atividade agrícola sobre a emissão de GEE é tão relevante que Ruddiman (2005) sugere que práticas agrícolas - por si só - teriam sido responsáveis pelo início do aumento da temperatura global à 8 mil anos atrás. Ele sugeriu que o aquecimento global teve início muito antes do começo das atividades associadas à queima do carvão e à industrialização. Robertson et al. (2000) também afirmaram que a utilização do solo para a agricultura influencia significativamente a emissão de gases do efeito estufa e o aquecimento global.

Depois do vapor de água, o CO₂ é o gás de efeito estufa que mais contribui para o aquecimento global (HARTMANN, 1994). O CO₂ não é reativo com nenhum outro gás na atmosfera (SCHLESINGER, 1997). O seu tempo de vida na atmosfera é estimado em 50-2000 anos (KHALIL, 1995). Devido a este longo tempo de residência, as emissões de CO₂ são significantes para o aquecimento global no futuro (HANWANT, 1995).

O CO₂ é um dos GEE mais estudados por ser um gás com alta taxa de emissão antropogênica, ter forte influência na biosfera e participar de três grandes processos metabólicos na natureza: (1) fotossíntese, realizada pelos organismos vegetais, bactérias fotossintetizantes, algas e plantas, que convertem o CO₂ atmosférico em carboidratos; (2) respiração, processo antagônico ao anterior, em que os carboidratos são oxidados para liberação de CO₂ como produto final - realizada por organismos heterótrofos, animais e também pelos vegetais e; (3) decomposição, processo similar à respiração em que a matéria orgânica é degradada por processos bioquímicos resultando na liberação de CO₂ para a atmosfera (SCHLESINGER, 1997).

O CO₂ produzido no solo é denominado de respiração do solo, sendo oriundo da respiração de raízes e de organismos vivos, da decomposição sob condição aeróbica e, em menor proporção, da oxidação química de compostos carbônicos (BOWDEN et al., 1992; NORMA e VERMA, 1992; RAICH e SCHLENSIGER, 1992).

O efluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo é um dos principais componentes do ciclo global do carbono (RAICH e SCHLENSIGER, 1992; YIM et al., 2002), contribuindo com cerca de 50% do carbono que compõem a respiração total do ecossistema (WAGAI et al.,1998; ROBERTS, 2000). Segundo Gash et al.,(1996) o CO₂ produzido nos solos de florestas tropicais úmidas pode representar mais de 80% de todo CO₂ emitido pelo ecossistema.

Como o solo armazenar, em média, duas ou três vezes mais carbono que a atmosfera, mudanças que alterem a respiração do solo, e/ou processos microbianos no solo, poderão fornecer uma fonte significativa de carbono para atmosfera, na forma de CO₂ (DAVIDSON e TRUMBORE,1995).

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido em uma fazenda experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Esta fazenda localiza-se no município de Igarapé-Açu, na região Bragantina, nordeste do estado do Pará – Brasil, com coordenadas geográficas de 1º 0,7'41'' de latitude sul e 47º 47'15'' de longitude oeste, distando aproximadamente 110 km de Belém, a capital do estado (Figura 1).

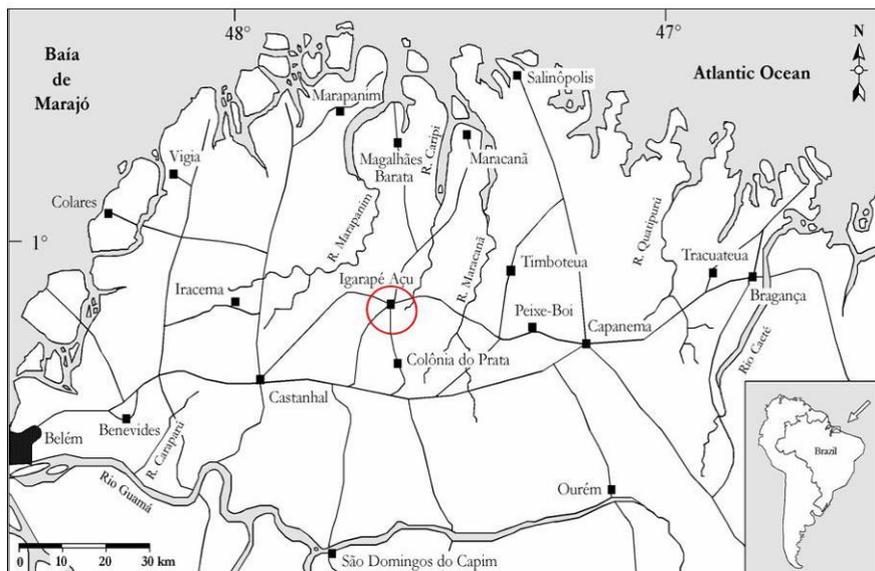


FIGURA 1 - Localização do município de Igarapé-Açu. Adaptado da apresentação de Tatiana Sá.

Pela classificação de Köppen, o clima da região é quente úmido (Am). A média anual da temperatura varia entre 25° C e 27° C. A precipitação média anual é de aproximadamente 2500 mm, sendo que o período de maior precipitação ocorre entre os meses de fevereiro e abril e o de menor precipitação de setembro a novembro (KATO, 1998).

Quanto ao balanço entre a precipitação e a evaporação, existe déficit do final de julho ao início de novembro – como pode ser visto na Figura 2.

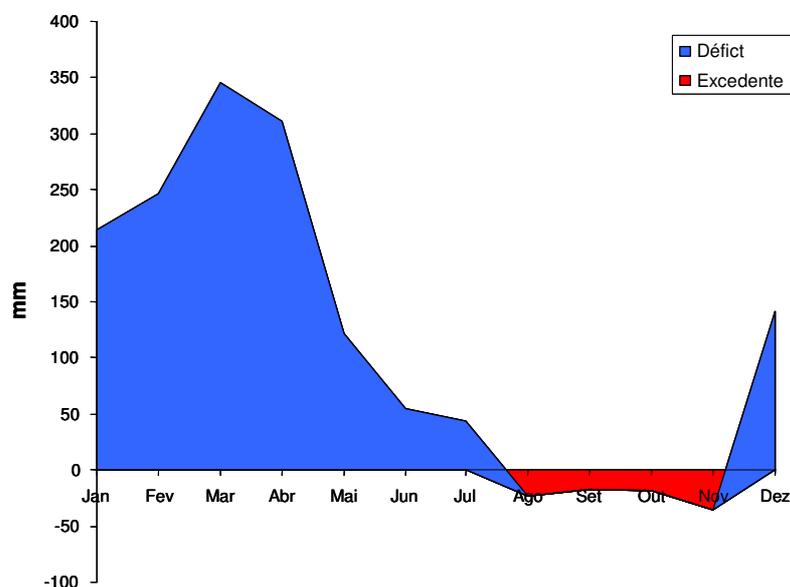


FIGURA 2 - Balanço entre a precipitação e a evaporação de água em Igarapé-Açu (2000-2007). Fonte: EMBRAPA Amazônia Oriental – Laboratório de climatologia.

A região apresenta relevo plano, suavemente ondulado e solo originário de rochas sedimentares da formação Barreiras, do período Terciário e Quaternário. O solo é classificado como latossolo amarelo (KATO, 1998). A textura é arenosa na superfície e argilo-arenosa nas camadas mais profundas. (SOMMER et al., 2004).

Atualmente, a cobertura vegetal da região é formada por fragmentos de floresta secundária, de plantações de mandioca, milho, feijão, arroz, assim como área de pastagens e de plantações de árvores de castanha o Pará, dendê, coco, manga, laranja e seringueira (VIEIRA, 2003).

4.2 HISTÓRICO DA ÁREA

Em 2001 a área de estudo era constituída por uma floresta secundária de aproximadamente 23 anos de existência. A área foi dividida em três parcelas adjacentes: uma delas foi destinada ao sistema de corte e trituração, outra ao cultivo tradicional do sistema de corte e queima, e uma terceira foi destinada à floresta secundária, que foi preservada (Figura 3). Cada parcela possui dois hectares.

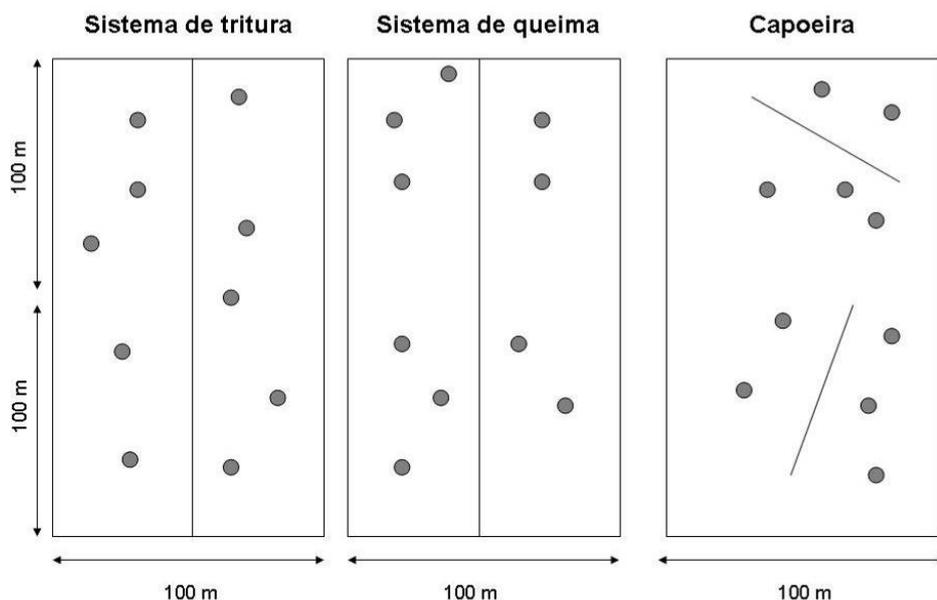


FIGURA 3 - Representação esquemática da distribuição dos anéis para medidas de efluxo de CO_2 nas parcelas sob o sistema de trituração, sob o sistema de queima e capoeira.

Os períodos de cultivos e pousio, assim como o manejo e cultivos agrícolas são descritos na Tabela 1.

TABELA 1 - Histórico das práticas agrícolas no projeto experimental, na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (Oswaldo Kato, comunicação pessoal).

Período	Parcela sob trituração		Parcela sob queima	
	Ações	Observações	Ações	Observações
2001	Set		Derrubada da capoeira	
	Out		Queima	
	Nov./Dez	Trituração da capoeira		
2002	Jan/Fev	Plantio: milho e mandioca	Plantio: milho e mandioca	Sem uso de fertilizante
	Mai/Jun	Colheita do milho	Colheita do Milho	

		Plantio de leguminosas: Acácia Mangia e Taxí	Espaçamento 2 x 2 m		
2003	Fev	Colheita da mandioca		Colheita da mandioca	
	Mar	Pousio		Pousio	
2004	Dez	Trituração da capoeira			
2005	Jan/Fev	Plantio: milho e mandioca	Fertilização 10 dias após plantio. 60_60_30 NP ₂ O_K ₂ O/Hectare)		
	Mai	Colheita do milho			
	Jun/Jul	Colheita da mandioca Plantio de feijão e mandioca	Fertilização 10 dias após plantio. (50_50_30 NP ₂ O_K ₂ O/Hectare)		
	Out	Colheita do feijão			
2006	Nov			Derrubada da capoeira	
	Dez			Queima	
2007	Jan/fev			Plantio: milho e mandioca	Sem uso de fertilizante
	Mar	Plantio de leguminosas: Ingá e Taxí	Leguminosas: Espaçamento 2 x 2 m		
	Maio			Colheita do milho	
	Jul	Colheita da mandioca			
	Agosto	Pousio			

4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Todas as amostragens descritas neste trabalho foram realizadas nas três parcelas em um único dia.

As medidas de efluxo de CO₂, umidade e temperatura do solo foram realizadas uma vez por mês - de outubro de 2007 a abril de 2008. Em dezembro, foram realizadas medidas no início e no fim do mês. Amostras do solo foram coletadas e três meses (junho/2007, setembro/2007 e janeiro/2008) durante o experimento.

Para as medidas de fluxo de CO_2 , umidade e temperatura do solo foi estabelecido um transecto em cada parcela do estudo. Nas parcelas sob sistema agrícola foi estabelecido um transecto no centro de cada parcela. Na parcela sob capoeira foi escolhido dois locais sem visíveis impactos de trilhas, em cada um destes locais foi estabelecido um transecto. Os anéis, que servem de base para as câmaras que medem o fluxo de CO_2 (Figura 4), foram instalados a aproximadamente 2 m de distância em relação ao transecto.



FIGURA 4 - Ilustração de um dos anéis de PVC instalado no solo das parcelas sob trituração, queima e capoeira. Estes anéis serviram de base para câmara do analisador EGM-4, que analisou o fluxo de CO_2 do solo.

Foram instalados dez anéis, em cada parcela, que permaneceram no solo até o fim do estudo. A serrapilheira presente dentro dos anéis não foi retirada. A vegetação viva foi removida do interior do anel. Em todos os procedimentos, realizados na área dos anéis, procurou-se evitar perturbação do solo.

O PVC foi o material escolhido para a confecção dos anéis porque não reage com CO_2 , é durável e apresenta menor aumento da temperatura no interior da câmara com relação a outros materiais (COSTA et al., 2006).

As amostras de solo e serrapilheira também foram realizadas a aproximadamente 2 metros de distâncias do transecto, no espaço entre a posição de um anel e o seguinte. A distância entre um anel e o outro era, em média, 10 metros.

No primeiro mês de amostragem de solo e serrapilheira (junho de 2007, período de transição entre o período chuvoso e o seco), a parcela sob trituração encontrava-se com cultivo de mandioca e área sob queima havia sido queimada há sete meses (e já havia ocorrido a colheita de milho e mandioca). No mês de setembro de 2007 (período seco), na parcela sob trituração estava em pousio (mandioca tinha sido colhida em julho de 2007) e na parcela sob queima estava crescendo o cultivo de mandioca. Em janeiro de 2008 (período de transição entre o período seco e o chuvoso), a capoeira da parcela sob trituração estava com aproximadamente dois metros de altura e o cultivo de mandioca da parcela sob queima estava com aproximadamente um metro e meio de altura.

Em cada coleta de solo foram realizadas seis amostras compostas, em cada parcela deste estudo, na profundidade de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Este solo foi utilizado para a análise de parâmetros químicos e biológicos do solo como: concentração de carbono total, carbono orgânico, carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quantidade de serrapilheira.

4.4 DENSIDADE DO SOLO

Em setembro de 2007, foram abertas trincheiras com aproximadamente cinquenta centímetros de profundidade. Em cada uma das parcelas havia seis trincheiras. O solo foi coletado no perfil da trincheira nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm. Em cada trincheira foram coletadas três amostras de solo para cada profundidade. As amostras de solo foram coletadas em anéis de volume conhecido ($98,125 \text{ cm}^3$). Os anéis possuíam bordo bivelado para evitar a compactação do solo (Figura 5).



FIGURA 5 - Procedimento de coleta de amostras do solo para análise da densidade: Trincheira para coleta de amostras de solo (A) e retirada de amostra do solo (B).

A equação 1 foi utilizada para calcular a densidade do solo.

$$D = \frac{m}{V}$$

Equação (1)

Onde:

D é a densidade do solo (mg cm^{-3})

m é a massa do solo contida dentro do anel (mg), depois de seco em estufa (105°C por 72 horas) e

V é o volume do anel (cm^{-3}).

4.5 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

Realizou-se determinação da umidade do solo para relacionar com o fluxo de CO_2 e para relacionar com os parâmetros químicos e biológicos do solo.

Para a análise de umidade do solo, relacionada ao efluxo de CO_2 do solo, as amostras de solo (na profundidade de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm) foram coletadas próximas aos anéis de leitura do efluxo de CO_2 . Cada leitura de efluxo foi relacionada com a umidade do solo coletada nas proximidades de

cada um dos anéis. O solo coletado foi armazenado em frascos hermeticamente fechados.

A umidade do solo utilizada para análise da relação da umidade do solo com parâmetros químicos e biológicos deste, foi separada de uma pequena porção do solo fresco coletado conforme será descrito no tópico 4.9.

Em ambos os casos citados acima, o solo fresco foi pesado no laboratório (em balança digital com precisão de quatro casas decimais) e levado à estufa (105°C) por 72 horas. Depois de retirado da estufa, o solo foi levado à um recipiente fechado a vácuo. Após atingir temperatura ambiente, o solo foi novamente pesado. A porcentagem de poros preenchidos por água foi calculada conforme a equação 2 (WARRICK, 2002).

$$PPA = \frac{UG \times D}{P} \times 100$$

Equação (2)

Onde:

PPA é a quantidade de poros preenchidos por água (%);

UG é a umidade gravimétrica ($\text{g}_{\text{água}} \cdot \text{g}_{\text{solo}}^{-1}$);

D é a densidade do solo seco ($\text{g}_{\text{solo}} \cdot \text{cm}^{-3}$) e

P é a porosidade o solo.

A umidade gravimétrica foi calculada pela equação 3:

$$UG = \frac{S_{fresco} - S_{seco}}{S_{seco}}$$

Equação (3)

Onde:

UG é a umidade gravimétrica ($\text{g}_{\text{água}} \cdot \text{g}_{\text{solo}}^{-1}$).

S_{fresco} é massa de solo fresco (g) e

S_{seco} é massa de solo seco (g).

Foi utilizada a equação 4 para calcular a porosidade do solo (WARRICK,2002):

$$P = \frac{\text{espaço do poro}}{\text{volume aparente}} = \frac{\text{volume vácuo} + \text{volume sólido}}{\text{volume aparente}} - \frac{\text{volume sólido}}{\text{volume aparente}}$$

$$P = 1 - \frac{(\text{volume sólido})(\text{massa do sólido})}{(\text{massa do sólido})(\text{volume aparente})} = 1 - \frac{D}{D_{\text{mineral}}}$$

Equação (4)

Onde:

P é a porosidade do solo .

D é a densidade do solo da amostra (g.cm^{-3}) e

D_{mineral} é a densidade do solo mineral , que é igual a 2.66 g.cm^{-3} .

4.6 TEMPERATURA DO SOLO

Neste estudo as temperaturas do solo foram medidas mensalmente (no período de outubro de 2007 a abril de 2008) para testar sua relação com o efluxo de CO_2 do solo. Durante a leitura da concentração de CO_2 , as medidas da temperatura do solo foram feitas próximas aos anéis, com o sensor de temperatura do EGM-4. O sensor foi introduzido a aproximadamente dois centímetros de profundidade no solo.

4.7 EFLUXO DE CO₂

O efluxo de CO₂ foi medido pelo uso da técnica de câmara estática (MATSON e HARRIS, 1995; VERCHOT et al., 2000). Esta técnica se baseia na medição da variação do gás no interior da câmara disposta sobre uma área em um determinado tempo.

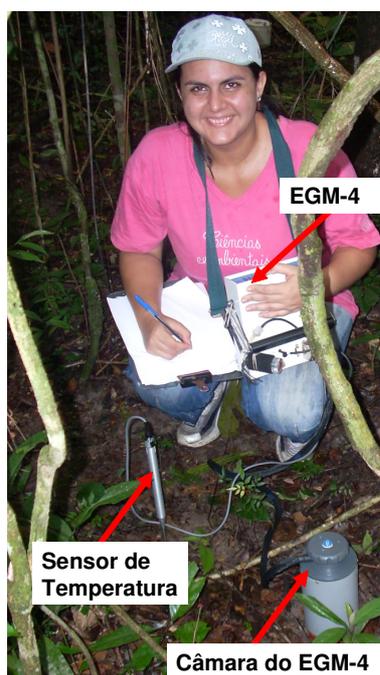


FIGURA 6 - Ilustração do processo de análise do fluxo de CO₂ do solo.

Anéis de onze centímetros de diâmetro foram utilizados como base das câmaras. O analisador de gás infravermelho EGM-4 foi acoplado aos anéis durante a leitura. Este equipamento fornece a leitura imediata da concentração de CO₂ dentro da câmara (Figura 6).

O efluxo de CO₂ foi calculado pela taxa de mudança da concentração, com base na primeira lei de Fick, de acordo com a equação 5:

$$F = \rho \left(\frac{V}{A} \right) \left(\frac{dC}{dt} \right)$$

Equação (5)

Onde:

 F é o efluxo de CO_2 emitido na superfície do solo ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ρ é a densidade do ar ajustada à temperatura do ar no momento da amostragem (mol.m^{-3}), V é o volume interno da câmara acima da superfície do solo (m^{-3}), A é a área superficial do solo encoberta pela câmara (m^{-2}) e $\frac{dC}{dt}$ é a variação da concentração do gás em função do tempo (mol s^{-1}),

ou seja, a declividade da curva de variação de concentração do gás em função do tempo.

A densidade do ar foi calculada segundo a equação 6:

$$\rho = \frac{P}{cT}$$

Equação (6)

Onde:

 ρ é a densidade do ar (mol m^{-3}), P é a pressão (atm), c é a constante universal dos gases ($0,000082 \text{ m}^{-3} \text{ atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) e T é a temperatura do ar (K).

4.8 COLETA DE SERRAPILHEIRA

As coletas de serrapilheira foram realizadas nos meses de junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008. Em cada uma das coletas foram obtidas seis amostras para cada uso da terra. As amostras foram coletadas no interior de um quadrante de 0.25 m².

A serrapilheira que estava na superfície do solo foi armazenada em sacos de papel com identificação. No laboratório, a serrapilheira foi classificada em: folhas e ramos. Após esta seleção, folhas e ramos foram levados à estufa com temperatura em 65°C por 72 horas. Posteriormente, foram pesados em balança digital (com precisão de quatro casas decimais).

4.9 COLETA E PREPARAÇÃO DE SOLO

O solo foi coletado no mesmo dia e local em que foi realizada a coleta da serrapilheira. Na área de 0.25 m², o solo foi amostrado em três pontos. Em cada ponto, o solo foi coletado em quatro profundidades (0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm). As amostras de um mesmo quadrante e na mesma profundidade foram misturadas e armazenadas juntas. Este procedimento foi realizado seis vezes em cada uso da terra. Todas as amostras foram mantidas resfriadas.

No laboratório, as amostras de solo foram peneiradas em malha de 2 milímetros (processo em que foram removidas as raízes) e conservadas na geladeira por até 15 dias. Com o solo fresco, foram realizadas análises de carbono da biomassa microbiana e respiração basal. Depois destas análises, o solo foi seco à sombra em temperatura ambiente.

O solo seco foi macerado e peneirado em malha de 50 milímetros. Após este procedimento, o solo foi colocado em uma estufa (65°C) por 4 dias (Esta temperatura foi utilizada para que o solo não perdesse seu teor de nitrogênio, análise não mostrada neste estudo). Após ser retirado da estufa, o solo foi levado à um recipiente fechado a vácuo. Ao atingir temperatura ambiente, este solo foi utilizado para analisar a quantidade de carbono total e de carbono orgânico.

4.9.1 Quantificação da biomassa microbiana do solo

O carbono da biomassa microbiana foi determinado pelo método de fumigação e extração (VANCE et al., 1987). Clorofórmio foi utilizado como agente fumigante para romper as células microbianas. O carbono intracelular liberado foi recuperado, logo após a fumigação, pelo extrator sulfato de potássio (K_2SO_4) a 0,5M. A determinação do carbono foi realizada por dicromatometria a partir da retirada de uma alíquota do extrato.

O carbono da biomassa microbiana foi calculado segundo a equação 7:

$$C_{BMS} = 2,64 \times (C_{soloF} - C_{soloNF})$$

Equação (7)

Onde:

C_{BMS} é o carbono da biomassa microbiana ($mgC\ kg^{-1}$ solo);

C_{soloF} é o carbono extraído do solo fumigado (g) e

C_{soloNF} é o carbono extraído do solo não-fumigado (g).

4.9.2 Quantificação do carbono total

Um grama de solo seco (macerado e peneirado 50 milímetros) foi colocado no LECO CN-2000, um analisador elementar de carbono, nitrogênio e enxofre que utiliza o método da combustão seca. As amostras são incineradas em um forno de cerâmica com temperatura de $1350^{\circ}C$. Após a incineração, os gases são arrastados até os analisadores de carbono, enxofre e nitrogênio.

4.9.3 Quantificação do carbono orgânico

A análise do carbono orgânico (C_{org}) foi realizada por oxidação via úmida do carbono com uma solução de dicromato de sódio a 0,5M. A quantificação foi realizada por colorimetria (WALCKLEY e BLACK, 1934).

4.9.4 Quantificação do quociente metabólico microbiano do solo

O método para determinar a respiração basal foi baseado na reação do CO_2 emitido pelo solo com o hidróxido de sódio (NaOH) (ALEF e NANNIPIERI, 1995).

Dentro de um frasco hermeticamente fechado foram colocados dois recipientes. Um recipiente com amostra de solo e outro com NaOH a 0,5 M.

Após a incubação de três dias, a quantidade de CO_2 liberada pelo solo foi determinada pelo volume de ácido clorídrico gasto para neutralizar o NaOH, segundo a equação 8 :

$$RBS = \frac{(V_b - V_a) \times M \times 6 \times 100}{P_s \times T} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

RBS é a respiração basal (mg de C- CO_2 .Kg⁻¹ de solo.hora⁻¹);

V_b é o volume, em ml, de ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle, ou seja, que não foi incubada com solo (branco);

V_a é o volume, em ml, de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra;

M é a molaridade exata do HCl;

P_s é a massa do solo seco, em grama, e

T é o tempo de incubação em horas.

A razão da RBS por unidade de carbono da BMS fornece o quociente metabólico dos microorganismos (qCO_2) presentes no solo (EMBRAPA, 2007). Equação 9.

$$qCO_2 = \frac{RBS}{C_BMS \times 10^{-3}}$$

Equação (9)

Onde:

qCO_2 é o quociente metabólico de microorganismos do solo ($mgC - CO_2 \cdot g^{-1}C - BMS \cdot h^{-1}$);

RBS é a respiração basal do solo ($mgC - CO_2 \cdot Kg^{-1}solo \cdot h^{-1}$) e

C_BMS é o carbono da biomassa microbiana ($mgC \cdot Kg^{-1}solo$).

4.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Todos os dados coletados neste estudo foram primeiramente analisados quanto a sua distribuição. Esta análise foi realizada pelo teste de Anderson-Darling. Este teste é indicado em caso em que o número de amostra é pequeno, como é o caso deste estudo. O teste de Anderson-Darling demonstrou que todos dados deste estudo apresentavam distribuição normal, devendo, portanto, ser utilizado teste paramétrico para comparação de médias.

Foi utilizada a análise multivariada (MANOVA) para verificar o efeito da sazonalidade em diferentes profundidades do solo (variável dependentes) sobre cada um dos parâmetros (C_{total} , C_{org} , PPA%, qCO_2 e BMS) nos diferentes usos da terra deste estudo (variáveis independentes). Quando observado algum efeito significativo ($p < 0,05$), foram realizados testes de Tukey.

Para as análises de relação (entre o fluxo de CO₂ e a umidade do solo, fluxo de CO₂ e a temperatura do solo, quociente metabólico microbiano e umidade do solo) foram utilizadas análises de regressões lineares. Para identificar significância da relação foi realizado teste T de Student – a um nível de significância de 5%.

Todos os testes estatísticos foram realizados no programa Statistica para Windows (1999). O resultado dos testes estatísticos e a interpretação destes resultados serão descritas a seguir.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os diferentes usos da terra podem modificar condições físicas, químicas e biológicas do solo. Modificações na umidade, na temperatura e na quantidade de carbono no solo podem alterar o metabolismo dos microorganismos do solo – alterando a dinâmica do carbono no solo e as emissões de gases do efeito estufa do solo para a atmosfera.

Este estudo buscou encontrar diferenças entre as parcelas sob trituração, queima e capoeira, que fossem potencialmente capazes de alterar processos biogeoquímicos do carbono no solo – como pode ser visto a seguir.

5.1 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE SERRAPILHEIRA SOBRE O SOLO

O primeiro parâmetro analisado neste trabalho foi a quantidade de serrapilheira (ramos e folhas mortas) sobre o solo. A decomposição da biomassa vegetal morta é uma fonte de carbono para o solo. A análise da serrapilheira possibilita informações sobre a constância da entrada de carbono

no solo. Além disso, a serrapilheira pode servir de proteção para o solo contra perda de umidade do solo – que também será analisada neste estudo.

Quanto à quantidade de biomassa seca de folhas caídas sobre o solo, em junho de 2007, pode-se dizer que a capoeira apresentou maior quantidade de biomassa do que na parcela sob queima (Tukey $p < 0,05$). A parcela sob trituração não diferiu dos demais usos da terra (Tukey $p > 0,05$). Em setembro de 2007 e em janeiro de 2008, a parcela sob capoeira teve maior quantidade de biomassa de folhas sobre o solo do que a parcela sob trituração (Tukey $p < 0,05$). A parcela queimada não apresentou diferença significativa entre os diferentes usos (Tukey $p > 0,05$). Tabela 2.

TABELA 2 - Comparação da quantidade de biomassa seca das folhas e dos ramos coletados sobre o solo entre as parcelas sob trituração, sob queima e capoeira.

		Biomassa seca sobre o solo (g/m^{-2})		
		Trituração	Queima	Capoeira
Folhas	JUN/07	6.77 ± 4.73^{ab}	6.05 ± 2.19^a	16.60 ± 8.85^b
	SET/07	2.80 ± 3.65^a	13.06 ± 7.33^{ab}	22.80 ± 9.72^b
	JAN/08	11.14 ± 7.84^a	25.68 ± 8.10^{ab}	29.77 ± 12.91^b
Ramos	JUN/07	3.06 ± 2.47^a	3.50 ± 3.71^a	5.20 ± 3.55^a
	SET/07	42.65 ± 21.47^a	12.82 ± 7.04^b	9.88 ± 6.15^b
	JAN/08	35.40 ± 15.54^a	19.70 ± 8.70^b	16.88 ± 10.33^b

*Os números em negrito representam os valores médios e os números após o símbolo \pm representam o desvio padrão ($n=6$). Letras diferentes, em uma mesma linha, representam que existe diferença significativa entre as médias (Tukey $p < 0.05$).

Em nenhum dos meses amostrados a capoeira apresentou menor quantidade de biomassa de folhas sobre o solo do que as outras parcelas deste estudo. Isto indica que a vegetação sobre o solo da capoeira mantém o solo constantemente coberto por uma grande de folhas caídas (quando comparado com as demais parcelas deste estudo). Também não foi encontrada, em nenhum dos meses estudados, diferença significativa na quantidade de folhas sobre o solo da parcela sob queima e sob trituração. Isto sugere que estas parcelas apresentaram mesmo potencial para cobrir o solo com folhas mortas (durante os meses deste estudo).

Quanto à quantidade de biomassa de ramos sobre o solo, em junho de 2007, não houve diferença nos diferentes usos da terra (MANOVA $p > 0,05$). Isto indica que o material da capoeira triturada em 2004 (Tabela 1) já foi decomposto. Portanto, não oferece proteção contra a perda de água do solo para a atmosfera.

Em setembro de 2007 e janeiro de 2008, a parcela sob trituração apresentou maior biomassa de ramos sobre o solo do que a parcela sob queima e a capoeira (Tukey $p < 0,05$). Este resultado pode ser atribuído ao incremento de restos da colheita da mandioca (em junho de 2007) na parcela sob trituração. Toda a biomassa vegetal aérea da mandioca foi cortada e deixada sobre o solo. A parcela sob queima não apresentou diferença quando comparada com a parcela sob capoeira (Tukey $p > 0,05$). Tabela 2.

5.2 CARBONO NO SOLO

O estudo da quantidade de carbono no solo é essencial para o entendimento dos processos biogeoquímicos do carbono no solo. Os compostos carbonados no solo servem de nutriente para os microrganismos do solo. Por este motivo, alterações na quantidade de carbono no solo apresentam o potencial para modificar a dinâmica do carbono no solo. Partindo deste princípio, a análise da quantidade de carbono no solo das parcelas sob trituração, queima e capoeira apresentada a seguir.

Nos meses de junho/2007, setembro/2007 e janeiro/2008 – nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm – foram realizadas amostragens para análise do teor de carbono total no solo sob trituração, sob queima e sob capoeira.

Para as análises de carbono total, cada um dos meses amostrados foi analisado separadamente. Nesta análise, observou-se que em junho/2007 e janeiro/2008 não houve diferença significativa entre as parcelas estudadas em nenhuma das profundidades estudadas (MANOVA $p > 0,05$). Em setembro/2007, a parcela sob trituração apresentou maior teor de carbono total do que a parcela sob queima (na profundidade de 0 a 5 centímetros) e maior do que a parcela sob capoeira (na profundidade de 5 a 10 centímetros) (Tukey $p < 0,05$) – como pode ser visto na Tabela 3.

TABELA 3 - Comparação da porcentagem de carbono total no solo entre as parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira - em julho de 2007, setembro de 2007 e janeiro de 2008 - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.

Carbono total (%)				
	Profundidade	Trituração	Queima	Capoeira
JUN/07	0-5 cm	2,71 ± 1,38 ^a	1,56 ± 0,57 ^a	1,98 ± 0,67 ^a
	5-10 cm	1,97 ± 0,52 ^a	1,47 ± 1,18 ^a	1,35 ± 0,26 ^a
	10-20 cm	1,44 ± 0,34 ^a	1,18 ± 0,23 ^a	1,07 ± 0,12 ^a
	20-30 cm	0,89 ± 0,17 ^a	0,87 ± 0,09 ^a	0,81 ± 0,10 ^a
SET/07	0-5 cm	2,86 ± 0,92 ^b	1,61 ± 0,65 ^a	1,91 ± 0,31 ^a
	5-10 cm	1,87 ± 0,17 ^b	1,56 ± 0,37 ^a	1,33 ± 0,17 ^a
	10-20 cm	1,39 ± 0,11 ^a	1,29 ± 0,24 ^a	1,19 ± 0,17 ^a
	20-30 cm	0,99 ± 0,17 ^a	1,08 ± 0,36 ^a	0,91 ± 0,20 ^a
JAN/08	0-5 cm	2,55 ± 0,86 ^a	1,82 ± 0,28 ^a	3,03 ± 1,61 ^a
	5-10 cm	1,84 ± 0,55 ^a	1,42 ± 0,14 ^a	1,98 ± 0,57 ^a
	10-20 cm	1,20 ± 0,29 ^a	1,09 ± 0,12 ^a	1,38 ± 0,31 ^a
	20-30 cm	0,91 ± 0,22 ^a	0,88 ± 0,09 ^a	1,07 ± 0,37 ^a

* Os números em negrito representam os valores médios e os números após o símbolo ± representam o desvio padrão (n=6). Letras diferentes, em uma mesma linha, representam que existe diferença significativa entre as médias (Tukey p<0.05).

Devido a trituração da capoeira ser a única ação capaz de provocar incremento de carbono na parcela sob trituração (em relação a parcela sob queima) e esta trituração ter ocorrido em dezembro de 2004 (muito antes do início deste estudo, como pode ser observado na Tabela 1), era esperado que - em todos os meses amostrados - o teor de carbono total no solo sob trituração fosse maior do que o do solo sob queima. No entanto, deve-se levar em consideração que a análise estatística foi realizada com seis amostras por parcela (para cada profundidade em cada um dos meses amostrados) e que algumas amostragens apresentaram alta variabilidade espacial (desvios padrão com aproximadamente metade do valor da média). O número de amostras pode ter sido insuficiente para demonstrar diferenças estatísticas entre as parcelas, quanto ao teor de carbono total no solo, em todos os meses amostrados.

Comparando o teor de carbono total no solo (de uma mesma parcela e em uma mesma profundidade) entre os meses estudados, observou-se que as parcelas sob trituração e sob queima não obtiveram diferença significativa (Tukey p>0.05). Assim, foi possível reunir as amostras de todos os meses amostrados de uma mesma parcela e de mesma profundidade (excluindo os pontos extremos identificados pelo SigmaPlot). Posteriormente, comparou-se a parcela sob trituração e sob queima – quanto ao teor de carbono total no solo. Isto possibilitou uma melhor representação do teor de carbono total no solo das parcelas sob trituração e sob queima.

Com a análise descrita acima, foi encontrada diferença significativa entre a parcela sob trituração e a parcela sob queima na profundidade de 0 a 5 e 5 a 10 cm (Tukey $p < 0.05$). Para estas profundidades, a quantidade de carbono total na parcela sob trituração foi maior do que na parcela sob queima. Tabela 4. Portanto, pode-se dizer que as análises preliminares deste estudo indicam que a parcela sob trituração apresenta maior teor de carbono do que a parcela sob queima - até a profundidade de 10 cm.

TABELA 4 - Comparação da porcentagem de carbono total no solo entre as parcelas sob trituração e sob queima - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm – reunindo dados coletados nos meses de junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008.

Profundidades	Carbono total (%)	
	Trituração	Queima
0 a 5 cm	2.70 ± 0.83 ^a	1.65 ± 0.40 ^b
5 a 10 cm	1.86 ± 0.33 ^a	1.47 ± 0.23 ^b
10 a 20 cm	1.32 ± 0.18 ^a	1.18 ± 0.18 ^a
20 a 30 cm	0.93 ± 0.15 ^a	0.91 ± 0.12 ^a

* Os números em negrito representam os valores médios e os números após o símbolo ± representam o desvio padrão (n=18). Letras diferentes, em uma mesma linha, representam que as médias são significativamente diferentes (Tukey $p < 0.05$).

Não foi possível reunir os dados de todos os meses amostrados na parcela sob capoeira porque esta parcela apresentou diferença significativa entre os meses amostrados (Tukey $p < 0.05$).

Com a intenção de aumentar a representatividade das amostras obtidas nas parcelas sob trituração e sob queima para análise de carbono total entre as profundidades estudadas, foram reunidas as amostras de todos os meses amostrados. Este procedimento pôde ser realizado porque as parcelas sob trituração e queima não apresentaram diferença significativa entre os meses estudados, quando considerada uma mesma parcela e uma mesma profundidade.

Na análise descrita acima, a parcela sob trituração apresentou três camadas com diferença significativa de teor de carbono total no solo (0-5, 5-10 e 10-30 cm) e a parcela sob queima apresentou duas camadas (0-10 e 10-30 cm) (Tukey $p < 0.05$). Em ambas as parcelas, não foi encontrada zonas de transição entre as diferentes camadas. Na Tabela 5 é possível perceber que as camadas superficiais apresentaram maior teor carbono total do que as

camadas mais profundas. Isto configura um comportamento característico para o tipo de solo estudado (latossolo) (BERNOUX et al., 1998; SISTI et al. 2004).

TABELA 5 - Comparação da porcentagem de carbono total do solo entre as profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm - nas parcelas sob trituração e sob queima, nas profundidades – reunindo dados coletados em junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008.

Profundidades	Carbono total (%)			
	0 a 5 cm	5 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm
Trituração	2.81 ± 0.94 ^a	1.89 ± 0.42 ^b	1.34 ± 0.27 ^c	0.93 ± 0.18 ^c
Queima	1.66 ± 0.51 ^a	1.48 ± 0.27 ^a	1.19 ± 0.21 ^b	0.94 ± 0.22 ^b

* Os números em negrito representam os valores médios e os números após o símbolo ± representam o desvio padrão (n=18). Letras diferentes, em uma mesma linha, representam que as médias são significativamente diferentes (Tukey p<0.05).

Sabendo que: 1) na profundidade de 0 a 5 e 5 a 10 cm, a parcela sob trituração possui maior quantidade de teor de carbono do que na parcela sob queima e 2) que na parcela sob trituração, o solo na profundidade de 0 a 5 cm é significativamente maior do que na profundidade de 5 a 10 cm. É possível dizer que o incremento de carbono da parcela sob trituração (em relação à parcela sob queima) esta em maior quantidade na profundidade de 0 a 5 centímetros. Sommer et al. (2004) afirma que as perdas de carbono por lixiviação nas parcelas deste estudo são pequenas. Caso a técnica de corte e trituração seja aplicada em área com relevo um pouco inclinado, podem ocorrer grandes perdas de carbono por lixiviação já que carbono encontra-se em uma posição superficial do solo.

Além do teor de carbono total no solo, foi calculado o estoque de carbono total em cada uma das áreas estudadas. A massa de solo, em um hectare até uma profundidade de 30 cm, foi baseada nas amostras de densidade do solo (densidade=massa/volume). A densidade do solo não foi significativamente diferente entre as parcelas estudadas (MANOVA p>0.05), como pode ser visto na Tabela 6. Portanto, não foi necessária nenhuma correção para comparar o estoque de carbono total entre as parcelas. A porcentagem de carbono total de cada uma das profundidades foi multiplicada pela massa de solo correspondente. A somatória do estoque de cada uma das profundidades totalizou o estoque de carbono total em um hectare de área até 30 centímetros de profundidade.

A ausência de diferença significativa na densidade do solo entre as parcelas estudadas, demonstra que não houve alteração estrutural do solo devido os manejos agrícolas realizados nas parcela sob trituração e sob queima (uso de trator e queima, respectivamente).

TABELA 6 - Comparação da densidade do solo entre as parcelas sob trituração, sob queima e capoeira - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.

Profundidade (cm)	Densidade do solo (Kg/dm ³)		
	Trituração	Queima	Capoeira
0 a 5	1.07 ± 0.17 ^a	1.18 ± 0.12 ^a	0.89 ± 0.25 ^a
5 a 10	1.25 ± 0.23 ^a	1.40 ± 0.09 ^a	1.12 ± 0.09 ^a
10 a 20	1.44 ± 0.17 ^a	1.50 ± 0.13 ^a	1.50 ± 0.06 ^a
20 a 30	1.56 ± 0.06 ^a	1.55 ± 0.09 ^a	1.56 ± 0.11 ^a

* Os números em negrito representam os valores médios e os números após o símbolo ± representam o desvio padrão (n=6). Letras iguais, em uma mesma linha, representam que não existe diferença significativa entre as médias (Tukey p>0.05).

O estoque de carbono total contido no solo, até 30 cm de profundidade, foi de aproximadamente 81.22, 71.45 e 89.14 Mg C por hectare - na parcela sob trituração, na parcela sob queima e capoeira, respectivamente. Os estoques de carbonos deste trabalho concordam com a estimativa realizada por Bernoux et al (2002) para a região amazônica. Estoques de carbono no solo em diferentes usos da terra, na Amazônia brasileira, podem ser observados na Tabela 7. Esses cálculos foram realizados com as amostras coletas em janeiro de 2008 e demonstram que a parcela sob trituração armazena aproximadamente 10 Mg C ha⁻¹ mais carbono do que a parcela sob queima. Apesar de este valor ser modesto, Paustian et al (2007) afirmam que uma política de mitigação eficiente deve incluir as modestas contribuições do seqüestro de carbono nos solos agrícolas e que estas contribuições devem ser economicamente eficientes e oferecer benefícios adicionais para a sociedade.

TABELA 7 - Estoque e carbono em diferentes usos da terra na Amazônia brasileira. Adaptado de Palm et al.,1996.

Uso da terra	profundidade	Estoque de carbono Mg C ha ⁻¹	Autor
Foresta	0 a 15 cm	26.6	Cerri et al. 1985
Sistema de queima		21.7	
Capoeira (2 anos de cultivo e 3 de posuio)		21.1	
Floresta	0 a 20	74.5	Luizão et al. 1992
Sistema de queima		75.9	

Pastagem - 1 ano		67.4	
Floresta		58.1	Bonde et al.1991
Pastagem – 2 anos	0 a 20	52.0	
Pastagem – 8 anos		69.6	
Pastagem – 8 anos com leguminosa		75.3	
Capoeira - 22 anos	0-20	24.1	Neste estudo
Sistema de queima		19.2	Neste estudo
Sistema de trituração		22.3	Neste estudo

No caso da técnica sob trituração, além das contribuições para o seqüestro de carbono no solo esta técnica tem como benefício adicional de diminuir o risco de incêndios florestais, diminuir problemas respiratórios (relacionadas à queimada) nas populações que vivem próximo a áreas agrícolas, reduzir o tempo e esforço no trabalho de limpeza da área a ser cultivada (ARTAXO et al., 2005; KATO, 1998; NEPSTAD et al., 1999; NESPTAD et al., 2001).

A diferença entre o carbono acumulado no solo da capoeira e o carbono acumulado na parcela sob queima não é significativa. A vantagem da capoeira em relação ao estoque de carbono é que a capoeira possui maior estoque carbono na vegetação do que a parcela sob queima. Para este estudo, na parcela sob queima, as amostras foram coletadas entre sete meses a um ano após a queima da capoeira. O monitoramento da quantidade de carbono deve continuar para verificar qual o comportamento do estoque de carbono após um ano de queima da parcela.

Para análise do teor de carbono orgânico no solo foram analisadas amostras coletadas nos meses de setembro/2007 e janeiro/2008 – nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm - no solo sob trituração, sob queima e sob capoeira.

Primeiramente, foi realizada análise para identificar diferenças entre os meses amostradas (considerando uma mesma parcela e profundidade). Nesta análise, não foi encontrada diferença significativa (MANOVA $p > 0.05$).

Devido não haver diferença entre os meses estudados, foi possível reunir todos os dados de carbono orgânico no solo (coletados na mesma parcela e na mesma profundidade). Este procedimento foi adotado com a finalidade de aumentar o número de amostras (representatividade) correspondente a cada uma das parcelas deste estudo.

Após o procedimento descrito acima, comparou-se o teor de carbono orgânico entre as parcelas sob trituração, queima e capoeira.

São apresentadas na Tabela 8 as concentrações de carbono orgânico encontradas em cada uma das parcelas estudadas e as respectivas profundidades das amostras. Seguindo-se o mesmo procedimento utilizado na elaboração da tabela e gráfico anteriores.

Apenas na profundidade de 20 a 30 cm não houve diferença significativa entre os diferentes usos da terra (MANOVA $p > 0.05$).

A parcela sob trituração apresentou maior teor de carbono orgânico do que a parcela sob queima - até a profundidade de 10 cm (assim como encontrado quanto ao teor de carbono total) (Tukey $p < 0.05$).

TABELA 8 - Comparação da porcentagem de carbono orgânico no solo entre as parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm - reunindo dados coletados em setembro de 2007 e janeiro de 2008.

Profundidades	Carbono orgânico (%)		
	Trituração	Queima	Capoeira
0 a 5 cm	2.29 ± 0.47 ^a	1.42 ± 0.23 ^b	1.59 ± 0.25 ^{ab}
5 a 10 cm	1.58 ± 0.16 ^a	1.20 ± 0.17 ^b	1.17 ± 0.14 ^b
10 a 20 cm	1.11 ± 0.13 ^a	0.93 ± 0.16 ^{ab}	0.89 ± 0.10 ^b
20 a 30 cm	0.84 ± 0.10 ^a	0.80 ± 0.15 ^a	0.86 ± 0.30 ^a

* Os números em negrito representam os valores médios e os números após o símbolo ± representam o desvio padrão (n=12). Letras diferentes, em uma mesma linha, representam que existe diferença significativa entre as médias (Tukey $p < 0.05$).

Comparando a parcela sob trituração e sob capoeira, observa-se que a parcela sob trituração possui maior teor de carbono que a capoeira nas profundidades de 5 a 10 e 10 a 20 cm (Tukey $p < 0.05$). Nas profundidades de 0 a 5 e 20 a 30 cm não foi encontrada diferença significativa entre estas parcelas (Tukey $p > 0.05$). Isto indica que a capoeira, assim como a parcela sob trituração, possui grande quantidade de carbono em um nível superficial do solo (0 a 5 cm). Na capoeira, este padrão não configura um grande risco de perda de carbono porque ela conta com a proteção da cobertura vegetal sobre o solo, que é significativamente mais densa que a cobertura vegetal sobre as parcelas sob trituração e sob queima.

Em todas as parcelas estudadas, a porcentagem de carbono orgânico presente no solo foi idêntica à porcentagem de carbono total. Portanto, a maior parte do carbono presente no solo é carbono orgânico.

Observando a Tabela 9 é possível dizer que todas as parcelas estudadas possuem três camadas com diferente teor de carbono orgânico no solo. Na parcela sob queima e sob capoeira a camada de 5 a 10 centímetros é uma camada de transição. Na parcela sob trituração, as três camadas são claramente distintas (sem zonas de transição). As camadas mais superficiais possuem maior quantidade de carbono orgânico do que as camadas mais profundas.

TABELA 9 - Comparação da porcentagem de carbono orgânico no solo entre as profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm - nas parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira - reunindo dados coletados em setembro de 2007 e janeiro de 2008.

Profundidades	Carbono orgânico (%)			
	0 a 5 cm	5 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm
Trituração	2.29 ± 0.47 ^a	1.58 ± 0.16 ^b	1.11 ± 0.13 ^c	0.84 ± 0.10 ^c
Queima	1.42 ± 0.23 ^a	1.20 ± 0.17 ^{ab}	0.93 ± 0.16 ^b	0.80 ± 0.15 ^b
Capoeira	1.59 ± 0.25 ^a	1.17 ± 0.14 ^{ab}	0.89 ± 0.10 ^b	0.86 ± 0.30 ^b

* Os números em negrito representam os valores médios e os números após o símbolo ± representam o desvio padrão (n=12). Letras diferentes, em uma mesma linha, representam que existe diferença significativa entre as médias (Tukey p<0.05).

5.3 PORCENTAGEM DE POROS DO SOLO PREENCHIDOS POR ÁGUA

Considerando uma mesma parcela, em todas as profundidades deste estudo, a porcentagem de poros do solo preenchidos por água (PPA) não apresentou diferença significativa entre os meses de junho de 2007 e janeiro de 2008 (Tukey p>0.05). A PPA de setembro de 2007 foi significativamente diferente dos meses de junho de 2007 e janeiro de 2008 (Tukey p<0.05). Isto representa um padrão claro de sazonalidade, onde junho de 2007 e janeiro de 2008 representam períodos de transição entre os períodos seco e chuvoso e junho de 2007 representa um período seco.

Pode ser observado na Tabela 10 que existe diferença significativa na umidade do solo (PPA) em relação a diferentes níveis de profundidade. Esta diferença pode ser encontrada em poucos centímetros de diferença (5 cm). Observa-se também que quanto mais profunda camada do solo, maior a quantidade de poros do solo preenchidos por água.

As camadas do solo que se encontram mais próximas da superfície de contato com a atmosfera apresentam maior perda de água do solo para atmosfera porque o ar é menos úmido do que o solo. Assim, a água é transportada do meio mais concentrado para o menos concentrado.

TABELA 10 - Comparação da porcentagem de poros do solo preenchidos por água (PPA%) entre as profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm - nas parcelas sob trituração, queima e capoeira - em julho de 2007, setembro de 2007 e janeiro de 2008.

		Poros do solo preenchidos por água (%)			
Profundidade		0 a 5 cm	5 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm
jun	trituração	32,13 ± 3,42^a	37,35 ± 2,58^b	49,16 ± 2,13^c	58,05 ± 2,45^d
	queima	37,29 ± 7,48^a	48,82 ± 5,03^b	57,95 ± 3,44^{bc}	59,05 ± 2,58^c
	capoeira	30,88 ± 5,64^a	30,38 ± 4,88^a	56,13 ± 6,72^b	61,44 ± 2,75^b
set	trituração	10,61 ± 1,43^a	14,24 ± 4,51^b	24,93 ± 2,35^c	36,16 ± 2,25^d
	queima	9,19 ± 1,65^a	21,57 ± 3,13^b	31,13 ± 4,01^c	38,63 ± 3,44^d
	capoeira	14,10 ± 4,33^a	16,29 ± 1,76^a	31,06 ± 4,69^b	40,26 ± 4,17^b
jan	trituração	34,22 ± 7,52^a	36,86 ± 5,34^a	49,67 ± 1,70^b	59,81 ± 2,69^c
	queima	33,93 ± 5,27^a	46,37 ± 2,27^b	53,38 ± 3,51^c	58,90 ± 2,32^c
	capoeira	29,30 ± 6,19^a	27,50 ± 6,50^a	54,76 ± 3,71^b	56,63 ± 4,66^b

* Os números em negrito representam os valores médios e os números após o símbolo ± representam o desvio padrão (n=6). Letras diferentes, em uma mesma linha, representam que existe diferença significativa entre as médias (Tukey p<0.05).

Comparando a umidade do solo entre os diferentes usos da terra, observou-se que, na profundidade de 0 a 5 centímetros, nos meses de junho/2007 e janeiro/2008 não houve diferença significativa entre as parcelas deste estudo (Tukey p>0.05). Em setembro/2007, a parcela sob capoeira apresentou maior porcentagem de poros do solo preenchidos por água do que as parcelas sob trituração e sob queima (Tukey p <0.05). As duas últimas parcelas não apresentaram diferença entre si (Tukey p >0.05). Tabela 11.

No resultado acima é possível observar que a técnica de trituração da capoeira não apresentou nenhuma vantagem para evitar perdas de água do solo, quando comparado com a técnica de queima. Este resultado é reforçado pelo fato de não ter sido encontrada maior quantidade de serrapilheira sobre o solo da parcela sob trituração, devido a capoeira ter sido triturada e a matéria orgânica deixada sobre o local.

Em setembro de 2007 (período seco), a capoeira apresentou maior porcentagem de poros preenchidos por água do que as parcelas sob trituração e sob queima (Tukey p<0.05). Isto sugere que a cobertura vegetal e a serrapilheira da capoeira foram capazes de diminuir as perdas de água (do solo para a atmosfera). Durante o período chuvoso, as chuvas mantêm o solo

constantemente úmido, mesmo que exista diferença na perda de água por evaporação (entre as parcelas estudadas). No período seco, quando quase não há chuvas, a diferença de evaporação entre as parcelas pode ser visto mais claramente.

TABELA 11 - Comparação da porcentagem de poros do solo preenchidos por água (PPA%) entre as parcelas sob trituração, queima e capoeira - em julho de 2007, setembro de 2007 e janeiro de 2008 - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.

Porcentagem de poros do solo preenchidos por água				
	Profundidades	Trituração	Queima	Capoeira
Jun 2007	0 a 5 cm	32,13 ± 3,42^a	37,29 ± 7,48^a	30,88 ± 5,64^a
	5 a 10 cm	37,35 ± 2,58^a	48,82 ± 5,03^b	30,38 ± 4,88^a
	10 a 20 cm	49,16 ± 2,13^a	57,95 ± 3,44^b	56,13 ± 6,72^b
	20 a 30 cm	58,05 ± 2,45^a	59,05 ± 2,58^a	61,44 ± 2,75^a
Set 2007	0 a 5 cm	10,61 ± 1,43^a	9,19 ± 1,65^a	14,10 ± 4,33^b
	5 a 10 cm	14,24 ± 4,51^a	21,57 ± 3,13^b	16,29 ± 1,76^a
	10 a 20 cm	24,93 ± 2,35^a	31,13 ± 4,01^b	31,06 ± 4,69^b
	20 a 30 cm	36,16 ± 2,25^a	38,63 ± 3,44^a	40,26 ± 4,17^a
Jan 2008	0 a 5 cm	34,22 ± 7,52^a	33,93 ± 5,27^a	29,30 ± 6,19^a
	5 a 10 cm	36,86 ± 5,34^a	46,37 ± 2,27^b	27,50 ± 6,50^c
	10 a 20 cm	49,67 ± 1,70^a	53,38 ± 3,51^b	54,76 ± 3,71^{ab}
	20 a 30 cm	59,81 ± 2,69^a	58,90 ± 2,32^a	56,63 ± 4,66^a

* Os números em negrito representam os valores médios e os números após o símbolo ± representam o desvio padrão (n=6). Letras diferentes, em uma mesma linha, representam que existe diferença significativa entre as médias (Tukey p<0.05).

Na profundidade de 5 a 10 centímetros, em junho e setembro de 2007, as parcelas sob trituração e sob capoeira não diferiram quanto à quantidade de poros preenchidos por água (Tukey p>0.05). Na parcela sob queima a PPA foi significativamente maior do que nas parcelas sob trituração e sob capoeira (Tukey p<0.05). Em janeiro de 2008, todas as parcelas foram diferentes entre si (Tukey p<0.05).

Na profundidade de 10 a 20 centímetros, em junho e setembro de 2007, a parcela sob trituração apresentou PPA significativamente menor do que observado nas parcelas sob queima e sob capoeira (Tukey p<0.05). A parcela sob queima e sob capoeira não diferiram entre si (Tukey p>0.05). Em janeiro de 2008, a parcela sob trituração apresentou PPA significativamente menor, quando comparado com a parcela sob queima (Tukey p<0.05). A parcela sob capoeira não foi significativamente diferente da parcela sob trituração e sob queima (Tukey p<0.05).

Nas profundidades de 5 a 10 e 10 a 20 cm, a porcentagem de poros preenchidos por água não apresentou nenhum padrão que indique relação

entre a cobertura vegetal do solo ou a técnica de uso da terra e a porcentagem de poros do solo preenchidos por água. É possível que a PPA, nestas profundidades, esteja relacionada com a densidade de raízes. Amostras de densidade de raízes podem ser analisadas futuramente (nestas profundidades) para fazer esta avaliação.

Na profundidade de 20 a 30, em junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008, não houve diferença entre as parcelas deste estudo (Tukey $p > 0.05$).

5.4 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO

Após analisar o teor de carbono e da umidade do solo (fatores que podem interferir diretamente na produção e sobrevivência dos microorganismos no solo), analisou-se a quantidade dos microorganismos do solo - por meio do carbono da biomassa microbiana do solo (C_{BMS}). O estudo da quantidade de C_{BMS} é relevante para o estudo dos processos biogeoquímicos do carbono no solo porque os microorganismos atuam como agente de transformação da matéria orgânica (compostos carbonados).

Comparando a quantidade de C_{BMS} entre os meses de junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008 (de uma mesma parcela e mesma profundidade) (Tabela 12), observou que somente na profundidade de 0 a 5 cm não houve diferença entre meses amostrados em nenhuma das parcelas deste estudo (Tukey $p > 0.05$).

TABELA 12 - Comparação da quantidade de carbono da biomassa microbiana no solo entre os meses coletados (junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008), nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm - nas parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira.

Carbono da biomassa microbiana no solo				
(mg C_{org} kg$_{solo}^{-1}$)				
	Profundidade	Junho/2007	Setembro/2007	Janeiro/2008
Trituração	0 a 5 cm	104,25 ± 32,92^a	101,8 ± 26,22^a	94,05 ± 27,43^a
	5 a 10 cm	121,06 ± 37,55^a	78,05 ± 19,73^b	78,01 ± 11,13^a
	10 a 20 cm	109,93 ± 16,69^{ab}	95,84 ± 28,16^b	56,01 ± 23,71^a

	20 a 30 cm	117,31 ± 22,06 ^a	63,32 ± 55,84 ^a	47,46 ± 20,85 ^a
Queima	0 a 5 cm	61,34 ± 14,20 ^a	109,62 ± 58,96 ^a	109,29 ± 92,92 ^a
	5 a 10 cm	67,52 ± 16,82 ^a	95,28 ± 48,15 ^b	57,55 ± 8,97 ^a
	10 a 20 cm	54,10 ± 22,42 ^a	119,52 ± 37,14 ^b	59,44 ± 23,96 ^a
	20 a 30 cm	69,48 ± 24,25 ^a	98,12 ± 44,03 ^a	70,89 ± 54,23 ^a
Capoeira	0 a 5 cm	84,37 ± 48,01 ^a	177,31 ± 52,68 ^a	108,39 ± 44,40 ^a
	5 a 10 cm	71,01 ± 18,93 ^a	196,98 ± 27,19 ^b	73,93 ± 13,69 ^a
	10 a 20 cm	66,03 ± 31,74 ^a	174,93 ± 25,64 ^b	46,24 ± 27,86 ^a
	20 a 30 cm	69,31 ± 28,84 ^a	171,34 ± 34,02 ^b	47,96 ± 29,47 ^a

* Os números em negrito representam os valores médios e os números após o símbolo ± representam o desvio padrão (n=6). Letras diferentes, em uma mesma linha, representam que existe diferença significativa entre as médias (Tukey p<0.05).

Na capoeira (nas profundidades de 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 centímetros), setembro de 2007 apresentou maior quantidade de C_{BMS} do que os meses de junho de 2007 e janeiro de 2008 (Tukey p<0.05). Não houve diferença na quantidade de C_{BMS} entre os meses de junho de 2007 e janeiro de 2008 (Tukey p>0.05).

Na parcela sob queima, somente na profundidade de 10 a 20 centímetros houve diferença significativa na quantidade de C_{BMS} entre os meses amostrados neste estudo (Tukey p<0.05). Nesta profundidade, em setembro/2007 a quantidade de C_{BMS} foi maior do que nos meses de junho/2007 e janeiro/2008. Nos meses de junho/2007 e janeiro/2008 não houve diferença significativa (Tukey p>0.05).

Na parcela sob trituração - na profundidade de 5 a 10 - a quantidade de C_{BMS} em junho/2007 foi significativamente maior do que em setembro/2007 e janeiro/2008 (Tukey p<0.05). Estes dois últimos meses apresentaram quantidade igual de C_{BMS} (Tukey p>0.05). Na profundidade de 10 a 20 centímetros, a quantidade de C_{BMS} em junho de 2007 foi significativamente maior do que em janeiro de 2008 (Tukey p<0.05). Na profundidade de 20 a 30 cm não houve diferença significativa entre os meses estudados (Tukey p>0.05).

Analisando a quantidade de carbono da biomassa microbiana no solo entre as parcelas estudadas, considerando amostras coletadas em um mesmo mês e em uma mesma profundidade (Tabela 13), observou-se que somente em setembro houve diferença significativa entre as parcelas estudadas.

Em setembro, em todas as profundidades estudadas, a quantidade de carbono da biomassa microbiana do solo foi maior na capoeira do que na

parcela sob trituração (Tukey $p < 0.05$). Nas profundidades de 5 a 10 e 10 a 20 cm, as quantidade de carbono na biomassa microbiana da capoeira foi maior do que da parcela sob queima e da parcela sob trituração (Tukey $p < 0.05$).

A análise apresentada na Tabela 12 mostrou que na parcela sob capoeira (nas profundidades de 5 até 20 cm) e na parcela sob queima (profundidade de 10 a 20 cm), houve um aumento da quantidade de C_{BMS} no mês de setembro de 2007 (período seco), em relação aos meses de junho de 2007 e janeiro de 2008 (períodos de transição entre período seco e chuvoso). Isto demonstra que, em setembro de 2007, a maior quantidade de C_{BMS} da capoeira em relação parcela sob trituração e sob queima (Tabela 13) foi devido ao aumento da quantidade de C_{BMS} na parcela sob capoeira e não devido à diminuição do C_{BMS} na parcela sob trituração e sob queima.

Estudo, realizado nas parcelas deste estudo, demonstrou que no período seco existe um aumento da quantidade de esporos de fungos micorrízicos no solo (MAIA,2008). Como não é possível diferenciar o carbono da biomassa microbiana de fungos (esporos e hifas) e de bactérias, é possível que o aumento do C_{BMS} nas parcelas sob capoeira e sob queima tenha ocorrido devido ao período de esporulação dos fungos (durante o período seco).

Além do aumento da quantidade de esporos de fungos micorrízicos, também deve ter ocorrido um aumento da população bacteriana na parcela sob capoeira (no período seco). Isto porque, no período seco, a parcela sob capoeira apresentou maior quantidade C_{BMS} do que as parcela sob trituração e sob queima e o estudo de Maia (2008) encontrou que (neste período) existe maior esporulação nas parcelas sob queima e trituração do que na parcela sob capoeira.

TABELA 13 - Comparação da quantidade de carbono da biomassa microbiana no solo entre parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira – em junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008 - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.

Carbono da biomassa microbiana no solo				
(mg C_{org} kg$_{solo}^{-1}$)				
	Profundidade (cm)	Trituração	Queima	Capoeira
Junho 2007	0 a 5	104,25 ± 32,92^a	61,34 ± 14,20^a	84,37 ± 48,01^a
	5 a 10	121,06 ± 37,55^a	67,52 ± 16,82^a	71,01 ± 18,93^a
	10 a 20	109,93 ± 16,69^a	54,10 ± 22,42^a	66,03 ± 31,74^a
	20 a 30	117,31 ± 22,06^a	69,48 ± 24,25^a	69,31 ± 28,84^a
	0 a 5	101,8 ± 26,22^a	109,62 ± 58,96^{ab}	177,31 ± 52,68^b

Setembro 2007	5 a 10	78,05 ± 19,73 ^a	95,28 ± 48,15 ^a	196,98 ± 27,19 ^b
	10 a 20	95,84 ± 28,16 ^a	119,52 ± 37,14 ^a	174,93 ± 25,64 ^b
	20 a 30	63,32 ± 55,84 ^a	98,12 ± 44,03 ^{ab}	171,34 ± 34,02 ^b
Janeiro 2008	0 a 5	94,05 ± 27,43 ^a	109,29 ± 92,92 ^a	108,39 ± 44,40 ^a
	5 a 10	78,01 ± 11,13 ^a	57,55 ± 8,97 ^a	73,93 ± 13,69 ^a
	10 a 20	56,01 ± 23,71 ^a	59,44 ± 23,96 ^a	46,24 ± 27,86 ^a
	20 a 30	47,46 ± 20,85 ^a	70,89 ± 54,23 ^a	47,96 ± 29,47 ^a

* Os números em negrito representam os valores médios e os números após o símbolo ± representam o desvio padrão (n=6). Letras diferentes, em uma mesma linha, representam que existe diferença significativa entre as médias (Tukey p>0.05).

Analisando a quantidade de C_{BMS} entre as profundidades deste estudo, verificou-se que nos meses de junho e setembro de 2007 não houve diferença entre as profundidades estudadas (Tukey p>0.05). Somente em janeiro de 2008, nas parcelas sob trituração e sob capoeira, houve diferença significativa na quantidade de C_{BMS} entre as profundidades estudadas (Tukey p<0.05). Na parcela sob trituração, a profundidade de 0 a 5 cm apresentou maior quantidade de C_{BMS} do que a profundidade de 20 a 30 cm e na capoeira a profundidade de 0 a 5 cm apresentou maior quantidade de C_{BMS} do que a profundidade de 10-20 cm.

5.5 RELAÇÃO DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO E A PORCENTAGEM DE POROS DO SOLO PREENCHIDOS POR ÁGUA

Para identificar se existe relação entre a quantidade de microorganismos do solo (por meio da quantidade de C_{BMS}) e a quantidade de água no solo (por meio da PPA) foi realizada uma análise de regressão linear entre estas variáveis.

Parcela sob trituração

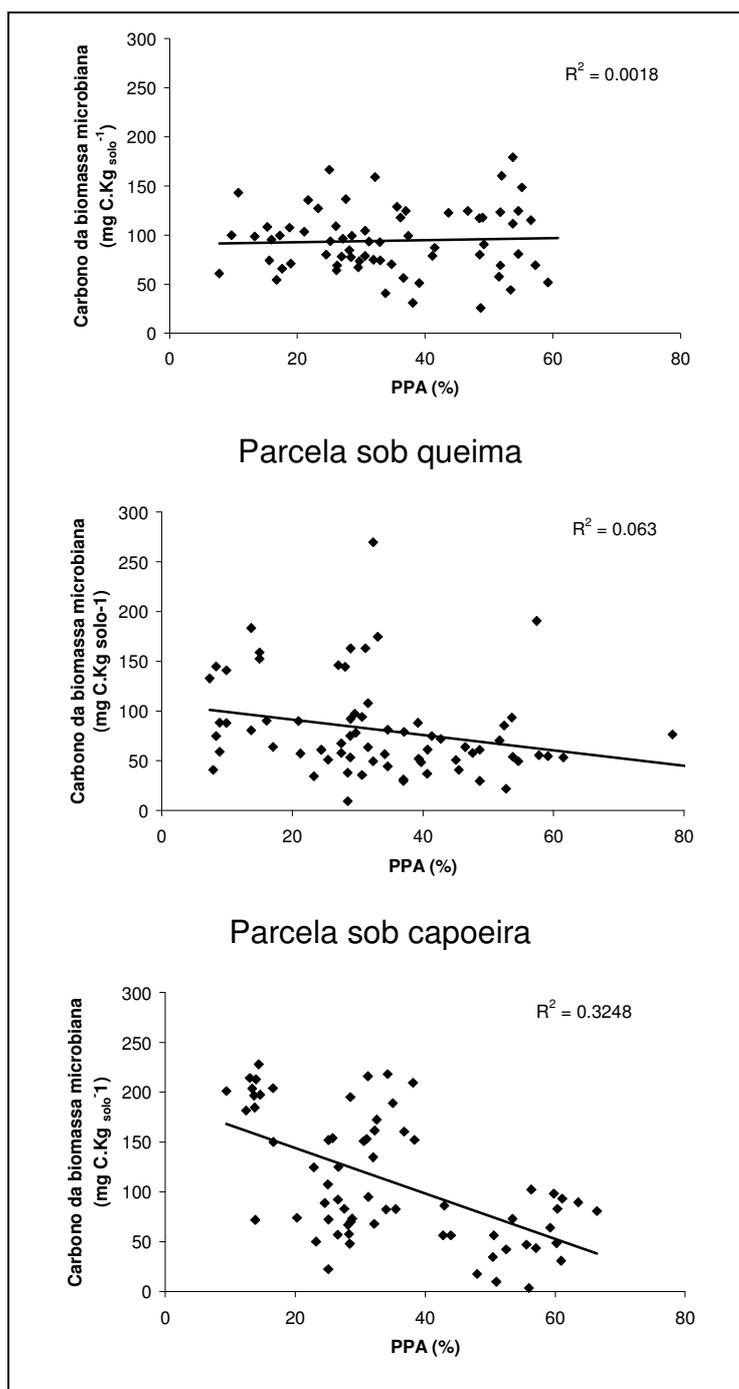


FIGURA 7 - Regressão linear do carbono da biomassa microbiana do solo em relação à porcentagem de poros do solo preenchidos por água - na parcela sob trituração, sob queima e sob capoeira.

Esta análise demonstrou que nas parcelas sob trituração e sob queima, não houve relação significativa entre a quantidade de carbono da biomassa microbiana e porcentagem de poros do solo preenchidos por água (PPA) (Parcela sob trituração $R^2=0.0018$, sob queima $R^2= 0.063$). Na parcela sob

capoeira, houve relação significativa e negativa ($R^2=0.3248$), como pode ser visto na Figura 7.

Como a parcela sob queima não apresentou relação entre a quantidade de C_{BMS} e a PPA, é possível dizer que: Na parcela sob queima, o aumento da de esporos micorrízicos no período seco não está relacionado ao fato deste período apresentar menor umidade do solo. No ciclo de vida dos fungos micorrízicos, o período de esporulação deve coincidir com o período seco (nas parcelas deste estudo).

Na parcela sob capoeira, a relação entre a quantidade de C_{BMS} e a PPA do solo mostrou que amostras contendo baixa porcentagem de PPA possuíam alta quantidade de C_{BMS} . Isto indica que na parcela sob capoeira a aumento da C_{BMS} (no período seco) deve estar relacionado à umidade do solo (além do aumento no numero de esporos devido à esporulação neste período).

5.6 RELAÇÃO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO E A PORCENTAGEM DE CARBONO TOTAL DO SOLO

Em todas as parcelas deste estudo, não houve relação significativa entre a quantidade de carbono da biomassa microbiana e porcentagem de carbono total contido no solo (parcela sob trituração $R^2=0.0686$, sob queima $R^2= 0.0624$ e sob capoeira $R^2=0.0003$), como pode ser visto na Figura 8.

A ausência de relação entre a quantidade de carbono da biomassa microbiana e o carbono total no solo pode indicar que, em nenhuma das parcelas deste estudo, o carbono é um elemento que esteja limitando a reprodução e sobrevivência dos microorganismos.

Parcela sob trituração

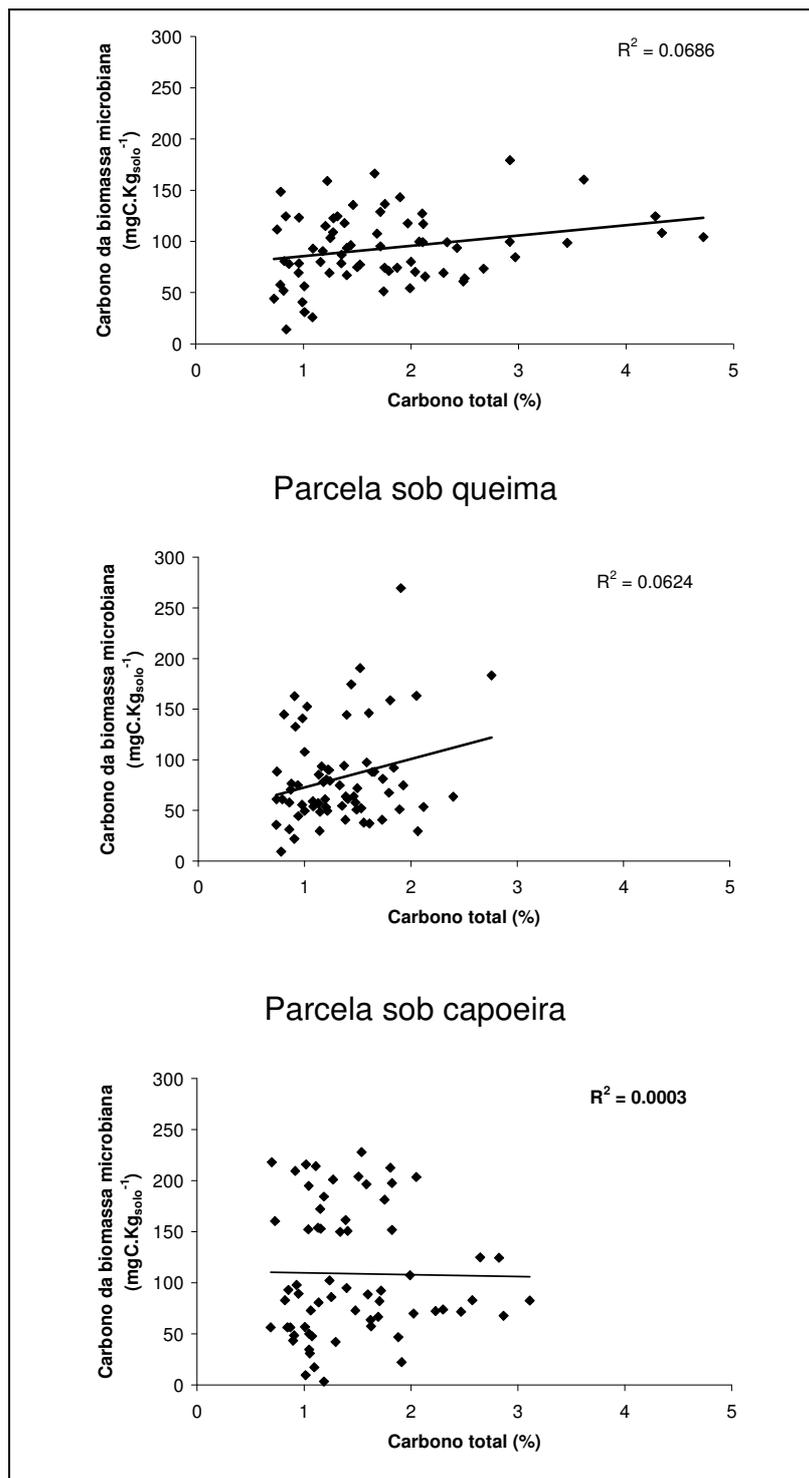


FIGURA 8 - Regressão linear do carbono da biomassa microbiana do solo em relação à porcentagem de carbono total no solo - na parcela sob trituração, sob queima e sob capoeira.

5.7 QUOCIENTE METABÓLICO MICROBIANO

Analisando separadamente cada um dos meses de coleta de solo (junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008), observou-se que não houve diferença significativa no quociente metabólico microbiano (qCO_2) entre as parcelas deste estudo (MANOVA $p > 0.05$).

TABELA 14 - Comparação da quantidade de quociente do metabolismo microbiano (qCO_2) no solo entre os meses coletados (junho e setembro de 2007 e janeiro de 2008) - nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm - nas parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira.

		qCO_2 ($mg\ C_{CO_2}\cdot g^{-1}\ C_{BMS}\cdot h^{-1}$)		
	Profundidades	Jun/2007	Set/ 2007	Jan/2008
Trituração	0 a 5 cm	1.47 ± 0.36^a	4.44 ± 1.35^b	0.59 ± 0.15^a
	5 a 10 cm	0.76 ± 0.26^a	5.32 ± 1.48^b	0.54 ± 0.18^a
	10 a 20 cm	0.43 ± 0.22^a	3.78 ± 0.77^b	0.98 ± 0.56^a
	20 a 30 cm	0.29 ± 0.11^a	5.75 ± 2.53^b	0.34 ± 0.31^a
Queima	0 a 5 cm	1.19 ± 0.51^a	4.20 ± 2.38^b	1.13 ± 0.96^a
	5 a 10 cm	0.94 ± 0.25^a	4.86 ± 2.22^b	0.88 ± 0.65^a
	10 a 20 cm	0.87 ± 0.30^a	3.25 ± 1.01^b	1.09 ± 0.64^a
	20 a 30 cm	0.62 ± 0.38^a	4.60 ± 3.08^b	0.71 ± 0.51^a
Capoeira	0 a 5 cm	2.14 ± 1.70^a	3.09 ± 1.88^a	0.98 ± 0.21^a
	5 a 10 cm	1.15 ± 0.28^a	2.14 ± 0.38^b	1.25 ± 0.34^a
	10 a 20 cm	1.06 ± 0.89^a	2.36 ± 0.44^b	0.99 ± 0.57^a
	20 a 30 cm	0.69 ± 0.57^a	2.26 ± 0.51^b	0.69 ± 0.41^a

* Os números em negrito representam os valores médios e os números após o símbolo \pm representam o desvio padrão ($n=6$). Letras diferentes, em uma mesma linha, representam que existe diferença significativa entre as médias (Tukey $p < 0.05$).

Comparando o qCO_2 entre os meses de junho/2007, setembro/2007 e janeiro/2008 (considerando uma mesma parcela e profundidade), observou-se que nas parcelas sob trituração e sob queima o qCO_2 foi significativamente maior em setembro - do que o encontrado nos meses de junho/2007 e janeiro/2008 (Tukey $p < 0.05$). Estes dois últimos meses apresentaram qCO_2 iguais entre si (Tukey $p > 0.05$). Na capoeira, somente na profundidade de 0 a 5 centímetros não houve diferença significativa entre os meses (Tukey $p > 0.05$). Nas demais profundidades deste estudo, a parcela sob capoeira apresentou o mesmo padrão que as demais parcelas deste estudo. Ou seja, maior qCO_2 em setembro/2007 do que junho/2007 e janeiro/2008 (sendo estes dois últimos com qCO_2 iguais entre si), como pode ser observado na Tabela 14.

Na parcela sob queima e sob capoeira não houve diferença significativa de qCO_2 entre as profundidades estudadas em nenhum dos meses amostrados (Tukey $p>0.05$).

Na parcela sob trituração, em junho de 2007 e janeiro de 2008, houve diferença significativa entre as profundidades estudadas (MANOVA $p < 0.05$). Em junho, a profundidade o qCO_2 na profundidade 0 a 5 cm foi maior do que o das profundidades de 10 a 20 e 20 a 30 cm e na profundidade de 5 a 10 cm o qCO_2 foi maior do que na profundidade de 20 a 30 cm (Tukey $p<0.05$). Em janeiro, o qCO_2 na profundidade de 10 a 20 cm foi maior do que o o qCO_2 na profundidade de 20 a 30 cm (Tukey $p<0.05$).

5.8 RELAÇÃO ENTRE QUANTIDADE DE CARBONO TOTAL E O qCO_2 NO SOLO

Não houve relação entre a quantidade de carbono total no solo e quociente metabólico microbiano (qCO_2) nas parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira (R^2 igual a 0.032, 0.0124 e 0.042, respectivamente), como pode ser observado na Figura 9.

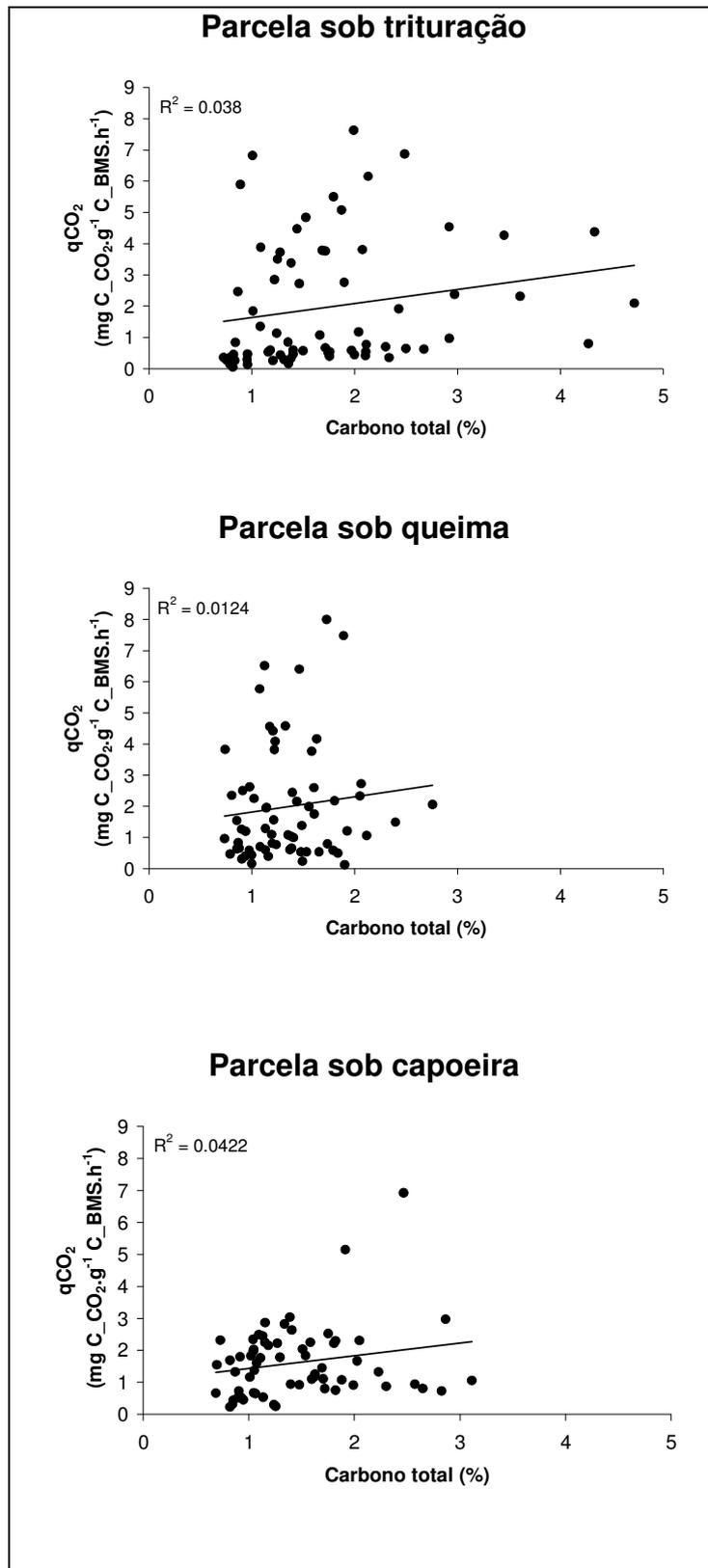


FIGURA 9 - Regressão linear do quociente metabólico em relação à porcentagem de carbono total no solo - nas parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira.

5.9 RELAÇÃO ENTRE qCO_2 NO SOLO E A QUANTIDADE DE CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA

Não houve relação entre a quantidade de carbono da biomassa microbiana no solo e o quociente metabólico microbiano (qCO_2) nas parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira (R^2 igual a 0.035, 0.000 e 0.043, respectivamente), como pode ser observado na Figura 10.

O quociente metabólico dos microorganismos, conceitualmente baseados na teoria descrita por ODUM, tem sido utilizado como indicador de mudanças na qualidade do solo. O qCO_2 seria um indicador capaz de estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato (SAVIOZZI et al., 2002).

Mawdsley e Bardgett (1997) detectaram redução de 28% no qCO_2 sob plantio direto, evidenciando menor perda relativa de CO_2 . Já em ambientes menos conservacionistas, Saffigna et al. (1989) concluíram que o preparo convencional pode apresentar menor conteúdo de matéria orgânica, e uma BMS com maior qCO_2 , pela diferença de acessibilidade do substrato de carbono aos microrganismos, pelas mudanças nos padrões metabólicos ou alterações na composição da microbiota (ALVAREZ et al., 1995).

Insam et al. (1991) sugeriram que o quociente metabólico tem relação inversa à BMS. Maiores teores de carbono poderiam aumentar a biomassa microbiana do solo e haveria uma redução no metabolismo microbiano. Balota et al., (1998) e Bauhus et al., (1998) encontraram a relação entre a quantidade de carbono e a biomassa microbiana e o metabolismo microbiano. Estas relações não foram encontradas neste estudo.

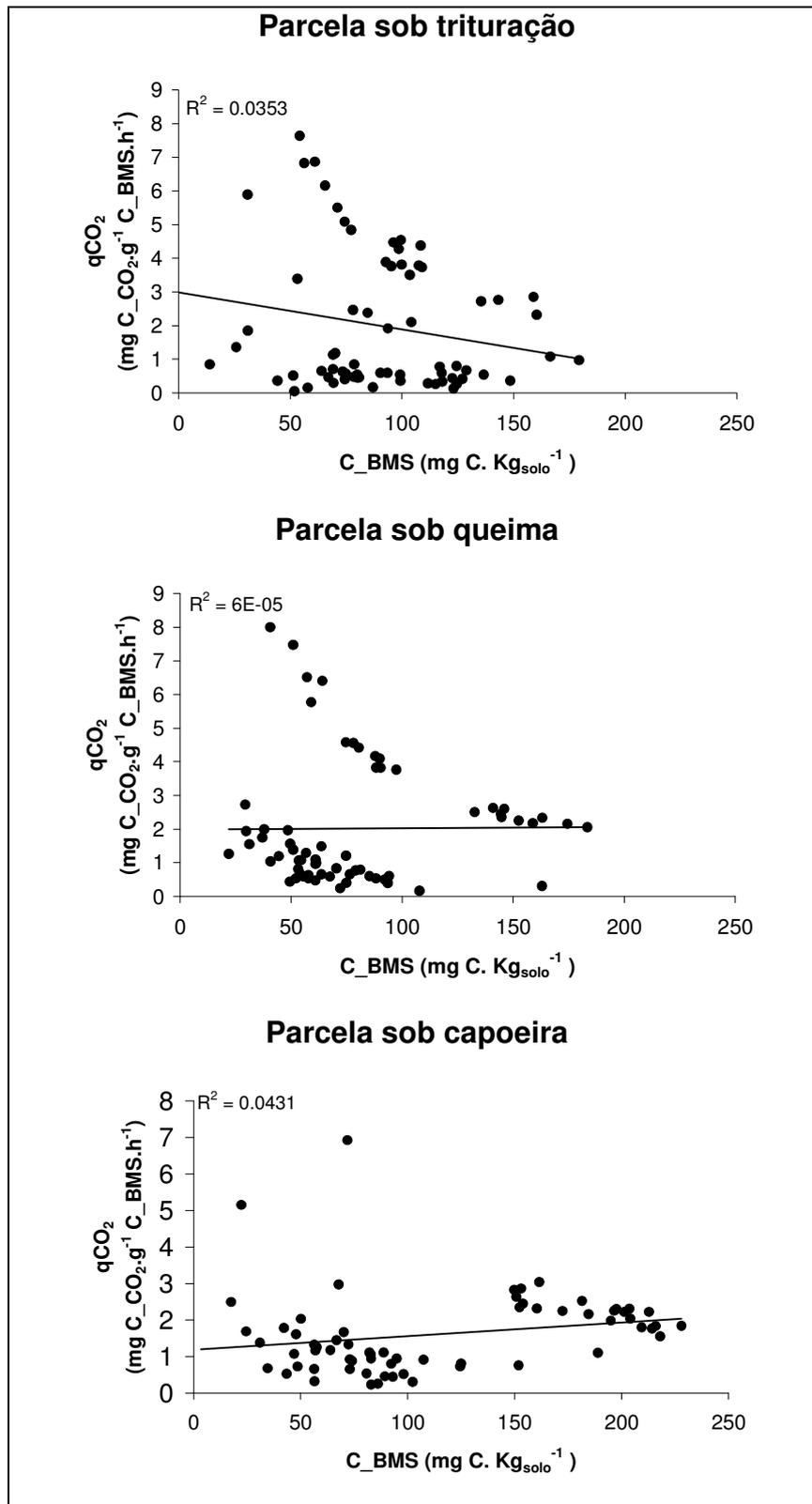


FIGURA 10 - Regressão linear do quociente metabólico em relação à quantidade de carbono da biomassa microbiano no solo - na parcela sob trituração, sob queima e sob capoeira.

5.10 RELAÇÃO ENTRE q_{CO_2} E POROS DO SOLO PREENCHIDOS POR ÁGUA

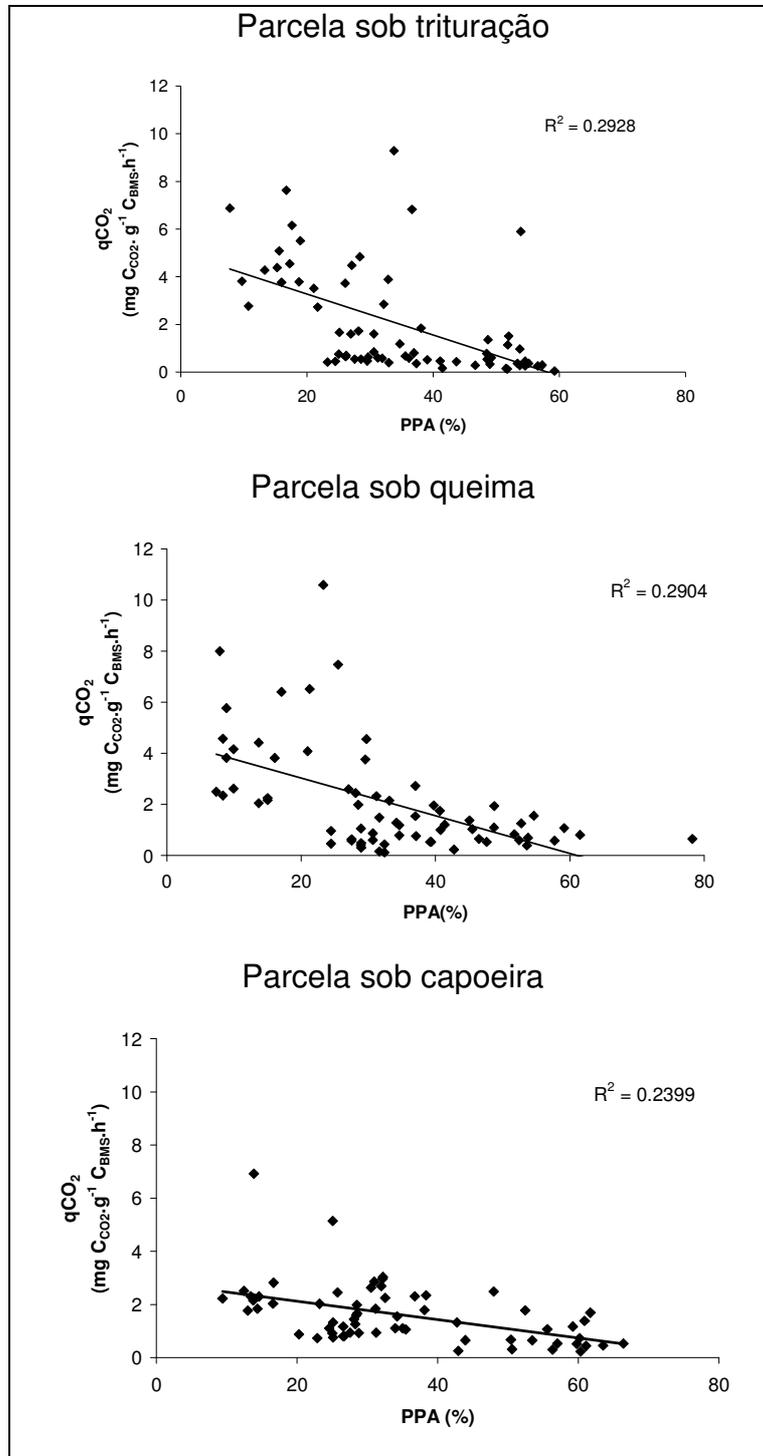


FIGURA 11 - Regressão linear do quociente metabólico em relação à porcentagem de poros preenchidos por água na parcela sob trituração, sob queima e sob capoeira.

A variação da porcentagem de poros do solo preenchidos por água e o quociente metabólico da microbiota do solo mostram uma relação significativa com ($R^2=0.293$), ($R^2=0.290$) e ($R^2=0.240$) $p<0.05$ - nas parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira respectivamente (Figura 11).

O aumento do metabolismo da comunidade microbiana pode também ser o primeiro sinal de estresse, uma vez que a reparação dos danos causados por distúrbios no solo requer desvio de energia do crescimento e reprodução para a manutenção celular. Portanto, durante um estresse haverá direcionamento de mais energia para a manutenção celular, em lugar do crescimento, de forma que uma proporção de carbono da biomassa será perdida como CO_2 .

Wardle e Ghani (1995) encontraram aumento de qCO_2 (independente de perturbação no ecossistema). Eles afirmam que qCO_2 é útil para medir eficiência microbiana, mas não é eficiente indicador do desenvolvimento do ecossistema. Isto porque ele não é capaz de distinguir entre perturbação e estresse.

Stevenson (1982 apud EMBRAPA, 2005) afirma que altos valores de qCO_2 podem estar relacionados a vários fatores. Entre estes fatores estão: o aumento da atividade microbiana causada por temperaturas mais elevadas e as alternâncias mais freqüentes entre o umedecimento e a secagem do solo.

No presente estudo, a parcela sob trituração e a parcela sob queima apresentaram uma relação entre o metabolismo microbiana e a quantidade de poros do solo preenchidos por água. Quanto menor a quantidade de água, maior o qCO_2 .

As análises de qCO_2 deste trabalho indicam que fatores temporais, como a umidade do solo, podem ter maior influência sobre o metabolismo microbiano e a produção de CO_2 do que a quantidade de substrato. EMBRAPA (2005) publicou trabalho, que também encontrou maiores quociente metabólico no solo coletado durante o período mais seco e quente.

A diminuição da película de água nos poros dos solos também pode ter influenciado na acessibilidade dos microorganismos aos nutrientes. Isto pode ter diminuído a eficiência dos microorganismos e aumentado a produção de CO_2 pelos mesmos.

Neste trabalho não foram realizadas medidas de temperatura pareadas com as amostragens de solo. É possível que o aumento da temperatura

também tenha influenciado o aumento do metabolismo microbiano – em situações de baixa umidade do solo.

5.11 EFLUXO DE CO₂ EMITIDO PELO SOLO

Durante o período seco, os efluxos de CO₂ e seus desvios padrão foram de 1.35 ± 0.74 , 1.35 ± 0.51 e $2.49 \pm 1.54 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ nas parcelas sob trituração, queima e capoeira, respectivamente. Durante o período chuvoso, o efluxo de CO₂ foi 4.42 ± 3.23 , 3.34 ± 2.64 e $4.63 \pm 3.86 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Para o cálculo das médias e análises estatísticas foram excluídos os pontos extremos (“outliers”). Os pontos extremos foram definidos pelo programa Sigmaplot.

No período seco, o efluxo de CO₂ medido na parcela sob capoeira foi significativamente maior do que nas parcelas sob queima e trituração (Tukey $p < 0,05$). Estas últimas não apresentaram diferenças entre si (Tukey $p > 0,05$).

Durante período chuvoso, o efluxo de CO₂ do solo não foi significativamente diferente entre as parcelas sob estudadas (MANOVA $p > 0,05$).

O efluxo de CO₂ foi significativamente maior no período chuvoso do que no período seco em todos os tratamentos (MANOVA $p < 0,05$).

Nos trópicos, muitos trabalhos sobre efluxo de CO₂ na superfície do solo foram realizados em floresta madura (DAVIDSON; TRUMBRORE, 1995; DAVIDSON et al., 2004; SALIMON et al., 2004; SOTTA et al., 2004; KELLER et al., 2005). Existem também vários trabalhos em áreas de pastagem (DAVIDSON 2004; FERNANDES et al., 2002; SALIMON et al., 2004) e em floresta secundária (DAVIDSON et al., 2004; VASCONCELOS et al., 2004; SILVER; OSTERTAG; LUGO, 2000). No entanto, a respiração de solos tropicais sob agricultura ainda é pouco estudada (VERCHOT et al., 2008) (Tabela 15).

Neste estudo, todas as parcelas apresentaram diferença significativa entre os efluxos medidos durante os períodos seco e chuvoso. Sob diferentes usos da terra, muitos autores também encontraram maior efluxo de CO₂ em períodos chuvosos (DAVIDSON et al., 1998; ISHIZUKA et al., 2002;

TRUMBORE et al., 2002; LA SCALA Jr et al., 2000; RAICH e SCHLESINGER,1992;OLIVEIRA Jr,2006).

TABELA 15 - Efluxos de CO₂ em diferentes usos da terra na região tropical.

Cobertura do solo	Ano	Tratamento	Período		Anual total Mg C-CO ₂ ha ⁻¹	Autor
			chuvoso μmol m ⁻² s ⁻¹	seco μmol m ⁻² s ⁻¹		
Capoeira Enriquecida com leguminosa Início	1999	Controle	6.7 (1.2)	5.1 (0.4)	22.6	Verchot et al.2008
		I. Edulis	5.8 (2.5)	5.3 (1.6)	21.0	
	A.Mangiun	5.3 (0.9)	5.3 (1.2)	19.7		
	Controle	5.1 (0.5)	7.2 (1.4)	22.9		
2000	I. Edulis	4.9 (0.7)	7.6 (1.9)	22.7	Vasconcelos et al.2004	
	A.Mangiun	5.3 (0.7)	8.3 (1.2)	24.9		
Capoeira 12 anos	2001	irrigado		5.5 (0.19)	15.9	
		Não irrigado		3.9 (0.13)	20.2	
	2002	irrigado		6.21 (0.25)	19.9	
	2002	Não irrigado		4.76 (0.19)	22.4	
	2002	Sem serrapilheira			14.3	

A diminuição da produção de CO₂ devido ao menor metabolismo microbiano, em situação de alta umidade, não provocou a diminuição do efluxo de CO₂ durante o período chuvoso. Isto sugere que o aumento do efluxo de CO₂ no período chuvoso pode estar sendo influenciado por outros fatores.

Neste estudo, é possível que os maiores efluxos de CO₂ encontrados no período chuvoso estejam relacionados ao aumento da respiração de raízes e ao aumento da velocidade de decomposição da serrapilheira.

Cattanio et al. (2002) encontraram menor efluxo de CO₂ e menor crescimento de raízes em situação de exclusão de chuva. O inverso foi encontrado em solo sob condições normais de precipitação. Além de diminuir o crescimento das raízes, o estresse hídrico pode limitar a fotossíntese da planta e diminuir a respiração das raízes vivas (HÖGBERG, et al., 2001; SHAH;PAULEN,2000).

Sugere-se que no futuro sejam realizadas análises isotópicas do CO₂ liberado na superfície do solo a fim de identificar o fator predominante para o aumento do efluxo de CO₂.

Apesar do quociente metabólico dos microorganismos não ter sido alterado pelos diferentes usos da terra deste estudo, no mês de setembro foi

observado um aumento da quantidade de carbono da biomassa microbiana na capoeira em relação a parcela sob queima e sob trituração. O fato de possuir uma maior população microbiana pode ter contribuído para o maior fluxo de CO₂ encontrado na capoeira, quando comparado com as outras parcelas deste estudo.

A quantidade de folhas e de ramos em janeiro de 2008 foi a mesma encontrada em setembro de 2007. O aumento da serrapilheira em setembro não provocou aumento na produção de CO₂. É possível que a serrapilheira coletada em janeiro seja a mesma que caiu sobre o solo durante o período seco e que não foi decomposta. Amostras coletadas em junho de 2007 (depois do período chuvoso) apresentaram pouca quantidade de serrapilheira.

Wieder e Wright (1995) afirmam que a sazonalidade da umidade do solo é capaz de controlar a decomposição da serrapilheira. Eles encontraram maior perda de biomassa na serrapilheira submetida à irrigação do que na não irrigada. Isto indica rápida decomposição da serrapilheira, quando esta se encontra umedecida. É possível que o aumento da taxa de decomposição da serrapilheira contribua para o maior efluxo de CO₂ durante período chuvoso.

No entanto, Vasconcelos et al. (2004) encontraram durante o período chuvoso uma diminuição na diferença do efluxo de CO₂ entre a área com remoção da serrapilheira e a área controle, sugerindo que contribuições da respiração abaixo do solo foram maiores durante período chuvoso.

Futuros estudos devem ser realizados para identificar a contribuição da serrapilheira para o aumento do efluxo de CO₂ durante o período chuvoso.

O valor médio do efluxo de CO₂ observado na parcela sob capoeira e na parcela sob trituração foram maiores do que os efluxos observados na literatura (VASCONCELOS et al., 2004; VERCHOT et al., 2008). Pinto Júnior et al. (2006) afirmam que os efluxos de CO₂ medidos pelo aparelho EGM foram 33,6% maiores do que os efluxos medidos com o LI-COR. Além da diferença relacionada ao equipamento, outros fatores devem estar contribuindo para maiores efluxos de CO₂ nas parcelas deste estudo (tempo de implantação no manejo, quantidade de carbono no solo, abertura do dossel da capoeira, espécies próxima ao local da medida etc.)

5.12 RELAÇÃO ENTRE EFLUXO DE CO₂ E UMIDADE DO SOLO

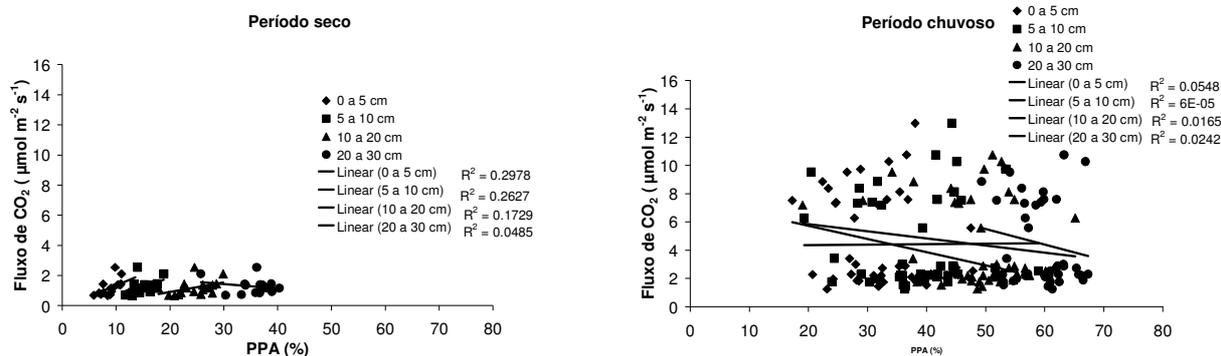
No período seco, a relação entre o fluxo de CO₂ e a porcentagem de poros preenchidos por água foi significativamente e positiva na parcela sob trituração, durante o período seco nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm ($R^2=0.30$, 0.26 e 0.17 , respectivamente). As parcelas sob queima e sob capoeira não apresentaram uma relação significativa, como pode ser visto na Figura 12.

No período chuvoso, somente a parcela sob capoeira apresentou relação negativa entre o fluxo de CO₂ e porcentagem de poros preenchidos por água (em todas as profundidades estudadas). As parcelas sob trituração e sob queima não apresentaram relação significativa.

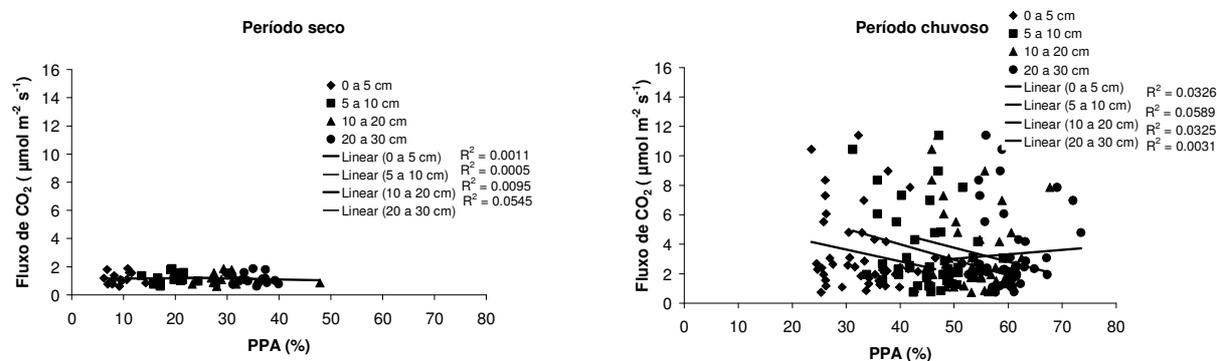
A umidade do solo interfere de duas maneiras no fluxo de CO₂ do solo para a atmosfera: 1) no suplemento de nutrientes que só são disponíveis às bactérias quando dissolvidos no filme de água no solo e; 2) no conteúdo de água nos poros, que controla a difusão dos gases através do solo.

Quando totalmente seco, o solo é composto somente de partículas sólidas e ar. O volume total de espaço preenchido por ar é chamado de poro. Quando há déficit hídrico as partículas do solo perdem a película de umidade, dificultando a difusão de íons e deixando os poros livres para a difusão de gases. Esta condição facilita a difusão os gases, mas altera o metabolismo das bactérias (ABER; MELILLO, 2001; MATSON; HARRIS, 1995) e consequentemente a degradação da matéria orgânica e a liberação de CO₂. Quando a quantidade de água contida no solo aumenta, a fração total de poros preenchidos por água aumenta, restaurando a difusão de íons e dificultando a difusão de gases (ABER e MELILIO, 2001).

Parcela sob trituração



Parcela sob queima



Parcela sob capoeira

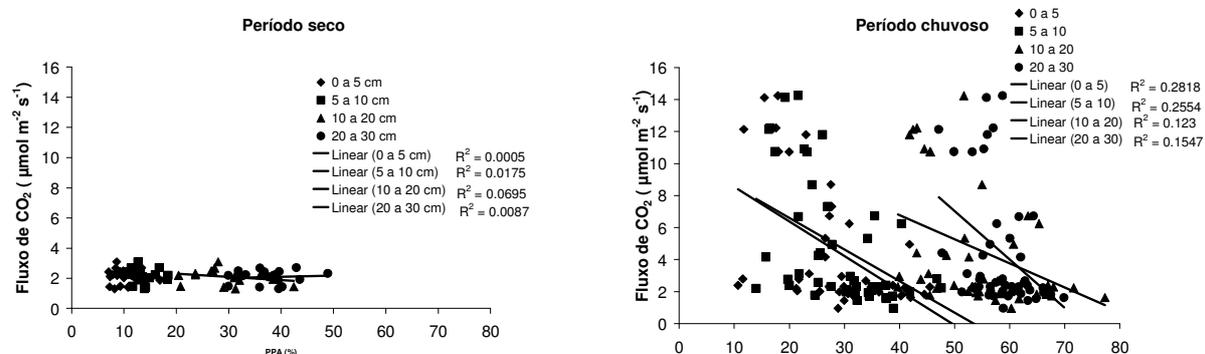


FIGURA 12 - Regressão linear entre o efluxo de CO_2 e a porcentagem de poros preenchidos por água (PPA) na parcela sob trituração, sob queima e sob capoeira. O efluxo superficial de CO_2 , emitido pelo solo, foi relacionada a PPA nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 centímetros.

No final de dezembro, todos os efluxos de CO_2 medidos foram maiores do que a média dos efluxos no período seco (outubro, novembro e início de dezembro de 2007). Nos outros meses do período chuvoso (janeiro, fevereiro,

março-abril, maio de 2008), alguns pontos de medida apresentaram baixo efluxo de CO₂ (igual ao do período seco). Isto sugere que no início, o aumento da umidade favoreceu a produção de CO₂ em todos os pontos medidos. Porém, depois de decorrido um tempo, o próprio aumento da decomposição da matéria orgânica (com produção de CO₂) pode ter alterado o substrato – diminuindo assim a emissão de CO₂. Desta forma, o aumento da umidade já não apresentou efeito homogêneo sobre a produção de CO₂. A propósito, Davison et al. (1998) e Savage e Davidson (2003) também encontram este pulso na emissão de CO₂ após o rápido umedecimento do solo seco, similar ao encontrado neste estudo.

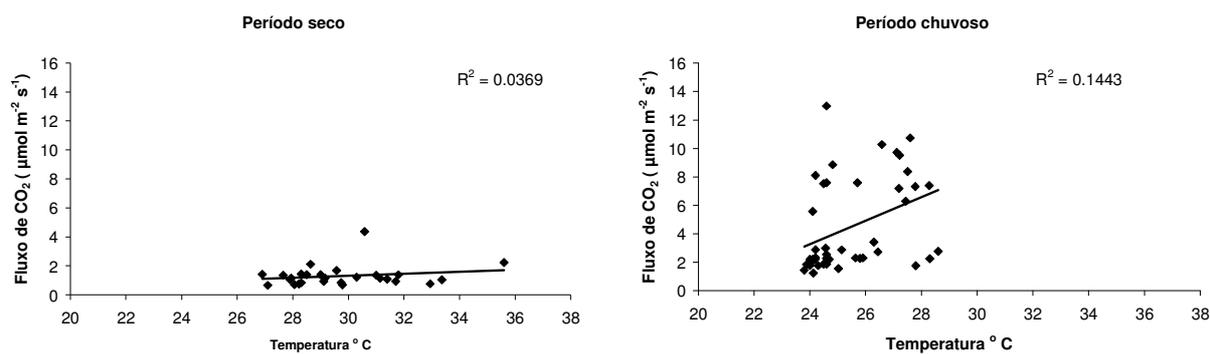
Ressalte-se que Kieft et al. (1987) encontraram que 1/3 a 1/4 da biomassa microbiana no solo é destruída em um ciclo de um período de solo seco para um período de solo úmido. Assim, o rápido umedecimento do solo liberaria mais carbono microbiano para o meio extracelular, o que faria com que a população de microorganismos sobreviventes se reproduzisse mais rapidamente. Conseqüentemente, este crescimento promoveria maior produção de CO₂.

5.13 RELAÇÃO ENTRE O EFLUXO DE CO₂ E A TEMPERATURA DO SOLO

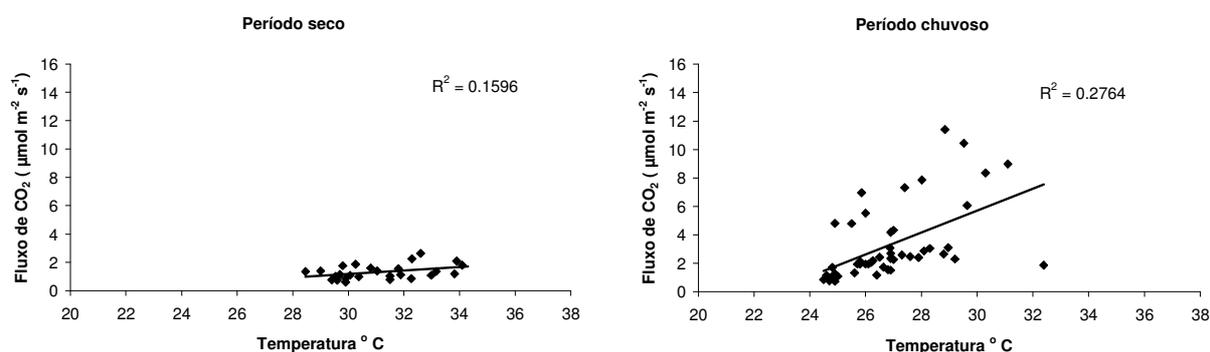
Alguns estudos mostram que a atividade microbiana no solo aumenta linearmente com a temperatura (BEKKU et al., 2003; SUBKE et al., 2003). Por outro lado, altas temperaturas podem influenciar a velocidade das reações enzimáticas da microbiota do solo, restringindo sua atividade metabólica (FANG e MONCRIEFF, 2001).

A relação entre o efluxo de CO₂ e a temperatura do solo, nas parcelas estudadas, é apresentada na Figura 13. No período chuvoso, todas as parcelas deste estudo apresentaram relação positiva entre o fluxo de CO₂ e a temperatura. No período seco, somente na parcela sob queima houve relação.

Parcela sob trituração



Parcela sob queima



Parcela sob capoeira

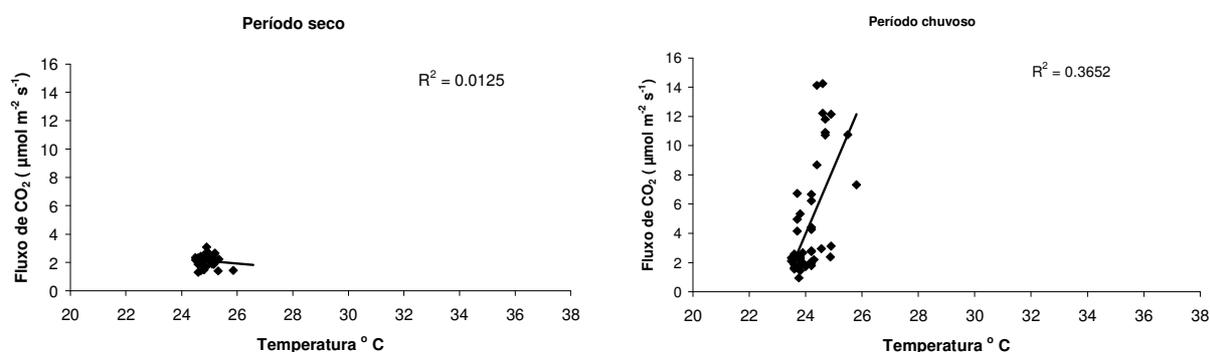


FIGURA 13 - Regressão linear entre o efluxo de CO₂ e a temperatura do solo na parcela sob trituração, sob queima e sob capoeira.

É possível observar que existe relação entre o fluxo de CO₂ e a temperatura do solo quando o solo encontra-se em situações de maior umidade. No período chuvoso, todas as parcelas estudadas apresentaram relação significativa entre o fluxo de CO₂ e a temperatura. No período seco, a parcela sob queima foi a única a apresentar relação significativa. Esta parcela, no período seco, apresentou maior umidade no solo do que as demais

parcelas. É possível que exista um nível mínimo de umidade no solo para que o aumento da temperatura provoque o aumento do metabolismo.

Em todas as parcelas estudadas a temperatura do solo não foi alta, chegando ao máximo a 36°C. Isto exclui a possibilidade de restrição do metabolismo microbiano devido a altas temperaturas.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Todas as parcelas estudadas (parcela sob trituração, sob queima e sob capoeira) apresentaram maior efluxo de CO₂ durante o período chuvoso – quando comparado com o período seco. No entanto, as maiores taxas metabólicas dos microbianos e a maior quantidade de carbono da biomassa microbiana foram encontradas nas amostras coletadas durante o período seco e não no período chuvoso. Portanto, mudanças na dinâmica do carbono no solo não justificam a mudança sazonal. É possível que a variação sazonal do efluxo de CO₂ esteja relacionada com o crescimento e a taxa de respiração de raízes. Estudos futuros devem incluir análise isotópica do CO₂ emitido pelo solo, para identificar a origem de sua produção.

Diferente do que era esperado, mudanças no uso da terra não alteraram a biogeoquímica do carbono no solo das parcelas deste estudo. Somente mudanças de umidade e temperatura do solo foram relacionadas a alterações nos fatores que participam da dinâmica do carbono no solo. Isso indica que mudanças climáticas possuem maior potencial para alterar a dinâmica do carbono no solo, do que algumas mudanças no uso da terra.

Apesar dos dados preliminares indicarem um acúmulo de carbono no solo da parcela triturada (até 10 cm de profundidade), devido grande variação espacial e o número reduzido de amostras de carbono no solo, não foi possível comprovar que a parcela sob trituração possui um estoque de carbono no solo significativamente maior do que a parcela sob queima.

A análise da quantidade de serrapilheira sobre o solo demonstrou que - na parcela sob trituração - a proteção do solo (devido à cobertura com material

da capoeira triturada) não é um benefício a longo prazo. No período deste estudo (mais de dois anos após a trituração da capoeira), já não havia uma quantidade significativa de material triturado sobre o solo da parcela sob trituração, quando comparado com a parcela sob queima.

REFERENCIAS

ABER, J. D.; MELILLO, J. M. **Terrestrial Ecosystems**. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1991.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. New York: Academic Press, 1995.

ALVAREZ, R. et al. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v.33, p.17-28, 1995.

ANDREAE, M. O. et al. Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases, and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH experiments. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v.107, n.D20, 2002.

ARTAXO, P. et al. Química atmosférica da Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **ACTA Amazônica**, v.35, n.2, p.185-196, 2005.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia**. 10 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BALOTA, E. L. et al. Biomassa microbiana e sua atividade em solo sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.22, p.641-649, 1998.

BAUHUS, J.; PARÉ, D.; COTÉ, L. Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in a southern boreal forest. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, p.1077-1089, 1998.

BEKKU, Y. S. et al. Effect of warming on the temperature dependence of soil respiration rate in arctic, temperate and tropical soil. **Applied Soil Ecology**, v.22, n.3, p.205-210, 2003.

BERNOUX M. et al. Modeling vertical distribution of carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondonia). **Soil Science**, v.163, n.12, p. 941-951. 1998.

BERNOUX M. et al. Brazil's Soil Carbon Stocks. Brazil's Soil Carbon Stocks. Soil Science Society of America Journal.2002.

BOWDEN, R. D. et al. Contributions of aboveground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. **Canadian Journal Research**, v.23, p.1402-1407, 1992.

CATTANIO,J.H. et al. Unexpected results of a pilot throughfall exclusion experiment on soil emissions of CO₂, CH₄, N₂O, and NO in eastern Amazonia. **Biology and Fertility of Soils**, v.36,p.102-108,2002.

COSTA, F. S. et al. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, v.36, n.2, p.693-700, 2006.

DAVIDSON, E. A.; BELK, E.; BOONE, R. D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperature mixed hardwood forest. **Global Change Biology**, v.4, n.2, p.217-227, 1998.

DAVIDSON, E. A.; ISHIDA,F.I; NEPSTAD,D.C. Effect of an experimental drought on soil emissions of carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and nitric oxide in a moist tropical forest. **Global change Biology**, v. 10, p.718-730, 2004.

DAVIDSON, E. A.; TRUMBORE,S. E. Gas diffusivity and production of CO₂ in deep soils of eastern Amazon. **Tellus B**, v.47, n.5, p.550-560, 1995.

DAVIDSON, E. A. et al. Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forest following agricultural abandonment. **Nature**, v.447, p.995-999 , 2007.

DAVIDSON, E. A et al. An integrated greenhouse gas assessment of an alternative to slash-and-burn agriculture in eastern Amazônia,v.24,n.5,p.998-1007,2008.

EMBRAPA/Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. **Diversidade de invertebrados no solo com diferentes coberturas vegetais no nordeste paraense**. Belém, 1998.

EMBRAPA/Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. **Carbono e respiração da biomassa microbiana do solo sob diferentes manejos em Pomar de Laranja “Pêra” nos tabuleiros costeiros da Bahia**, dez 2005.

EMBRAPA/Comunicado Técnico. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Seropédica/RJ, 2007.

FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. **Soil Biology & Biochemistry**, v.33, n.2, p.155-165, 2001.

FEARNSIDE, P. M. Queimadas: Fogo e a emissão de gases do efeito estufa de ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, n.44, 2002.

FLANNERY, T. **Senhores do clima**. Rio de Janeiro: Record, 2007.

FLORENZANO, T. G. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GASH, J. C. H. et al. (Eds.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996.

GIARDINA, C. P. et al. The effects of slash burning on ecosystem nutrients during the land preparation phase of shifting cultivation. **Plant and Soil**, v.220, p.247-260, 2000.

GRAEDEL, T. E.; CRUTZEN, P. J. **Atmospheric Change: An Earth System Perspective**. New York: W. H. Freeman and Company, 1993.

HANWANT, B.S. (Ed.). **Composition Chemistry and Climate of the Atmosphere**. New York: John Wiley & Sons, 1995.

HARTMANN, D. L. **Global Physical Climatology**. California: Academic Press, 1994.

HÖGBERG, P. et al. Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. **Nature**, v.411, p.789-792, 2001.

HURTIENNE, T. **Agricultura familiar na Amazônia Oriental. Uma comparação dos resultados da pesquisa socioeconômica sobre fronteiras agrárias sob condições históricas e agroecológicas diversas**. Disponível em < www.gipaf.cnptia.embrapa.br/itens/publ/sober/trab248.pdf > Acesso em 19/07/2006.

HÜTSCH, B. W. Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production – invited paper. **European Journal of agronomy**, v.14, p.237-260, 2001.

INSAM, H.; MITCHELL, C. C.; DORMAAR, J. F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, p.459-464, 1991.

IPCC. **Climate Change: Third Assessment Report**, 2001.

IPCC. **Climate Change: Fourth Assessment Report**, 2007.

IPCC/ONU: **Novos Cenários Climáticos: Relatório divulgado na Conferência Latino Americana sobre Meio Ambiente e Responsabilidade Social**, 2007, Paris. Disponível em < www.ecolatina.com.br > Acesso em 15/03/2007.

ISHIZUKA, S.; TSURUTA, H.; MURDIYARSO, D. n intensive field study on CO₂, CH₄ and N₂O emissions from soils at four land-use types in Sumatra, Indonésia. **Global Biogeochemical Cycles**, v.16, n.3, p.1049, 2002.

KATO, O. R. **Fire-free Land Preparation as alternative to Slash-and-burn Agriculture in the Bragantina Region, eastern Amazon: Crop Performance and Nitrogen Dynamics**. 1998. These (Doctor in Agricultural Sciences) - Faculty of Agricultural Sciences. Göttingen, 1998.

KHALIL, M. A. K. **Encyclopedia of Environmental Biology**. New York: Academic Press, 1995.

KELLER, M. et al. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, nitric oxide, methane, and carbon dioxide in logged and undisturbed forest in Tapajós National Forest, Brazil. **Earth Interaction**, v.9, p.1-28, 2005.

KIEFT, T.L.; SOROKER, E.; FIRESTONE, M.K. Microbial biomass response to a rapid increase in water potential when dry soil is wetted. *Soil Biology & Biochemistry*, v.19, n.2, p.119-126, 1987.

LA SCALA Jr, N. et al. Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO₂ emissions from a Brazilian bare soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v.32, n.10, p.1459-1462, 2001.

LOVELOCK, J. **A vingança de Gaia**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2006a.

LOVELOCK, J. **Gaia: cura para um planeta doente**. São Paulo: Cultrix, 2006b.

MAIA, R. S. Relatório Técnico Final de Bolsa ITI/CNPq, 2008.

MARCKENSE, J. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in Easter Amazônia. **Forest Ecology and Management**, v.86, p.121-128, 1996.

MATSON, P. A.; HARRIS, R. C. **Biogenic trace gases: Measuring emissions from soil and water**. Cambridge: EdBlackwel, 1995.

MAWDSLEY, J. L.; BARDGET, R. D. Continuous defoliation of perennial ryegrass (*Lolium perene*) e white clover (*trifolium repens*) and associated changes in the composition and activity of the microbial population of upland grassland soil. **Biology and Fertility of soils**, v.24, p.52-58, 1997.

McCLAIM, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. **The Biogeochemistry of the Amazon Basin**. US: Oxford University Press, 2001.

METZGER, J. P. Landscape dynamic and equilibrium in areas of slash-and burn agriculture with short and long fallow period (Bragantina region, NE Brazilian Amazon). **Landscape Ecology**, v.17, p.419-431, 2002.

MOSIER, A. et al. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. **Environment, Development and Sustainability**, v.6, p.11-49, 2004.

MURTY, D. et al. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. **Global Change Biology**, v.8, n.2, p.105, 2002.

NEPSTAD, D. C.; ALENCAR, A.; MOREIRA, A. **A floresta em chamas: origens, impactos e prevenção do fogo na Amazônia**. Brasília: Quick Printer, 1999.

NEPSTAD, D. et al. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**, v.154, n.3, p.395-407, 2001.

NORMA, J. M.; VERMA, R. G. Soil surface CO₂ fluxes and the carbon budget of a grassland. **Journal of Geophysical Research**, v.97, n.D17, p.18,845-18,853, 1992.

OLIVEIRA Jr. R.C. Quantificação e caracterização química da água da chuva e de throughfall e fluxos de gases traço em floresta de terra firme na FLONA-Tapajós, Belterra-Pará.2006.Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia – Universidade Federal do Pará. Belém,2006.

PALM, C. A. et al. Soil biological dynamics in slash-and-burn agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.58, p-61-74,1996.

PAUSTIAN,K. et al. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use and Management*, v.13, n.4,p.230-244, 2007.

RAICH, J. W.; SCHLENSINGER, W. H. The global carbon dioxide flux in soil respiration relationship to vegetation and climate. **Tellus**, v.44B, p.81-99, 1992.

ROBERTS, J. M. **Effects of temperature on soil respiration**: a brief overview. Wallingford: Center for Ecology and Hydrology,2000.

ROBERTSON, G. F.; PAUL, E, A.; HARWOOD, R. R. Greenhouses gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. **Science**, v.289, 2000.

RUDDIMAN, W. F. A mão do homem. In: A Terra na Estufa. **Scientific American Brasil**. Edição Especial, n.12, 2005.

SAFFIGNA, P. G. et al. Influence of sorgum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. *Soil Biology and Biochemistry*, v.21, p.759-765, 1989.

SALIMON, C. I. **Respiração do solo sob floresta e pastagem na Amazônia Sul-Ocidental, Acre**. 2003. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SAVAGE,K.E.;DAVIDSON,E.A. A comparison of manual and automated systems for soil CO₂ flux measurements: trade offs between spatial and

temporal resolution. **Journal of Experimental Botany**, v.54,n. 384, p.891-899, 2002.

SAVIOZZI, A. et al. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology & Fertility of Soils**, v.35, p.96-101, 2002.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry and analysis of global change**. 2. ed. United State of American: Durham, 1997.

SHAH,N.H.;PAULSEN,G.M. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain – filling of wheat. **Plant and Soils**, v.257, p.219-226,2003.

SILVER, W. L.; OSTERTAG, R.; LUGO, A. E. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. **Restoration Ecology**, v.8, n.4, p. 394-407, 2000.

SISTI, C. J. et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 76, p. 39-58, 2004.

SOMMER, R. et al. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the eastern Amazon – evidence for subsoil nutrient accumulation. **Earth and Environmental Science**, v.68, n.3, p.257-271, 2004.

SOTTA, E. D. **Fluxo de CO₂ entre solo e atmosfera em floresta tropical úmida da Amazônia Central**.1998. Dissertação (mestrado em Ciências Florestais) - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia. Manaus, 1998.

SOTTA, E. D. et al. Soil CO₂ efflux in a tropical forest in the central Amazon.**Global Change Biology**,v.10,n.5,p.601-617,2004.

SPARKS, D. L. **Advances in Agronomy**, v.73, San Diego: Academic Press, 2001.

SUBKE, J. A.; REICHSTEIN, M; TENHUNEN, J. D. Explaining temporal variation in soil CO₂ efflux in manure spruce forest in Southern Germany. **Soil Biology & Biochemistry**, v.35, n.11, p.1467-1483, 2003.

TRUMBORE, S. E. et al. Seasonal variation in the soil respiration rate in coniferous forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.34, n.9, p.1375-1379, 2002.

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

VASCONCELOS, S. S. et al. Moisture and substrate availability constrain soil trace gas fluxes in an eastern Amazonian regrowth forest. *Global Biogeochemical Cycles*, v.18, p.GB2009, 2004.

VERCHOT, L. V. et al. Land use change and biogeochemical controls of methane in soils in eastern Amazonia. *Ecosystems*, v.3, p.41-56, 2000.

VERCHOT, L. V. et al. Fluxes of CH₄, CO₂, NO and N₂O in an improved fallow agroforestry system in eastern Amazônia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, n.126,p.113-121,2008.

VIEIRA, I. C. G. et al. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazônia. *Remote Sensing of Environment*, v.87, p.470-481, 2003.

YEARGER, C. M. et al. Changes in nitrogen-fixing and ammonia-oxidizing bacterial communities in soil of a mixed conifer forest after wildfire. *Applied and Environmental Microbiology*, v.71, n.5, p.2713-2722, 2005.

YIM, M. H.; JOO, S. J.; NAKAN, K. Comparison of field methods for measuring soil respiration a static alkali absorption method and two dynamic closed chamber methods. *Forest Ecology and Management*, v.170, n.1-3, p.189-197, 2002.

WAGAI, R. et al. Land use and environmental factors influencing soil surface in natural and manager ecosystems in Southern Wisconsin. *Soil Biology & Biochemistry*, v.30, n.12, p.1501-1509, 1998.

WALCKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. V.37, p.29-38, 1934.

WARDLE, D. A.; GHANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO₂) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil and Biochemistry*, v.27, n.12, p.1601-1610, 1995.

WARRICK, A. D. W. **Soil water dynamics**. New York: Oxford University Press, 2002.

WIEDER, R. K.; WRIGHTS. J. Tropical forest litter dynamic and dry season irrigation on Barro Colorado Island, Panama. *Ecology*. V.76, p.1971-1979,1995.