

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM**

**FLUXO DE METANO EM CUPINZEIROS EPÍGEOS EM FLORESTAS E
AMBIENTES ALTERADOS NA AMAZÔNIA CENTRAL**

JULIETE MARIA TOMÉ DE QUEIROZ

Dissertação apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, área de concentração em Ciências de Florestas Tropicais.

MANAUS – AM

2004

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM**

**FLUXO DE METANO EM CUPINZEIROS EPÍGEOS EM FLORESTAS E
AMBIENTES ALTERADOS NA AMAZÔNIA CENTRAL**

JULIETE MARIA TOMÉ DE QUEIROZ

Orientador: **Dr. FLÁVIO J. LUIZÃO**

Dissertação apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, área de concentração em Ciências de Florestas Tropicais

Fonte Financiadora: Projeto Milênio – LBA – Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia.

MANAUS – AM

2004

Queiroz, Juliete Maria Tomé de

Fluxo de metano em cupinzeiros epígeos em florestas e ambientes alterados na Amazônia Central./Queiroz, Juliete Maria Tomé de – Manaus, 2004.

63p.

Dissertação de Mestrado – INPA/UFAM.

1. Fluxo de metano 2. Cupinzeiros epígeos 3. Trocas gasosas 4. Áreas degradadas 5. Sistemas agroflorestais

CDD.....

Sinopse:

Estudou-se o fluxo de metano em cupinzeiros epígeos e no solo adjacente ao cupinzeiro. A cobertura vegetal com a maior compactação superficial foi a pastagem. A floresta secundária (capoeira) foi a cobertura vegetal com o maior número de cupinzeiros por hectare, e a floresta primária foi a cobertura vegetal que apresentou a maior área coberta por cupinzeiros. O fluxo de CO₂ foi correlacionado significativamente à umidade do solo. A pastagem foi a cobertura vegetal que apresentou maior fluxo de CH₄

Palavras-chave: Cupinzeiros epígeos, fluxo de metano, fluxo de dióxido de carbono, sistemas agroflorestais, compactação, efeito estufa.

Aos meus pais,
A meu esposo, Ronaldo,
Ao meu filho, Rui Queiroz.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradecer a Deus, por ter me fornecido força, paciência e principalmente saúde para que eu pudesse realizar esse trabalho;

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação;

Ao Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), projeto ND-04, pela bolsa de estudo concedida, sem a qual este estudo não teria sido possível;

Ao projeto Milênio-LBA, pela ajuda de custo e logística que foram fundamentais para a conclusão do trabalho;

Ao Dr. Flávio Luizão, pela orientação constante e valiosa deste estudo, e pela confiança na minha capacidade de trabalho;

Ao Dr. Erik Fernandes, pela valiosa ajuda à distância e pela confiança em meu trabalho;

Ao Dr. Eric Davidson, que mesmo sempre muito ocupado, reservou um tempo para me ajudar nas análises dos dados;

Aos novos colegas Elisana, Jorge, Ivanildo e todos do laboratório de Ecofisiologia da Embrapa- Belém;

Ao coordenador do curso de Ciências de Florestas Tropicais do INPA, Dr. José Francisco de Carvalho Gonçalves, pela eficiente gestão, que contribuiu para o desenvolvimento suave do curso e de meu projeto;

Às pessoas do projeto “Recuperação de áreas degradadas através de sistemas agroflorestais” do CPAA/Embrapa, Elisa Wandelli, Joanne Régis, pela oportunidade de participar do projeto e pelas sugestões neste trabalho;

À Tânia Pimentel, pela sua contribuição na montagem da metodologia;

A Eliane, pela sua ajuda nas coletas de campo e pela companhia constante;

Ao pessoal do Escritório Central do LBA, Ruth, Erika e Sulamita, pela eficiência na realização de seus trabalhos;

Aos amigos de turma de Mestrado em Ciência de Florestas Tropicais de 2002, especialmente a Andreia Barroso, Márcia Green e Maria Eliane;

Aos amigos Lucerina e Sandra Tapia, Jorge Gallardo, Ivan Córtes, pela amizade;

Ao amigo Sr. Napoleão, no acampamento ZF-2, km 34, pela competência na realização de seu trabalho;

Aos meus pais, Juarez e Maria Aliete, que me deram força e apoio e carinho sempre, bem como aos meus irmãos Frank, Jucielle, Jucelia e Jucileny;

Especialmente a meu esposo, Ronaldo de Ribeiro de Moraes, e a meu querido filho Rui Queiroz de Moraes, pelo carinho, amor e confiança em minha pessoa;

Finalmente, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, compartilharam sua amizade e contribuíram para concretização desta etapa em minha vida.

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
FIGURA 1. Localização da Embrapa/ CPAA-Manaus, no Distrito Agropecuário da SUFRAMA.	13
FIGURA 2. Delineamento experimental original dos blocos e tratamentos dos sistemas agroflorestais e o controle. Adaptado de Souza (1995).	17
FIGURA 3. Câmara portátil e anel de PVC, fixados nos cupinzeiros e no solo adjacente ao cupinzeiro.	20
FIGURA 4. Número de cupinzeiros por hectare sob diferentes coberturas vegetais.	24
FIGURA 5. Porcentagem de área coberta por cupinzeiros sob diferentes coberturas vegetais.	24
FIGURA 6. Médias da resistência do solo à penetração, sob diferentes coberturas vegetais.	25
FIGURA 7. Fluxo de CO ₂ no solo adjacente ao cupinzeiro utilizado como controle	27
FIGURA 8. Fluxo de CH ₄ em solos adjacentes aos cupinzeiros utilizados como controle nas diferentes coberturas vegetais.	29
FIGURA 9. Regressão entre a umidade gravimétrica do solo e a NC x (média do número de impactos para a sonda cônica penetrar 10 cm no solo)	30

- FIGURA 10.** Regressão entre o fluxo de CO₂ e a compactação superficial do solo (0-10 cm), nas diferentes coberturas vegetais 31
- FIGURA 11.** Regressão entre o fluxo de metano no solo adjacente ao cupinzeiro e Nc x (média do número de impactos para a sonda cônica penetrar 10 cm no solo) 32
- FIGURA 12.** Regressão entre a umidade gravimétrica e o fluxo de CO₂ no solo adjacente ao cupinzeiro usado como controle nas diferentes coberturas vegetais 33
- FIGURA 13.** Regressão entre o fluxo de metano em cupinzeiros e a umidade gravimétrica do solo 34
- FIGURA 14.** Regressão entre o fluxo de metano no solo adjacente ao cupinzeiro e a umidade gravimétrica 34
- FIGURA 15.** Estimativa do fluxo médio anual de metano no cupinzeiro e no solo adjacente ao cupinzeiro nas diferentes coberturas vegetais 36

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Identificação das fontes e potencial anual para produção de metano na terra.....	9
TABELA 2. Histórico de uso da área de pastagem degradada onde foram implantados os sistemas agroflorestais.....	16
TABELA 3. Porcentagem de umidade gravimétrica sob as diferentes coberturas vegetais, nos períodos seco, de transição e chuvoso de 2003 e 2004..	26
TABELA 4.- Fluxo de metano ($\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$) em cupinzeiros epígeos, sob diferentes coberturas vegetais e períodos de precipitação.....	28

RESUMO

Entre os principais gases responsáveis pelo efeito estufa estão o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄), produzido principalmente em solos naturalmente alagados, lavouras de arroz, gado, térmitas, desperdícios sólidos, oceanos e tundras. O metano merece destaque devido à quantidade emitida e à sua forte atividade desempenhada na absorção radiativa. No seu metabolismo, os cupins são grandes produtores de metano por meio dos microrganismos anaeróbios que vivem em simbiose com o cupim. O objetivo do presente estudo foi o de quantificar os fluxos de metano em cupinzeiros epígeos encontrados em pastagem ativa sistemas agroflorestais (SAFs), floresta secundária, e floresta primária e relacioná-los com a temperatura, umidade do solo e a compactação do substrato. As medidas foram conduzidas na região norte de Manaus (2°31' a 2° 32' S e 60° 01' e 60° 02' W). O tratamento com maior número de cupinzeiros epígeos foi a capoeira (81,6 cupinzeiros), seguido pelo sistema agroflorestal e a floresta primária (35,6 e 28,6 respectivamente). A floresta primária apresentou uma maior cobertura por cupinzeiros (21%), seguida pela capoeira (17,5%), SAFs (13%), e pastagem (11,5%). Há uma maior compactação no solo da pastagem em relação aos outros tratamentos: foi necessária uma média de 11,4 batidas para que o penetrômetro de impacto perfurasse o solo até 10 cm. Houve diferenças na umidade gravimétrica do solo (0-10 cm), no período de transição e no período chuvoso; no período de transição, a floresta secundária (capoeira) apresentou valores 26,1 e 34,5 % mais altos do que a pastagem e a floresta, respectivamente. No período de transição a floresta primária apresentou maior fluxo de CO₂ em relação ao sistema agroflorestal, sem diferença deste para a floresta secundária (capoeira) e pastagem. Houve um maior fluxo CO₂ na área de pastagem no período chuvoso em relação ao período seco sem diferença destes para o período de transição (1,1 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹). O fluxo de CO₂ nos solos adjacentes aos cupinzeiros epígeos não registrou correlações estatisticamente significativas com a compactação (R²=0,07; p= 0,11). O fluxo de metano nos cupinzeiros epígeos não registrou correlações estatisticamente significativas com a umidade (R²= -0,05; p= 0,19). É necessário avaliar vários fatores que estão relacionados com o fluxo de metano emitido por cupins para se estimar melhor a contribuição dos cupins para o fluxo total de metano para a atmosfera, e relacioná-lo às mudanças na cobertura vegetal.

PALAVRAS-CHAVE: Fluxo de metano, cupinzeiros epígeos, sistema agroflorestal, compactação, Amazônia.

ABSTRACT

The gases primarily responsible for the greenhouse effect are carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄), primarily produced by swampy areas, rice paddies, cattle, termites, solid waste, oceans, and tundra, among others. Methane deserves greater attention due to the large quantity emitted as well as its role in radiation absorption. In the process of metabolism, termites are a large producer of methane due to the anaerobic microorganisms that live in symbiosis with the termite. The objective of the present study was to quantify the methane release of mounds (ground termites) found in active pastures in agro-forestry systems, secondary forest, and primary forest, and evaluate this data with respect to temperature, soil humidity and soil compaction. The data were collected in the northern region of Manaus (2°31' to 2° 32' S and 60° 01' to 60° 02' W). The treatment with the largest number of termites was the secondary forest (81.6 termites), followed by the agro-forestry system and the primary forest (35.6 and 28.6 respectively). The primary forest showed a greater covering by termites (21%), followed by the secondary forest (17.5%), the agro-forestry system (13%), and the pasture (11.5%). The pasture showed greater soil compaction when compared to the other treatments: an average of 11.4 strikes was necessary for the impact penetrometer to reach 10 cm of depth. There were also differences in the gravimetric humidity of the soil (0-10 cm) in both the transitional and rainy periods; in the transitional period, the secondary forest (capoeira) had values 26.1 and 34.5% higher than the pasture and the forest, respectively. In the transitional period, the primary forest showed the greatest measured CO₂ release when compared to the agro-forestry system, without any noted differences for the secondary forest or the pasture. There was greater measured CO₂ release in the pasture area during the rainy period than in the dry period, with no noted difference found during the transitional period (1.1 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹). The measured methane release from the termites showed no statistically significant relationship with soil moisture (R²= 0,05; p= 0,19). In order to find significant values concerning the termites' contribution to the total percentage of methane found in the atmosphere, it is necessary to evaluate more factors that are linked to the release of methane by termites.

KEYWORDS: Methane release, termite mounds, agro-forestry system, soil compaction, Central Amazonia.

SUMÁRIO

	Página
Agradecimentos	v
Lista de Figuras	Vii
Lista de Tabelas	ix
Resumo	x
Abstract	xii
1.INTRODUÇÃO.	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Floresta tropical e o seqüestro de carbono	4
2.2. Mudança do uso da terra e os balanços globais de CH ₄ e o CO ₂	5
2.2.1 Gás metano: um dos principais causadores do efeito estufa	6
2.2.2 Principais fontes de metano	8
2.3. Pastagens degradadas na Amazônia	10
2.4. Sistemas agroflorestais como forma de manejo de áreas degradadas	10
3. OBJETIVO	12
3.1. OBJETIVO GERAL	12
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3.3. HIPÓTESES	12
4. MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1. Área de estudo	13
4.2. Clima	14
4.3. Solo	14
4.4. Histórico das áreas	15
4.5. Metodologia das coletas	18
4.5.1 Delineamento experimental	18
4.5.2. Armazenamento do gás metano	19
4.5.3. Medidas de concentração do metano	19
4.5.4. Cromatógrafo a gás	21
5. RESULTADOS	22

5.1. Quantidade de cupinzeiros encontrados sob diferentes coberturas vegetais	22
5.2.. Compactação do solo nas diferentes coberturas vegetais	24
5.3. Umidade e o fluxo de metano	25
5.4. Fluxo de CO ₂ nos diferentes coberturas vegetais	26
5.5. Fluxo de metano em cupinzeiro epígeo	27
5.6. Relação entre a umidade gravimétrica e a compactação superficial do solo	29
5.7. Relação entre o fluxo de metano e a compactação superficial do solo	30
5.8. Relação entre o fluxo de CO ₂ e a compactação superficial do solo	30
5.9. Relação entre o fluxo de CO ₂ e a umidade do solo	31
5.10. Relação entre o fluxo de metano e a umidade	32
5.11. Estimativa do fluxo anual de metano em cupinzeiro epígeos e o solo adjacente.	34
6. DISCUSSÃO	36
6.1. Quantidade de cupinzeiros encontrados nas diferentes coberturas vegetais	36
6.2. Compactação nas diferentes coberturas vegetais e sua influência no fluxo de metano	37
6.3. Fluxo de CO ₂ nos diferentes coberturas vegetais	40
6.4. Fluxo de metano em cupinzeiros epígeos	42
7. CONCLUSÕES	47
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
9. APÊNDICE	57

1. Introdução

A fauna do solo é composta por invertebrados atuantes em ecossistemas terrestres, mais precisamente associados ao compartimento solo-liteira (Lavelle *et al.*, 1993). Estes invertebrados atuam nos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, assim como na modificação de propriedades químicas e físicas desse compartimento, devido à movimentação dos organismos no perfil de solo. Para alguns grupos da fauna do solo, essa modificação do ambiente é tão intensa que, no caso de minhocas e cupins, são chamados de engenheiros-do-ecossistema (Lavelle, 1996).

Cupins ou térmitas são insetos que pertencem à ordem Isoptera e se distribuem em todas as regiões tropicais; um número relativamente pequeno habita regiões temperadas, sendo que alguns ocorrem na latitude de 45° S (Araújo, 1970) e outros até 48° N (Emerson, 1955), mas a maior variedade em espécies e abundância de indivíduos ocorre nas regiões mais quentes da terra que se localizam próximas à linha do Equador (Harris, 1966; Wood, 1975). Nestas regiões eles apresentam alta biomassa e contribuem substancialmente para a ciclagem de nutrientes e a formação do solo em ecossistemas tropicais (Lee & Wood, 1971; Lal, 1987; Lobry de Bruyn, 1990; Wilson, 1992; Martius, 1994). Das mais de 2500 espécies conhecidas no mundo, em torno de 300 são notórias como pragas de lavouras e estruturas da madeira (Logan *et al.*, 1990). As espécies de cupins da região amazônica são em sua maioria xilófagas e, em segundo lugar, humívoras; há espécies que comem madeira em decomposição e folhas da liteira, sendo que os *Syntermes* só comem folhas (Bandeira, 1979; 1989; Mill, 1982; Martius, 1987). O consumo de folhas caídas por *Syntermes* pode ser de 40% ou mais do que a floresta produz (acima de 7 $\text{tha}^{-1}/\text{ano}^{-1}$) (Luizão & Schubart, 1986); juntando-se a atividade de

Ruptitermes e de *Nasutitermes*, o consumo de folhas pode ser superior a 50% (Bandeira, 1991). Os cupins concentram nutrientes em seus ninhos, provenientes das fezes e às vezes de restos alimentares; portanto, os ninhos são pontos de alta fertilidade, contrastando com o solo, geralmente de baixa fertilidade, devido à sua origem ou ao mau uso da terra (Salick *et al.*, 1983). Os índios Kayapó utilizam pedaços de ninhos de *Nasutitermes* como fertilizantes no preparo de covas para seus plantios; a este material, às vezes eles acrescentam pedaços de ninhos de formigas do gênero *Azteca*, cujas formigas “lutam” com os cupins, evitando assim que estes ataquem as novas plantas (Anderson & Posey, 1985). Ninhos de *Nasutitermes* foram testadas no INPA por Oliveira & Paiva (1985) como adubo em experimento com alface: os resultados foram considerados muito promissores, uma vez que tratamentos adubados com 100 g de cupinzeiros produziram plantas com porte aéreo 4,8 vezes mais pesados que o tratamento testemunha. Nas regiões tropicais e subtropicais, a densidade de ninhos epígeos pode ser um aspecto dominante na paisagem, como os campos repletos de cupinzeiros do Brasil Central, e as pastagens igualmente infestadas da região sudeste.

No seu metabolismo, os cupins são produtores de metano, um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa (Zimmerman *et al.*, 1982). O metano é produzido por microrganismos anaeróbios que vivem em simbiose com o cupim; no processo de digestão da celulose em meio anaeróbico esse gás é produzido e expelido pelo inseto. Esse fenômeno pode vir a ser preocupante se a produção de metano for relacionada com o crescimento populacional dos cupins, em decorrência do desmatamento acelerado da floresta. Isto se dá porque o número de cupins aumenta em áreas derrubadas, a partir do segundo até o sexto mês, aproximadamente; a partir de um certo tempo, porém, as populações começam a declinar, por falta de alimento, sendo

tudo isso acompanhado por uma sucessão parcial das espécies (Bandeira, 1979a; Bandeira & Torres, 1985). Essa afirmação de que a comunidade de cupins cresce devido ao desmatamento, feita por Zimmerman *et al.* (1982), foi contestada por Collins & Wood (1984), mas dados mais recentes afirmam que há mesmo um aumento da população de térmitas em áreas desflorestadas, devido à disponibilidade de material vegetal deixada no local (Bandeira, 1991). Segundo Martius (1993), o desmatamento pode aumentar o fluxo de metano devido à produção deste gás através da microflora do solo em áreas compactadas, conseqüentemente interferindo nos cálculos realizados em cupinzeiros. É necessário que se calcule o valor médio da produção de metano por cupins em áreas naturais e devastadas, para poder avaliar até que ponto esses insetos contribuem para o desenvolvimento do efeito estufa.

2. Revisão de literatura

2.1. Floresta tropical e o seqüestro de carbono

Devido à sua grande extensão, as florestas tropicais úmidas têm um papel importante no ciclo global do carbono. Elas contêm algo ao redor de 40% do C estocado na biomassa terrestre, e são responsáveis por 30 a 50% de toda a produtividade terrestre (Fearnside, 1993). O desmatamento e mudanças no uso da terra contribuem atualmente para uma emissão de dióxido de carbono global de 1 a 2 Pg C ano⁻¹ (Mackenzie, 1995), aumentando assim a concentração de CO₂ atmosférico nos últimos 200 anos de 280 ppmv (partes por milhão de volume) para 350 ppmv (25%) devido, principalmente, a queima de combustíveis fósil, a qual é estimada atualmente uma emissão global de 6 Pg (1Pg= 10¹⁵g) de carbono (CO₂) por ano (Marland e Rotty, 1984; Khalil, 1995; Mackenzie, 1995). Mudanças que por ventura vierem a ocorrer na respiração do solo e nos processos microbianos poderão vir a ser uma importante fonte de carbono para atmosfera, uma vez que os solos estocam de 2 a 3 vezes mais carbono do que a atmosfera (Davidson *et al.*, 2000), intensificando ainda mais este desequilíbrio. A liberação deste carbono estocado no solo dependerá da velocidade de decomposição da matéria orgânica, que é influenciada por características da vegetação e do clima (Raich & Schlesinger, 1992). O fluxo de CO₂ do solo é resultado de processos pedobiológicos através da produção de CO₂ pelo solo e de processos físicos através do transporte de CO₂ da atmosfera (difusidade), sendo este processo um dos componentes chaves do ciclo do carbono (Yim *et al.*, 2002). O tempo

de residência do CO₂ na atmosfera e de 50 a 200 anos, colocando esse gás como o maior responsável do efeito estufa (Khalil e Rasmussen, 1995)

Descobertas provenientes da avaliação de mudanças nos estoques de biomassa (Philips *et al.*, 1998), ou de medições diretas da troca líquida total do ecossistema (Grace *et al.*, 1995; Malhi *et al.*, 1998), apontaram o importante papel das florestas tropicais como um sumidouro significativo de carbono, podendo essas florestas ser responsáveis pela absorção e estocagem de até 40% do carbono faltante na contabilidade dos sumidouros terrestres. Contudo, os estudos que medem diretamente as trocas de C entre o ecossistema e a atmosfera têm ignorado o destino do carbono seqüestrado pela floresta. Uma parte deste carbono é incorporada ao estoque de biomassa do ecossistema, como demonstram as medidas biométricas em variados sítios pela Amazônia (Philips *et al.*, 1998). O carbono que não é acumulado como biomassa, normalmente retorna à atmosfera como CO₂, CH₄ ou moléculas orgânica maiores de compostos voláteis (VOCs) emitidos pelas plantas (Guenther *et al.*, 1993). O C pode ainda estar sendo acumulado no sistema como frações refratárias da matéria orgânica do solo, ou mesmo estar deixando o sistema na forma dissolvida (DOC) nas águas de drenagem, ou ainda na forma particulada (POC), através dos processos erosivos.

2.2. Mudança do uso da terra e os balanços globais de CO₂ e CH₄

Estudos indicam que no futuro a Amazônia tenderá a um aumento de temperatura, com sérias mudanças no balanço global de CO₂ (Odum, 1993; Myers, 1989; Houghton *et al.*, 1990; Fearnside *et al.*, 1993), e possivelmente de NO, N₂O e CH₄. A nível global os ciclos biogeoquímicos desses gases e o hidrológico são provavelmente os de maior importância para a humanidade,

sendo vulneráveis as perturbações antropogênicas, e por sua vez, podem mudar a temperatura e o clima (Odum, 183; Woodwell, 1989; Davidson & Ackerman, 1993; Davidson & Trumbore, 1995; Khalil & Rasmussen, 1995)

A transformação da floresta primária para agricultura, sistema de pastagens e vegetação secundária causam mudanças biofísicas e geoquímicas no fluxos de gases de efeito estufa (Keller, 1994). Essas mudanças do uso da terra na Amazônia contribuem para mudanças climáticas globais de diversas maneiras. No período de 1981 a 1990, a emissão comprometida líquida (emissões e absorções de gases por sumidouro) de gases causadores do efeito estufa na Amazônia brasileira equivaleram a 6,6 % da emissão total antropogênica global, incluindo combustíveis fósseis e mudanças do uso da terra (Fearnside, 2001). O desmatamento das florestas libera gases através da queima e decomposição da biomassa, pelos solos, pela exploração madeireira, pelas hidrelétricas, pelo gado e pelas queimadas recorrentes de pastagens e de capoeiras (Fearnside, 2001). O metano é o gás de maior importância para o efeito estufa depois do CO₂, sua entrada líquida na atmosfera é de 370 a 1000 Tg (Teragrama = 10¹² g) por ano (Ehhalt, 1974; Ehhalt & Smith, 1978; Matthews & Fung, 1987; Cicerone & Oremland, 1988; Crutzen, 1991; Lal & Subbaraya, 1993). Considerando-se um valor médio de 600 Tg.ano⁻¹, a principal contribuição de metano é de origem biogênica, constituindo cerca de 80% deste total (Hameed & Cess, 1983; Wahlen *et al*, 1989).

2.2.1 Gás metano (CH₄): um dos principais causadores do efeito estufa.

O metano é um gás inodoro e incolor que apresenta molécula tetraédrica e apolar. Esse gás foi descoberto em 1776 por Alessandro Volta e descrito como um “ar combustível”, formado em sedimentos de córregos, pântanos e

lagos ricos em matéria orgânica em decomposição (Balch *et al.*, 1979). Nas últimas décadas, os estudos relacionados com bactérias produtoras de metano têm-se preocupado, basicamente, com suas características biológicas, fisiológicas e ecológicas, a fim de determinar a importância da metanogênese nos balanços local e global de carbono, bem como na produção de energia (Sansone & Martins, 1981; Oremland, 1988).

A partir do final da década de 70, medidas mais exatas das emissões de metano para atmosfera realizadas *in situ*, aliadas às análises do histórico do espectro solar na região do infravermelho e às análises químicas efetuadas em bolhas presas em testemunhos de gelo, possibilitaram constatar que as concentrações de CH₄ na troposfera estavam aumentando rapidamente em todo o planeta (Blake, 1982; Blake & Rowland, 1988), a uma taxa de 1,0 a 1,5% ao ano (Ehhalt *et al.*, 1983). Este fato não despertaria grande interesse se não fosse o papel potencialmente crítico que este gás tem nas reações químicas e de transferência de energia que ocorrem na atmosfera. Nesta, o metano é quimicamente ativo, sofrendo oxidação através de uma série complexa de reações que levam à produção fotoquímica de várias espécies, tais como CO, CO₂, H₂O, CH₂O e O₃ (Crutzen, 1973; King & Wiebe, 1978; Logan *et al.*, 1981; Harris, Sebacher & Day, 1982; Cicerone & Oremland, 1988; Levine, 1989).

Essa oxidação destrutiva do metano afeta o estado químico da atmosfera devido tanto aos produtos dessas reações quanto aos compostos químicos que são consumidos nas mesmas, podendo, portanto, influenciar o clima da terra de várias maneiras, direta ou indiretamente (Cicerone & Oremland, 1988).

2.2.2 Principais fontes de metano

O metano tem como fontes principais (Tabela 1) os organismos vivos (processos biogênicos), aos quais se juntam outros processos (processos abiogênicos). Os processos biogênicos são resultantes de reações bioquímicas envolvendo bactérias durante a decomposição da matéria orgânica (Cicerone & Oremland, 1988). Entretanto, estas bactérias são estritamente anaeróbicas, exigindo ambientes reduzidos para crescerem (Tyler, 1991), como por exemplo locais alagados, intestinos de animais domésticos (por exemplo, gado) e outros animais (Khalil, 1995). Combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural) são fontes abiogênicas de CH_4 quando provêm de reações termocatalíticas. O metano é removido da atmosfera principalmente pela reação com OH (hidroxíla) e em pequenas quantidades em solos secos e processos na troposfera e estratosfera (Khalil, 1995).

Com o passar do tempo, algumas dessas fontes têm aumentado bastante devido à atividade antrópica, sendo as contribuições relativas para o ciclo global do metano de cada uma delas ainda pouco conhecidas. O papel que o metano desempenha na dinâmica das reações químicas que têm lugar na atmosfera, bem como no efeito de aquecimento do globo terrestre, tem crescido nos últimos anos.

Tabela 1. Identificação das fontes e do potencial anual para produção de metano na terra.

Fontes de Metano (CH ₄)	Total anual (Tg de CH ₄ ano ⁻¹)
Radiocarbono vivo	
Áreas naturalmente alagadas	120-200
Arroz alagado	70-170
Gado	80-100
Termites (cupins)	25-150
Desperdícios sólidos	5-70
Queima de biomassa	10-40
Oceanos	1-20
Tundra	1-15
Subtotal	312-755
Radiocarbono morto	
Mina de carvão	10-35
Perdas naturais	15-30
Perdas industriais	5-25
Perdas de gasoduto	10-20
Hidrato de metano	2-4
Vulcões	0,5
Automóveis	0,5
Subtotal	43-115
Total	355-870

Fonte: Tyler (1991)

Pesquisas sobre as fontes e sumidouros globais de metano, nos últimos anos, têm apresentado um forte processo de aceleração, uma vez que, após o CO₂, o metano é a espécie de carbono mais abundante na atmosfera, apresentando uma razão média de mistura global de aproximadamente 1,66 ppmv (parte por milhão de volume) e um tempo de residência relativamente longo, cerca de 8 a

10 anos (Levine, 1989; Lelieveld & Crutzen, 1992; Lal & Subbaraya, 1993). Por outro lado, o metano é o gás orgânico encontrado em maior quantidade na atmosfera, com forte poder de absorção de energia na região relativamente pouco saturada do infravermelho, em torno de 7,7 μm (Cicerone & Oremland, 1988; Whalen & Reeburgh, 1988; Levine, 1989).

2.3 Pastagens degradadas na Amazônia

Dados do satélite LANDSAT, indicam que antes de 1998 a área de floresta desmatada na Amazônia brasileira havia alcançado $547,2 \times 10^3 \text{ km}^2$ (INPE 1999), sendo cerca de 45% usados para instalação de pastagens (Fearnside, 1997). Estimando-se que no mínimo de 70% encontram-se em vários estágios de degradação, é provável que em torno de 200.000 km^2 de solos de pastagens degradadas necessitem ser recuperados (Fearnside, 1992). Assim, estas grandes extensões de áreas alteradas poderiam ser reincorporadas ao processo produtivo com o objetivo simultâneo de reduzir os impactos ecológicos dos desmatamentos e aumentar a produtividade e rentabilidade econômica de forma sustentável (Vieira *et al.*, 1993).

2. 4. Sistemas agroflorestais como forma de manejo de áreas degradadas

Para ser sustentável, a substituição da floresta primária deve ser executada de modo a criar um sistema de cultivo com características ecológicas mais próximas possíveis do ecossistema original (Magalhães, 1979). As capoeiras manejadas e plantações de árvores podem contribuir significativamente para a recuperação da produtividade do solo e da biodiversidade de áreas desmatadas e/ou degradadas (Fernandes *et al.*, 1994).

Segundo Grimaldi *et al.*, (1993), o plantio de forrageiras e/ou de árvores que estimulem a produção de liteira, raízes e exudatos, pode recuperar o funcionamento físico e biológico do solo. Assim, as modificações que ocorrem no novo solo em recuperação, em relação ao original, ou ao longo do tempo de recuperação poderiam ser detectadas através do estudo das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Estudos recentes têm demonstrados a importância da matéria orgânica e da biota do solo na manutenção da estrutura e fertilidade do solo (Grimaldi *et al.*, 1993; Fernandes *et al.*, 1997), e o uso de sistemas agroflorestais poderia contribuir para este objetivo (Fernandes *et al.*, 1994).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são formas de uso e manejo da terra nas quais árvores ou arbustos são utilizados em associação com cultivos agrícolas e/ou com animais, numa mesma área, de maneira simultânea ou numa seqüência temporal (Fernandes, 1997). Os SAFs devem incluir, pelo menos, uma espécie “florestal” arbórea ou arbustiva. Essa espécie pode ser combinada com uma ou mais espécies agrícolas e/ ou animais. As espécies florestais nos SAFs, além de fornecer produtos úteis para o agricultor, preenchem também um papel importante na manutenção da fertilidade do solo.

Os sistemas agroflorestais não deveriam ser uma alternativa ao desmatamento de floresta primária, mas preferencialmente ao uso da áreas já desmatadas (Fernandes *et al.*, 1994; Fearnside, 1998). Essa experiência de práticas agroflorestais poderia contribuir de maneira significativa para a adoção de alternativas de desenvolvimento sustentável para a região Amazônica e para a recuperação de áreas degradadas, principalmente pela pecuária, na região.

3. Objetivo Geral

Estimar a contribuição dos cupinzeiros epígeos para o fluxo de metano e gás carbônico em pastagem degradada, floresta secundária, sistemas agroflorestais e floresta primária.

3.1. Objetivos específicos

- Estimar os fluxos de CH_4 e CO_2 em cupinzeiros epígeos e nos solos adjacentes em pastagens degradadas, floresta secundária, sistema agroflorestal e floresta primária, ao longo de duas estações climáticas (seca e chuvosa)
- Estimar a área coberta por cupinzeiros em pastagens degradadas, floresta secundária, sistemas agroflorestais e floresta primária.
- Avaliar algumas características físicas do solo (compactação, umidade), potencialmente relacionadas com o fluxo de metano.

3.2. Hipóteses

- Áreas que sofreram maior pressão antrópica emitem mais metano do que áreas que sofreram menor pressão antrópica.
- Há um fluxo de metano crescente no sentido floresta primária → sistemas agroflorestais → floresta secundária → pastagem ativa, devido à crescente compactação do solo.
- Há um fluxo maior de metano em cupinzeiros do que no solo adjacente ao cupinzeiro, nos quatro tipos de uso da terra.
- O fluxo de metano nos cupinzeiros é maior com o aumento da umidade do solo e da compactação do solo

4. Material e métodos

4.1. Áreas de estudo

Os sistemas agroflorestais, as florestas secundárias e as pastagem abandonadas estão localizadas na Estação Experimental da Embrapa CPAA, do Distrito Agropecuário da SUFRAMA, no km 53 da BR-174 que liga Manaus a Boa Vista (Figura 1), numa área de pastagens degradadas e abandonadas de terra firme, entre as coordenadas geográficas de 2°31' a 2° 32' de latitude sul e 60° 01' e 60° 02' longitude W.

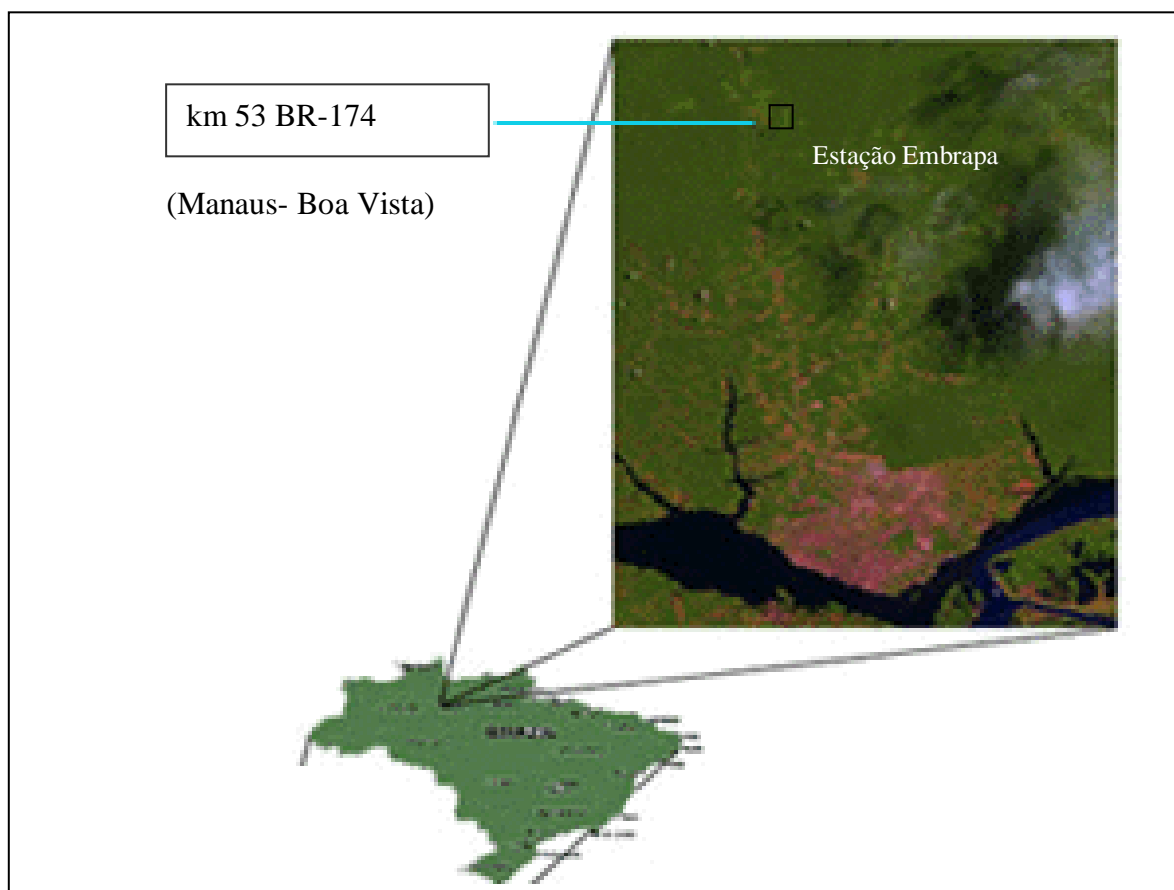


Figura 1. Localização da Embrapa/CPAA-Manaus, no Distrito Agropecuário da SUFRAMA/Manaus-AM. Adaptado do INPE (1988).

A área de floresta primária está localizada na Reserva do Cuieiras do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), localizada a 80 km ao norte de Manaus na estrada vicinal ZF-2, pela via de acesso BR-174 (Manaus-AM/Boa Vista-RR). A tipologia florestal predominante é a Floresta Umbrófila Densa (Cornu, 1995). As coletas foram realizadas próximo à torre de fluxos do projeto LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia) nas coordenadas geográficas 02° 36' lat. Sul;. 60° 12' long. W.

4.2. Clima

O clima da região é caracterizado como tipo Ami, pela classificação de Köppen (Ribeiro & Adis, 1984), com uma média anual de pluviosidade entre 1500 e 2500 mm, caracterizando a região como tropical úmida bastante chuvosa. A duração da estação seca é de aproximadamente 2 meses. Durante o presente estudo, os dados do clima e a temperatura foram medidos na Estação climatológica da EMBRAPA/D.A.S.

4.3. Solo

A área dos sistemas agroflorestais está situada sobre um extenso platô de Latossolo Amarelo distrófico (Sanchez, 1976; Teixeira & Bastos, 1989), textura muito argilosa, onde são encontrados limitações de fertilidade, acidez elevada, baixa capacidade de troca de cátion, deficiências de fósforo, nitrogênio, cálcio e magnésio (Teixeira & Bastos, 1989; Mackerrow, 1992; Fernandes & Mattos, 1995), e alta saturação de alumínio. A vegetação nativa da área pode ser classificada em geral como floresta de terra firme ou, mais especificamente, como Floresta Tropical de Terras Baixas (Prance & Lovejoy, 1985).

Os solos predominantes na ZF-2 são também os Latossolos Amarelos, derivados de arenitos, sendo frequente a presença de platôs com 500 a 1000 m de extensão (Dias *et al.*, 1980), com uma cobertura vegetal do tipo Floresta Umbrófila Densa (Cornu, 1995).

4.4. Histórico das áreas

As atividades pastoris nas áreas de estudo do CPAA/EMBRAPA iniciaram-se em 1976, com a derrubada e queima da floresta nativa e o preparo da área. Todas as pastagens foram formadas com o capim “quicuiu da Amazônia” (*Brachiaria humidicola*) (Fernandes *et al.*, 1994), usadas com baixa intensidade de pastoreio por aproximadamente cinco anos, e então consideradas parcialmente degradadas pela falta de manejo adequado (limpeza e adubação). Gradativamente, as pastagens foram sendo abandonadas devido à baixa produtividade dos pastos (Mackerrow, 1992), e deixadas como pousio por um período de 4 a 6 anos. Da extensa área total de pastagens abandonadas, foram selecionados 10 ha para o estabelecimento dos sistemas agroflorestais. As florestas secundárias existentes na estação, que têm agora a idade de quinze anos, são utilizadas como controle dos sistemas agroflorestais e estão localizadas próximo aos sistemas. As pastagem antigas têm idades entre 18 e 20 anos localizam-se próximo aos sistemas agroflorestais e são usadas para pastejo ocasional de caprinos e bovinos (Tabela 2).

Tabela 2. Histórico de uso da área de pastagem degradada onde foram implantados os sistemas agroflorestais

Manejo	Ano de Manejo		
	Bloco I	Bloco II	Bloco III
-Desmatamento e queima da floresta primária	1976	1976	1976
-Introdução da pastagem	1984	1982	1978
-Abandono da pastagem	1988	1987	1986
-Tempo de uso da pastagem	4 anos	5 anos	8 anos
-Tempo de abandono de pastagem	3 anos	4 anos	5 anos
-Derruba e queima da vegetação secundária	1991(set)	1991(set)	1991(set)
-Implantação dos sistemas agroflorestais	1992(jan)	1992(jan)	1992(jan)

O SAF selecionado foi o Sistema Agrosilvicultural 1(AS1); com o dossel dominado por palmeiras. É formado por linhas de pupunha (*Bactris gasipaes*), plantada em 1992 para produção de frutas e palmito, intercaladas com linhas das fruteiras cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), plantado em 1992, e açaí (*Euterpe oleraceae*), plantado em 1994. Em janeiro de 1995 foi implantado um componente madeireiro, o capoeirão (*Colubrina glandulosa*). Toda borda deste sistema é rodeada por uma cerca viva de *Gliricidia sepium* utilizada como fonte de adubo verde, através de três podas anuais. Até o terceiro ano foram mantidas as culturas anuais de arroz e mucuna, que ajudaram no estabelecimento das espécies perenes e na rentabilidade da fase de implantação dos sistemas)(Wandelli *et al.*, 1996).

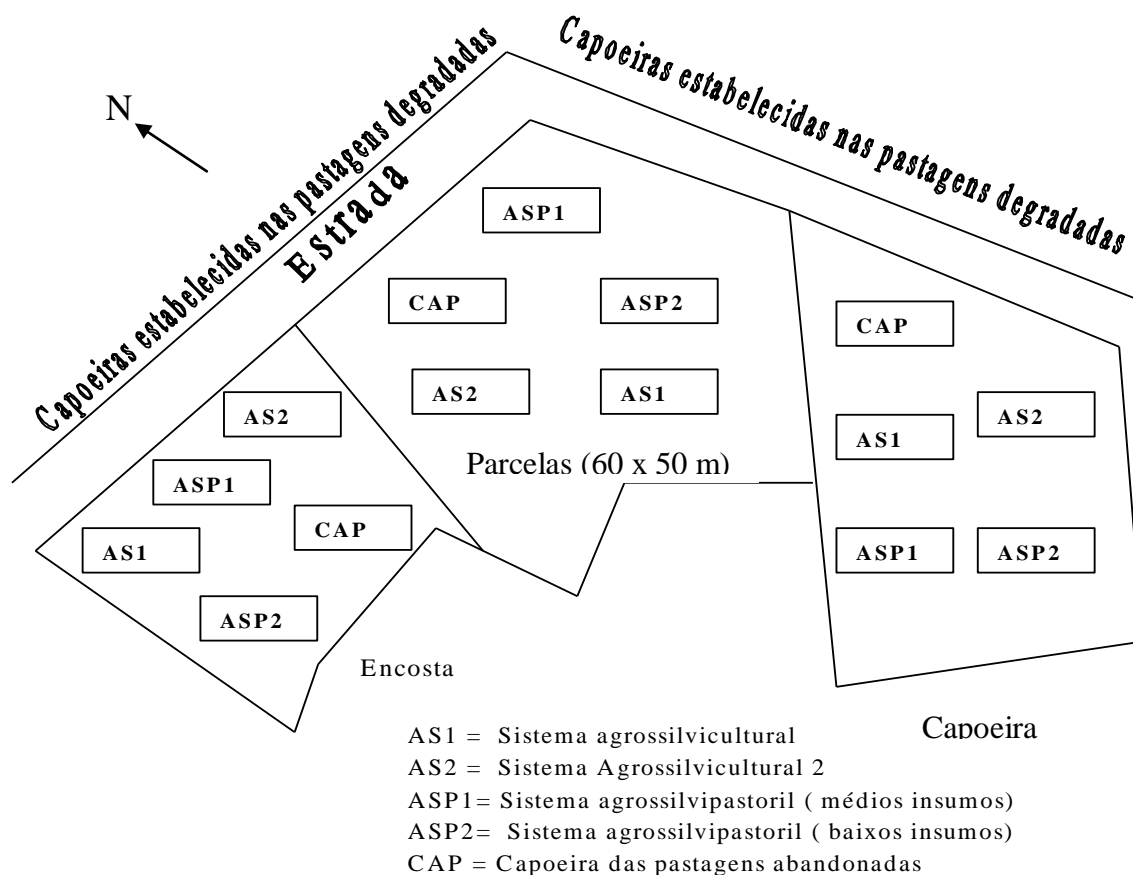


Figura 2. Delineamento experimental original dos blocos e tratamentos dos sistemas agroflorestais e o controle do CPAA/EMBRAPA. Adaptado de Souza (1995).

A estrada da ZF-2 tem aproximadamente 50 km de extensão, até o rio Cuieiras, mas está aberta somente até o km 38. O lado esquerdo da estrada uma área de aproximadamente 50.000 ha, foi reservado para órgãos públicos como INPA, Universidade do Amazonas, CEPLAC e IBAMA. A Reserva Biológica do Cuieiras é parte de uma área de Floresta Umbrófila Densa de planícies que tornou-se acessível nos anos 70 e foi subsequentemente selecionada para um estudo representativo de floresta tropical úmida no início dos anos 80. A área é relativamente plana, embora entrecortada por numerosos

pequenos igarapés. A altura média do dossel da floresta nesta área é de 35 m acima do solo, e a biomassa florestal é de 300 a 400 t ha⁻¹.

4.5. Metodologia das coletas

4.5.1. Delineamento experimental

O estudo consistiu em três repetições em blocos casualizados em parcelas de 50 m X 60 m. Na Estação do CPAA, o experimento foi feito nos seguintes tratamentos: Sistema Agrossilvicultural 1 (AS1), pastagem antiga, floresta secundária, e na reserva do Cuieiras (ZF-2) em área de floresta primária. Em cada parcela, 10 cupinzeiros foram perfurados por anéis de PVC para coletas de gases: destes, foram sorteados quatro a cada amostragem. Essas medidas foram realizadas de forma pareada, pois o mesmo processo foi realizado na área de solo adjacente aos cupinzeiros. As medidas de compactação do solo foram realizadas com um penetrômetro cônico, nos quatro tipos de cobertura do solo, para avaliar a compactação superficial do solo. Todos os cupinzeiros da área foram mapeados, e os cálculos de área coberta por cupinzeiros foram realizados através de medidas de comprimento e largura dos cupinzeiros encontrados nos quatro tipos de cobertura vegetal. Essas coletas foram realizadas no período de maior e menor precipitação.

Foram coletadas amostras de diferentes meses, no início do ano de 2003, para melhor avaliação da flutuação temporal e sazonal, mas estas foram perdidas devido à grande demora da chegada do GC (cromatógrafo gasoso) do projeto LBA, acarretando um grande prejuízo no cálculo anual no fluxo de metano e dióxido de carbono. Foram analisadas as amostras de gás metano e dióxido de carbono coletadas entre os meses de julho de 2003 a abril de 2004.

4.5.2 Medidas de concentração de CO₂

Para medir o fluxo de CO₂ nos solos adjacente ao cupinzeiro, foi utilizado um analisador de gás ambiental portátil (EGM-3, PP Systems, U.K.) conectado a uma câmara de fluxo de CO₂ do solo (SCR-1, PP Systems, U.K.), que é encaixada a um anel metálico (aço inoxidável) que deve estar previamente cravado ao solo até 2 cm. Este anel é denteado com a finalidade de atenuar o corte de raízes quando cravado ao solo. O sensor STP-1 (Soil Temperature Probe, PP Systems,U.K.) e o sensor termopar Hydrosence (Campbell Scientific Australia Pty. Ltd) foram utilizados para determinar, respectivamente, a temperatura e umidade do solo, a 5 cm de profundidade, nos mesmos locais e com a mesma frequência temporal das medidas de fluxo de CO₂ do solo.

4.5.3. Medidas de concentração do CH₄

Para medir o fluxo de metano sendo emitido ou consumido pelo cupinzeiro e no solo adjacente ao cupinzeiro, mediu-se a concentração de metano numa câmara fixa sobre o cupinzeiro. Para cada local amostrado, anéis de “ polyvinyl chloride” (PVC) , foram previamente inseridos no solo e no cupinzeiro aproximadamente até 3 cm, evitando assim alterações maiores na estrutura física e química do solo, após, uma tampa de PVC com respiradouro de aço inox e borrachinha de vedação,era acoplado a esses anéis. As câmaras de PVC possuem 20 cm de altura por 3 mm de espessura e 20 de diâmetro. Anéis de PVC com 10 cm de altura por 3 mm de espessura e 20 cm de diâmetro. Quatro seringas com válvulas e agulhas foram usadas para a coleta do gás (figura 3). Após acoplar a câmara de PVC nos anéis nos locais a serem

amostrados; mede-se a pressão atmosférica e a temperatura do cupinzeiro e do ar, e liga-se um cronômetro.



Figura 3. Câmara portátil e anel de PVC, fixados nos cupinzeiros e no solo adjacente aos cupinzeiros

A seguir limpa-se a seringa com ar do ambiente (segura-se a agulha para que, no caso de ser entupida, ela não dispare); limpa-se a seringa com o ar do interior da câmara através da borrachinha. Quando o cronômetro chega a 30 segundos, tira-se uma amostra de ar do interior da câmara e fecha-se a válvula da seringa para que o gás não escape. Para ter o volume total da câmara, mede-se a altura em quatro posições e anota-se a temperatura do interior da câmara. A amostragem é refeita após 10, 20, e 30 minutos, com as outras três seringas. Ao longo dos 30 minutos, a concentração de metano dentro da câmara subirá se houver emissão de metano pelo cupinzeiro ou pelo solo, e descerá se houver consumo de metano pelo cupinzeiro ou solo. (Hutchinson & Livingston, 1993).

4.5.4. Armazenamento do gás metano (CH₄)

O gás metano (CH₄) foi armazenado após a coleta em vidros de penicilina de 10 ml, vedados com tampinhas de borracha impermeável, que evitam o vazamento do gás; essas amostras podem ser armazenadas no máximo por 4 meses. O vidro de penicilina deve conter água destilada de boa qualidade para evitar o crescimento de bactérias que possam interferir nas análises (Hutchinson & Livingston, 1993).

4.5.5. Cromatógrafo de gás

O cromatógrafo de gás utilizado foi um Shimadzu GC 8 A, equipado com detectores TCD e FID, que possui colunas Porapak-Q e Molecular sieve 5 A, ordenadas entre as série de amostras e uma passagem secundária de válvulas montadas no interior do forno. O gás de arraste utilizado foi o hidrogênio que é fornecido através de um gerador de hidrogênio (Packard Hydrogen generator), acoplado ao cromatógrafo. Essa técnica consiste em separação e análise de misturas de substâncias voláteis. A amostra é vaporizada e introduzida em um fluxo de um gás adequado denominado de gás de arraste. Este fluxo de gás, com a amostra vaporizada, passa por um tubo contendo a fase estacionária (coluna cromatográfica), onde ocorre a separação da mistura. As substâncias separadas saem da coluna dissolvidas no gás de arraste e passam por um detector, dispositivo que gera um sinal elétrico proporcional à quantidade de material eluido. O registro deste sinal em função do tempo é o cromatograma, sendo que as substâncias aparecem neles como

picos com áreas proporcionais à sua massa, o que possibilita a análise quantitativa.

4.5.6. Análises estatísticas

Para comparar a quantidade de cupinzeiros epígeos encontrados nas diferentes coberturas do solo foi utilizado o teste de comparação de médias “Tukey”. Para verificar o efeito do tratamento sobre as estimativas do fluxo de metano (CH_4) do cupinzeiro e do solo (Variável dependente), foi utilizado análise de variância e para comparar os tratamentos foi utilizado o teste de comparação de médias “Tukey”. Para analisar as relações entre a compactação do solo, a umidade do solo (Variável independente) e o fluxo de metano no cupinzeiro e no solo (Variável dependente) foram aplicados regressões lineares. As mesmas análises estatísticas foram realizadas para o fluxo de CO_2 no solo adjacente ao cupinzeiro.

5. Resultados

5.1. Quantidade de cupinzeiros encontrados sob diferentes coberturas vegetais

A quantidade de cupinzeiros epígeos encontrados na floresta secundária foram superiores em relação à pastagem abandonada ($p < 0,05$), sem diferença para o sistema agroflorestal e a floresta primária (Figura 4). Não há diferença significativa na quantidade de área coberta por cupinzeiros nas diferentes coberturas vegetais ($p = 0,15$) (Figura 5). Todos os cupinzeiros encontrados nas diferentes coberturas do solo eram distribuídos uniformemente por toda área, sem tendência visível de agregação.

Na capoeira e na floresta foram encontrados muitos cupinzeiros embaixo de troncos de árvores, efeito não verificado em sistemas agroflorestais e pastagens.

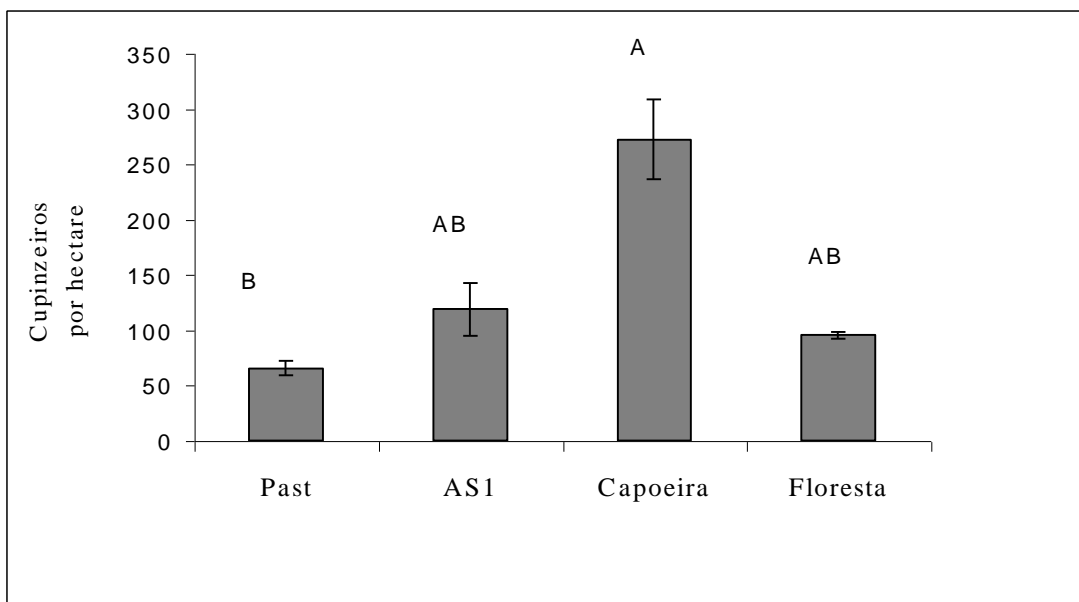


Figura 4. Número de cupinzeiros por hectare sob diferentes coberturas vegetais. Os valores representam médias e desvio padrão (n=12). Médias seguidas pela mesma não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5%.

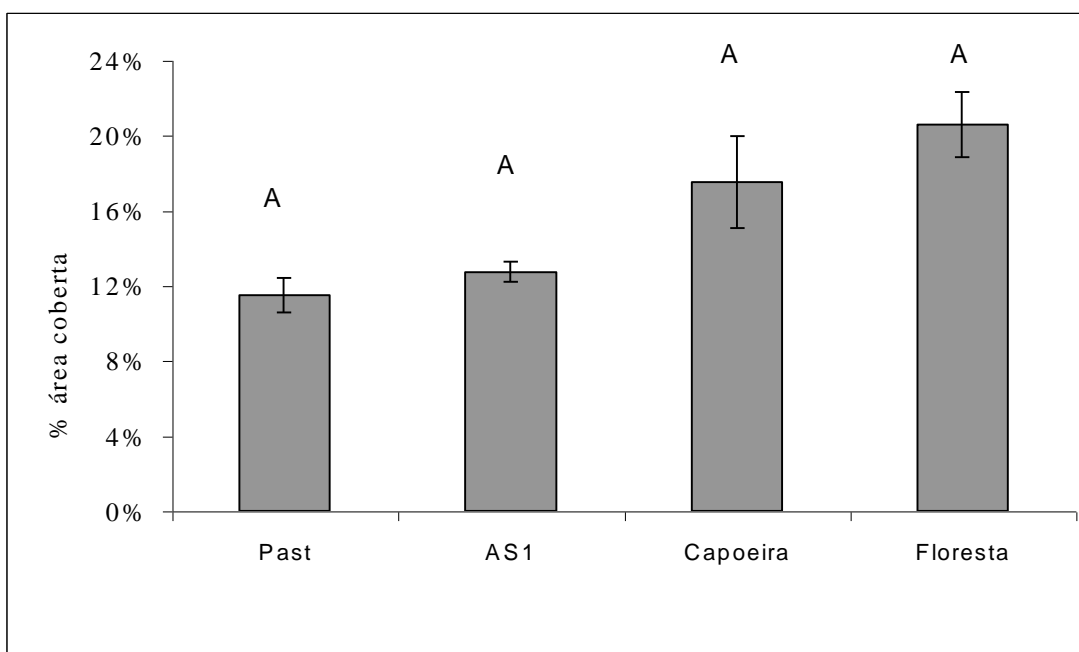


Figura 5. Porcentagem de área coberta por cupinzeiros em diferentes coberturas vegetais. Os valores representam médias e desvio padrão (n=12). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5%.

5.2. Compactação do solo sob diferentes coberturas vegetais

Houve uma maior compactação no solo da pastagem em relação aos outros tratamentos ($p < 0,01$). As áreas de floresta primária e floresta secundária (capoeira) apresentaram os menores valores de resistência do solo na camada mais superficial (0-10 cm). Há uma tendência de diminuição da resistência do solo à penetração (RSP) de 0-10 cm de profundidade no sentido pastagem → sistema agroflorestal → floresta secundária → floresta primária (figura 6).

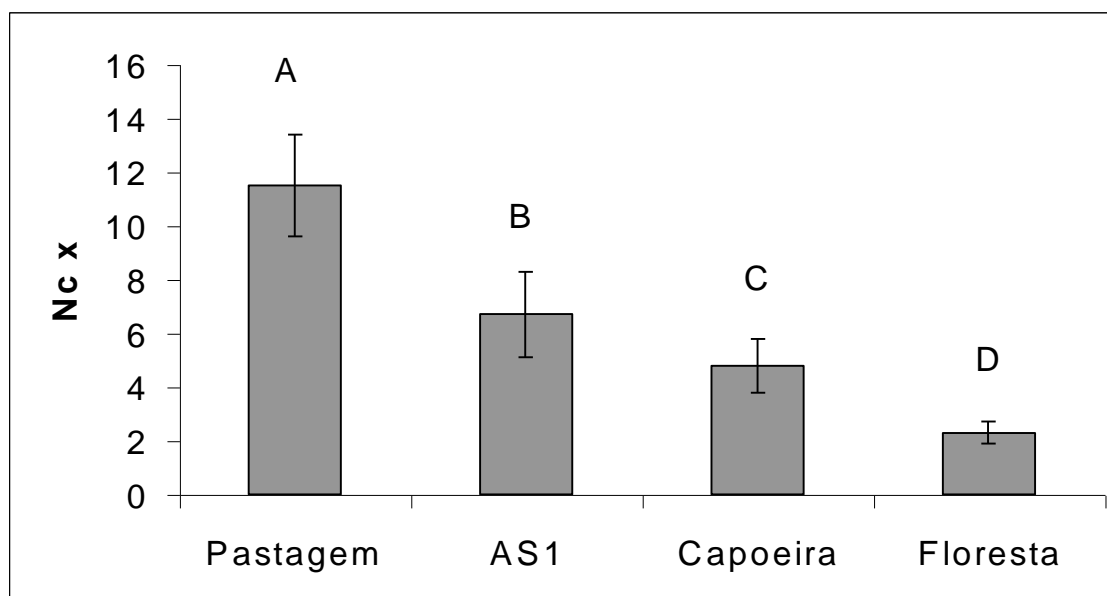


Figura 6. Resistência do solo à penetração, em diferentes coberturas vegetais (Nc x = média do número de impactos para a sonda cônica penetrar 10 cm no solo). Os valores representam médias e desvio padrão (n=12). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5%.

5.3. Umidade do solo

Houve diferenças na umidade gravimétrica do solo (0-10 cm), no período de transição e no período chuvoso (ANOVA, $F= 3,94$; $p<0,05$). No período de transição, a floresta secundária (capoeira) apresentou valores superiores de 26,1 e 34,5 % para a pastagem e a floresta, respectivamente. O maior valor absoluto de umidade do solo de todos períodos foi encontrado na floresta secundária, no período chuvoso (49,1%), e o menor valor absoluto de umidade foi encontrado na pastagem no período de transição (26,1%) (Tabela 3).

TABELA 3. Porcentagem de umidade gravimétrica sob as diferentes coberturas vegetais, nos períodos seco, de transição e chuvoso de 2003 e 2004. Os valores representam médias e desvio padrão (n=12).

Áreas	Períodos de precipitação		
	Seco	Transição	Chuvoso
Pastagem	31,1 Aa	26,1 Ab	26,2 Ab
AS1	39,9 Aa	36,0 Aab	40,5Aa
Capoeira	38,0 Ba	39,3 Ba	49,1Aa
Floresta	33,3 Aa	34,5 Aab	39,9 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para período e minúsculas para tratamento não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% (n=12).

5.4. Fluxo de CO₂ nas diferentes coberturas vegetais

No período de transição, a floresta primária apresentou maior fluxo de CO₂ em relação ao sistema agroflorestal, sem diferença deste para a floresta secundária (capoeira) e pastagem. No período chuvoso houve um maior fluxo CO₂ na área de pastagem em relação ao período seco, sem diferença destes para o período de transição (Figura 7).

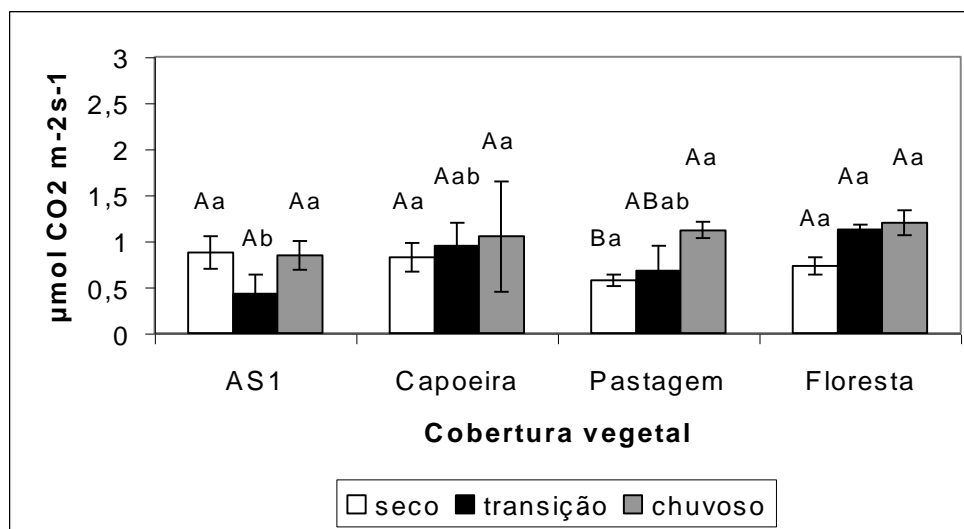


Figura 7. Fluxo de CO₂ no solo adjacente ao cupinzeiro utilizado como controle. Os valores representam médias e desvio padrão (n=12). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para períodos e minúsculas para tratamentos, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.5. Fluxo de metano em cupinzeiros epígeos

No período seco do ano, a floresta e a pastagem apresentaram maiores fluxos de metano em relação à floresta secundária, sem diferença significantes destes para o tratamento AS1 (Tabela 4). Comparando-se os períodos distintos de precipitação, o fluxo de metano foi geralmente mais alto no período seco, porém a única diferença significativa ocorreu na pastagem, onde o fluxo na época de transição foi significativamente menor.

Tabela 4. Fluxo de metano ($\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$) em cupinzeiros epígeos, sob diferentes coberturas vegetais e períodos de precipitação. Os valores representam média e desvio padrão (n=12)

Áreas	Períodos de precipitação		
	Seco	Transição	Chuvoso
Pastagem	0,38 Aa	0,09 Ba	0,21 Aab
AS1	0,20 Aab	0,17 Aa	0,04 Aa
Floresta secundária	0,02 Ab	0,05 Aa	0,09 Aa
Floresta	0,38 Aa	0,21 Aa	0,16 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para período e minúsculas para tratamento não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% (n=12).

No solo adjacente ao cupinzeiro (usado como controle), não foi encontrada nenhuma diferença significativa no fluxo de metano entre os tratamentos (ANOVA, $F=0,77$; $p>0,05$); e entre os períodos de coleta (ANOVA, $F=2,11$; $p>0,05$). Contudo, foram observados valores negativos nos tratamentos AS1 e floresta secundária, no período chuvoso ($-0,025$ e $-0,013$ $\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{hr}^{-1}$ respectivamente), e valores distintos na pastagem em relação aos demais tratamentos: claramente mais baixos na estação seca e mais altos na época de transição e, principalmente, na estação chuvosa (Figura 8).

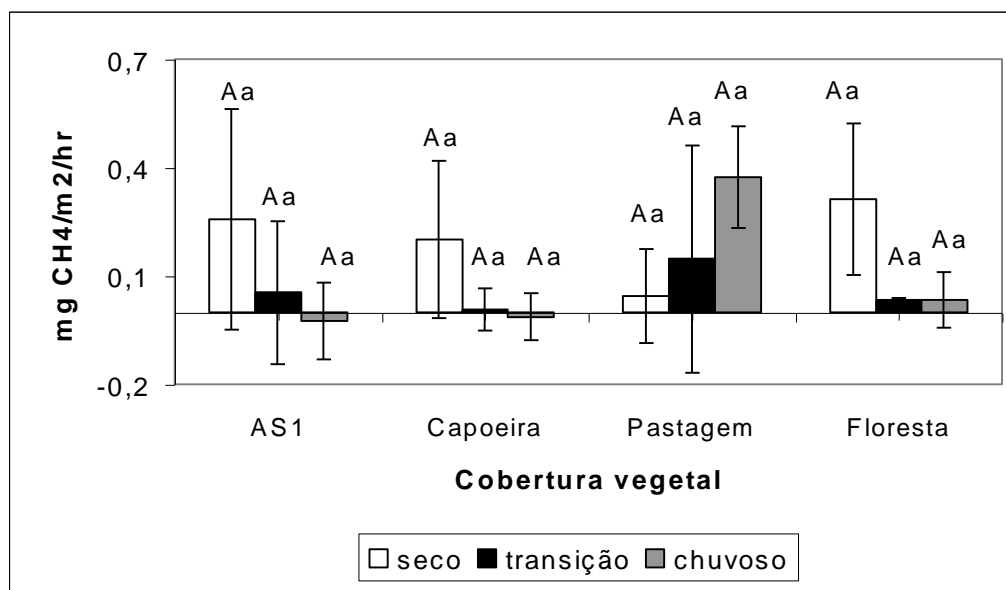


Figura 8. Fluxo de CH_4 em solos adjacentes aos cupinzeiros utilizados como controle. Os valores representam a média e o desvio padrão ($n=12$). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para períodos e minúsculas para tratamentos, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.6. Relação entre a umidade gravimétrica e a compactação superficial do solo

A umidade gravimétrica do solo variou em função da compactação superficial do solo (0-10 cm) ($R^2 = 0,29$, $p < 0,01$), quanto maior o nível de compactação no solo, menor será a umidade gravimétrica do solo. (figura 9).

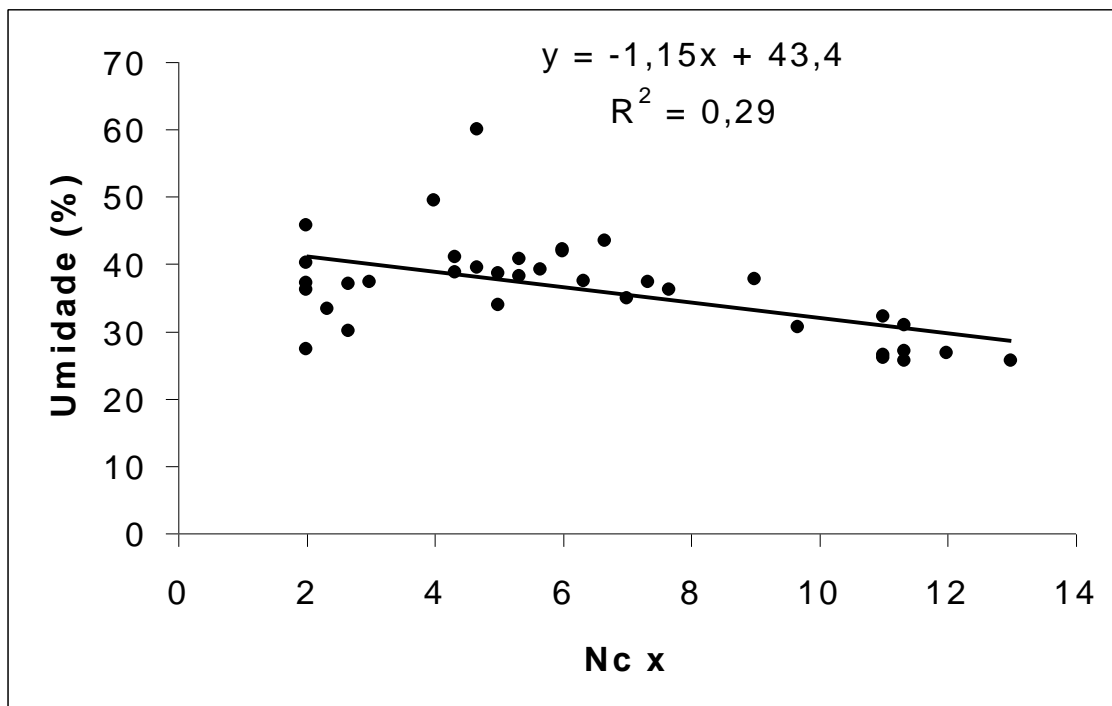


Figura 9. Regressão entre a umidade gravimétrica do solo e a Nc x (média do número de impactos para a sonda cônica penetrar 10 cm no solo).

5.7. Relação entre o fluxo de CO₂ e a compactação superficial do solo

O fluxo de CO₂ nos solos adjacentes aos cupinzeiros epígeos não variou significativamente em função da compactação superficial do solo (0-10 cm) ($r^2 = 0,07$, $p = 0,11$). (Figura 10).

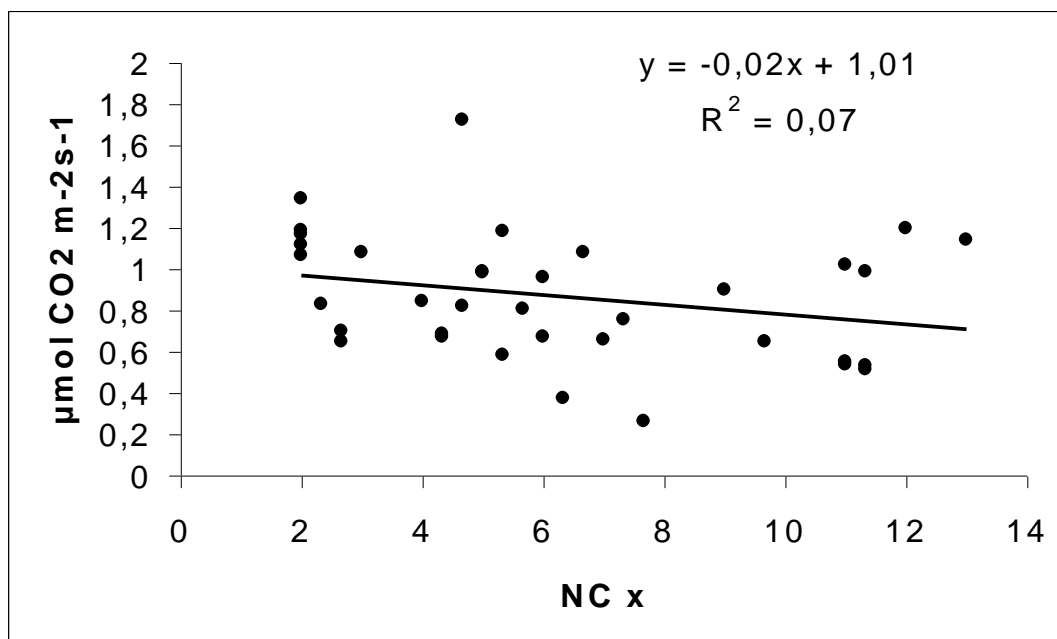


Figura 10. Regressão entre o fluxo de CO₂ e a compactação superficial do solo (0-10 cm).

5.8. Relação entre o fluxo de CH₄ e a compactação superficial do solo

O fluxo de metano nos solos adjacentes aos cupinzeiros não variou significativamente em função da compactação superficial do solo, os pontos estão muitos dispersos em torno da reta ($R^2 = 0,04$, $p = 0,24$) (Figura 11).

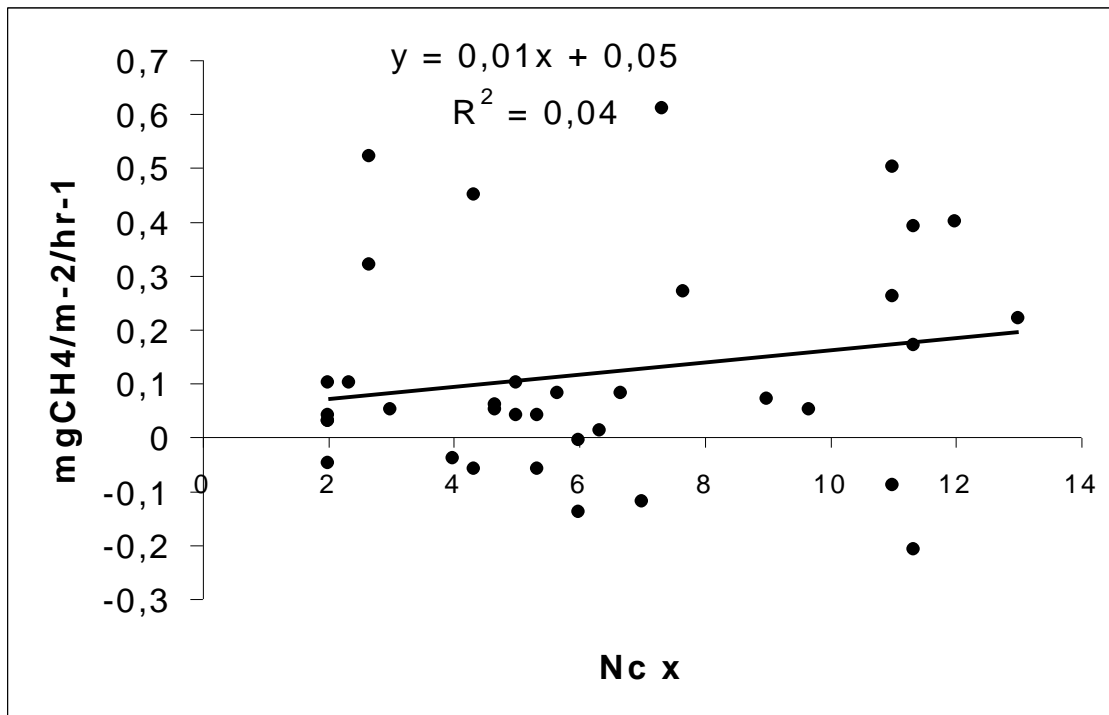


Figura 11. Regressão entre o fluxo de CH₄ no solo adjacente ao cupinzeiro e Nc x (Média do número de impactos para a sonda cônica penetrar 10 cm no solo)

5.9. Relação entre o fluxo de CO₂ e a umidade do solo.

O fluxo de CO₂ nos solos adjacentes aos cupinzeiros teve variação estatisticamente significativa com a umidade gravimétrica do solo ($R^2 = 0,11$, $p < 0,05$) (Figura 12).

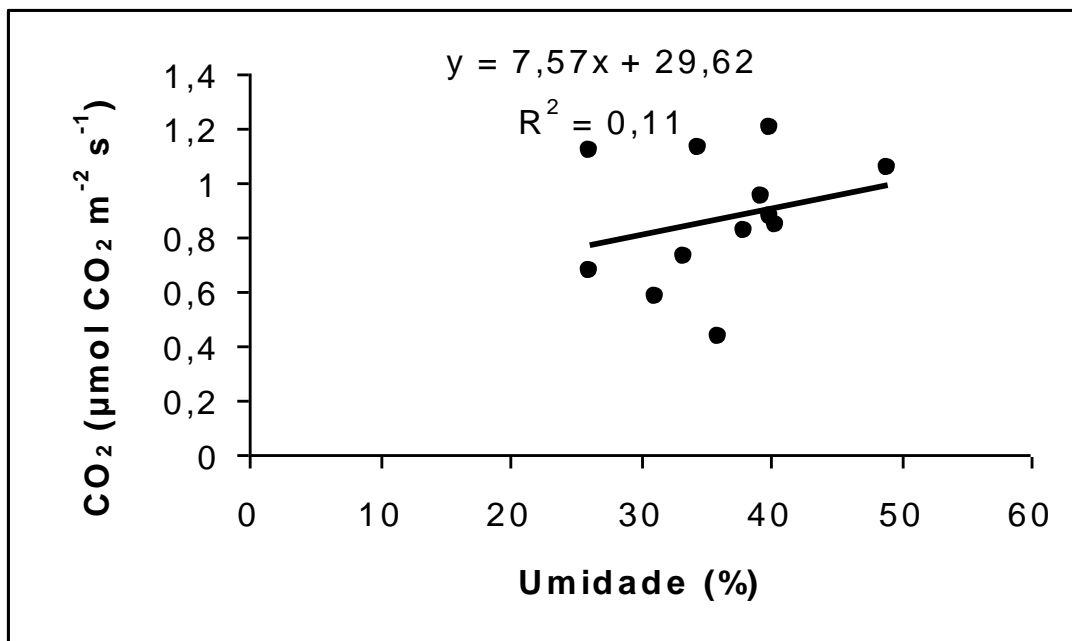


Figura 12. Regressão entre o fluxo de CO₂ e a umidade no solo adjacente ao cupinzeiro

5.10. Relação entre o fluxo de metano e a umidade

Com o propósito de estudar o grau de variação entre a umidade e fluxo de metano em cupinzeiros epígeos, e em solos adjacentes ao cupinzeiros foram calculadas as regressões lineares entre a umidade dos diferentes períodos com o fluxo de metano nos diferentes tratamentos.

O fluxo de metano nos cupinzeiros epígeos não variou em função da umidade gravimétrica do solo ($R^2 = 0,18$, $p = 0,19$). (Figura 13). O fluxo de metano nos solos adjacentes aos cupinzeiros não variou em relação à umidade gravimétrica do solo ($R^2 = 0,28$, $p = 0,07$) (Figura. 14).

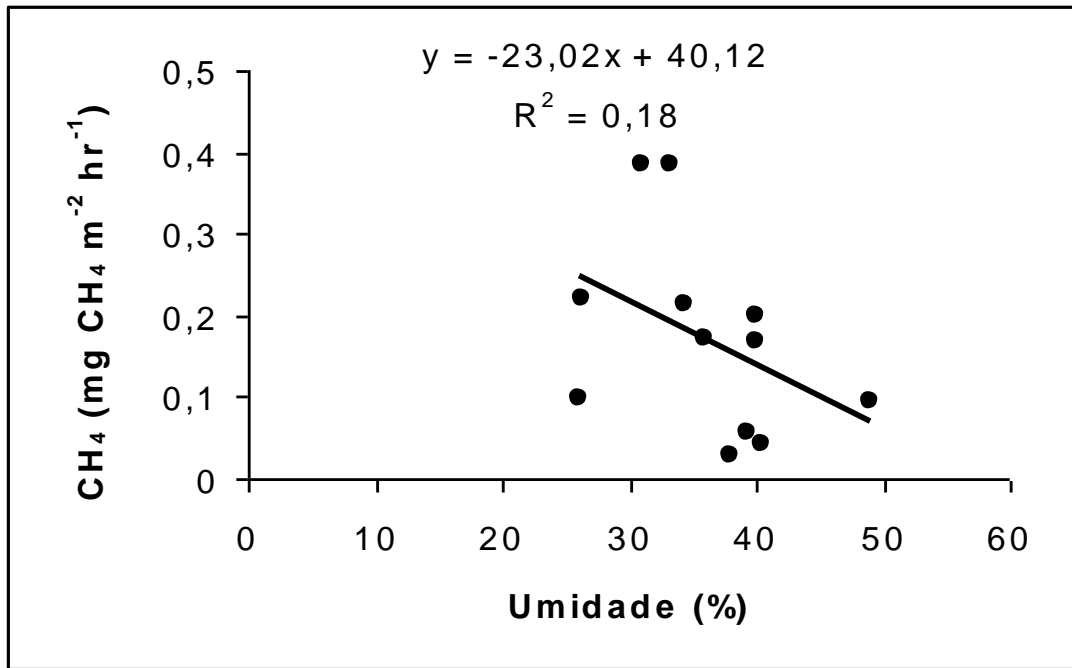


Figura 13. Regressão entre o fluxo de metano em cupinzeiros epígeos e a umidade.

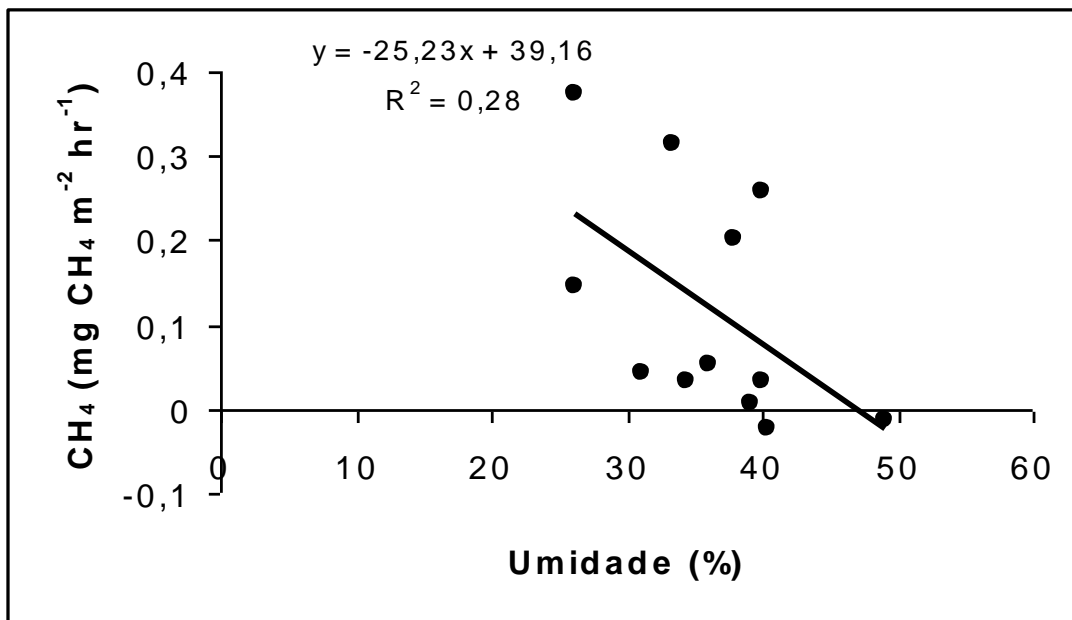


Figura 14. Regressão entre o fluxo de metano no solo adjacente controle e a umidade

5.11. Estimativa do fluxo médio anual de metano em cupinzeiros epígeos e o solo adjacente

Não houve diferenças significativas devido á alta variabilidade dos dados, mas:

- Nos cupinzeiros (que representam a menor parte da área), as emissões foram mais altas na área de floresta primária;
- Na área de capoeira foram encontrados valores de emissões de metano mais baixos, sem diferença entre cupinzeiros epígeos e o solo adjacente;
- Na pastagem, foram encontrados valores relativamente altos para os cupinzeiros epígeos e para o solo adjacente (Figura 15).
- No AS1, na capoeira e na floresta primária o fluxo de metano nos cupinzeiros epígeos foi maior do que no solo adjacente controle (45,5, 24,4, 101,1 % respectivamente). Na capoeira o fluxo de metano no solo adjacente foi 7,8 % maior do que nos cupinzeiros epígeos.

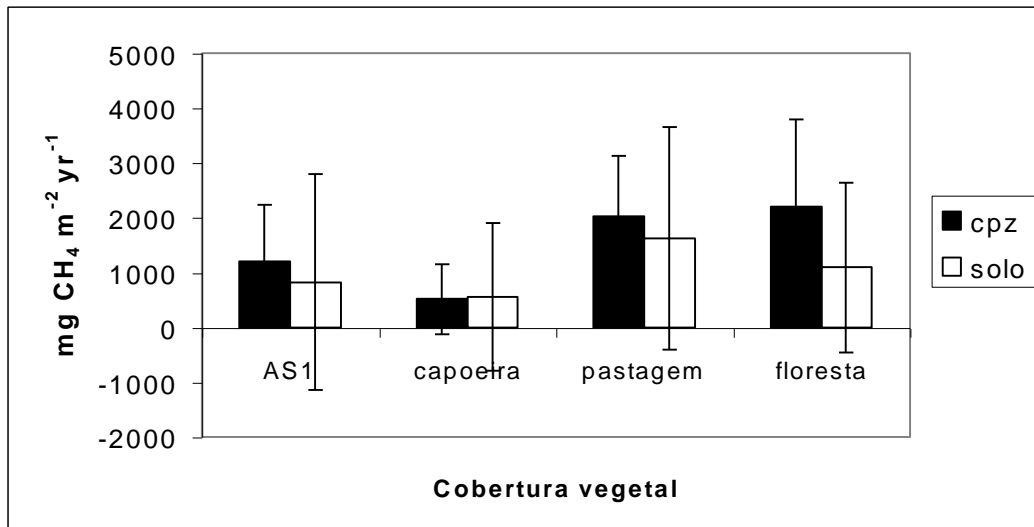


Figura 15. Estimativa do fluxo de metano anual dos cupinzeiros (CPZ) e do solo adjacente nas diferentes coberturas vegetais. Os valores representam a média e o desvio padrão (n=9)

6. Discussão

6.1. Quantidade de cupinzeiros encontradas nas diferentes coberturas vegetais

A floresta secundária foi o tratamento onde foi encontrado o maior número de cupinzeiros por metro quadrado, seguido pelo sistema agroflorestal. Isto pode estar relacionado ao manejo dado às diferentes áreas: no tratamento AS1 e nas pastagens foi usada gradagem para limpar a área, para instalação do sistema agroflorestal e das pastagens, o que pode ter interferido na quantidade de cupinzeiros encontrados atualmente. Segundo Bandeira (1979), a maioria das espécies de cupins da região amazônica é de xilófagos, ou seja, comedores de madeira dura e em início de decomposição. A floresta primária foi a cobertura vegetal onde foi encontrada a maior área coberta por cupinzeiros, devido ao grande tamanho dos cupinzeiros encontrados na área. Segundo Bandeira (1979), a maioria das espécies de cupins de floresta não constrói ninhos, sendo encontrados praticamente só em madeira em decomposição.

Segundo Zimmerman *et al.* (1993), há um aumento na população de térmitas em áreas de floresta tropicais devido ao desmatamento e, subsequentemente, um aumento na emissão de metano dessas áreas tropicais. Porém, a suposição de que abundância de térmitas aumenta depois do desmatamento é criticada por Collins & Wood (1984), e recentes dados da Amazônia (Souza, 1989, Bandeira & Harada, 1991) também contradizem o conceito de densidades de térmitas altas em áreas desflorestadas. O desmatamento também pode aumentar metano em áreas profundas devido a oxidação de metano através de microflora de terra. (Zimmerman *et al.*, 1993).

Segundo Fearnside (2001), térmitas em floresta madura liberam metano, liberação que será pedida quando a floresta é derrubada; porém, por muito tempo depois, estas emissões serão mais do que compensadas pelos térmitas que ingerem a biomassa que não queima depois do desmatamento. Para o autor a informação mais importante seria a quantidade absoluta de biomassa que se decompõe anualmente e não a taxa (fração de decomposição por ano). Segundo Bandeira (1988), muitos cupins inquilinos são encontrados em um único ninho, sendo observado que eles migram para outros cupinzeiros, que pode estar abandonados, sendo bastante difícil a observação da quantidade de madeira que esses cupins podem vir a decompor

6.2. Compactação do solo nas diferentes coberturas vegetais e sua influência no fluxo de metano

Conforme esperado, foi encontrada uma maior compactação no sentido floresta primária → floresta secundária → sistemas agroflorestais → pastagens. Num experimento realizado por Blind *et al.* (2004), em plantios florestais, as áreas de floresta primária e secundária apresentaram os menores valores de resistência do solo na camada mais superficial (0-10 cm), em relação aos plantios florestais, sendo que na floresta secundária, o solo superficial é mais compactado do que na floresta primária. Esse mesmo efeito foi encontrado no atual experimento, onde houve uma maior resistência do solo na camada mais superficial na área de pastagem abandonada.

Segundo Chauvel, (1989), a zona do solo entre 0 a 10 cm faz parte também da zona de maior enraizamento no solo onde, há um efeito de descompactação, causado pelo crescimento das raízes, maior atividade da pedofauna e abertura

de canais resultantes da decomposição das raízes mortas. A maior atividade biológica nessa camada do solo, causado principalmente pela fauna do solo na decomposição da liteira, conseqüentemente leva à formação de canais biológico. Estes, por sua vez, aumentam a porosidade do solo, diminuindo sua compactação (Chauvel, 1989).

Os resultados obtidos na utilização de sondas de impacto (penetrômetro cônico de solo), para se determinar restrições físicas do solo (p.ex: compactação) são dependentes de outras propriedades físicas do solo, como o conteúdo de água do solo, sua textura e sua porosidade (Hartge e Horn, 1992; Kiliç *et al.*, 2004). A facilidade de aplicação desse método, torná-o uma ferramenta importante de ampla aplicação, especialmente quando se deseja estudar as variações da resistência (compactação) do solo em áreas com diferentes características (Hartge e Horn, 1992).

Em um experimento realizado em Manaus por Queiroz (2001), que avaliava a influência do cupinzeiro sobre a biomassa da vegetação em diferentes usos da terra, foi constatada que cupinzeiros encontrados na pastagem possuíam menor quantidade de indivíduos vegetais sobre o cupinzeiro em relação aos encontrados em sistemas agroflorestais e floresta secundária. Foi concluído que esse efeito é causado pela dificuldade das plantas se instalarem sobre a estrutura dura do cupinzeiro, principalmente nos cupinzeiros encontrados em pastagens que sofreram compactação por pisoteio do gado.

A queda em produtividade das pastagens após alguns anos de uso é atribuída a diversos fatores tais como: baixa fertilidade natural dos solos, baixa qualidade das forragens, gramíneas inadequadas para a região, pragas e doenças, e

sistemas inadequados de manejo. Conforme Primavesi (1986), a compactação causada por bovinos, pesando em torno de 400 kg/cabeça, pode ser bastante elevada ($3,5 \text{ km/cm}^2$), levando o solo sob pastagem à degradação física (compactação). Segundo Cortés-Tarrá (2003), embora as áreas de pastagens que foram usadas para instalação dos sistemas agroflorestais possuam mais de 10 anos de abandono e 10 anos em recuperação através de sistemas agroflorestais ainda foi encontrada uma influência do tempo de uso em pastagens sobre o volume dos macroporos do solo nestas áreas.

Em solos compactados, bactérias anaeróbicas são beneficiadas devido a menor aeração do solo, prejudicando a proliferação de bactérias aeróbicas que consomem metano, levando um maior fluxo de metano nessas áreas. Porém, esse efeito não foi encontrado no atual trabalho. Além dos processos de produção e oxidação do metano, o transporte também desse gás entre as camadas do solo é um fator importante que interfere no fluxo de metano na interface solo atmosfera.

Segundo Minami (1989), áreas com características físico-químicas e biológicas alteradas influenciam a produção e a emissão de metano. Entre esses fatores, estão: o potencial redox; o pH (ocorre maior formação de metano em solos com pH próximo à neutralidade, pois o pH ótimo para as diferentes espécies metanogênicas varia de 6,4 a 7,8); a temperatura (importante fator que afeta a atividade microbiana do solo); o substrato e a disponibilidade de nutrientes (disponibilidade de substratos oxidáveis e fertilizantes nitrogenados, pois o nitrato exerce efeito restritivo à formação de metano); adsorção e oxidação (o metano pode ser absorvido por constituintes não-ácidos dos solos, pode ficar retido em gases líquidos no solo e pode ser

oxidado); influência das plantas (como por exemplo, solo plantado com arroz emite menos metano do que o solo correspondente não-plantado); ou seja, vários fatores podem influenciar maiores ou menores fluxos de gases.

6.3. Fluxo de CO₂ nas diferentes coberturas vegetais.

O maior fluxo de CO₂ nas áreas de pastagens no período chuvoso em relação ao período seco pode estar indiretamente relacionado com a compactação do solo de pastagem, que foi maior do que nos outros tratamentos. O acúmulo de água nas camadas superiores do solo estaria contribuindo para uma maior atividade microbiana aumentando conseqüentemente o fluxo de CO₂. Segundo Sharkov (1987), o tempo após a ocorrência da precipitação é muito importante, pois quando a água da chuva preenche os poros do solo contendo ar, pode promover a liberação de gases para fora do solo. Entretanto, Davidson & Trumbore (1995), afirmam que as propriedades do solo variam tanto temporariamente e espacialmente como horizontalmente e verticalmente. Um modelo para ciclo de carbono em solos de floresta tropical Amazônica proposto por Trumbore *et al* (1995), estudando floresta em Paragominas, revelou que o tempo de movimento do carbono no solo (turnover time), acima de um metro é maior que 12 anos.

Dos principais componentes de respiração dos solos- respiração proveniente da decomposição da matéria orgânica do solo; respiração proveniente da decomposição da liteira e a respiração de raízes- é difícil dar uma específica importância para cada um desses componentes, devido à sua expressiva variação em áreas tropicais. Devido a esta variação, há uma grande dificuldade na determinação da contribuição separada de cada componente

para o fluxo total do solo, porque a maioria dos métodos não separa estes componentes no perfil do solo (Raich & Sclesinger, 1992).

Estudos em florestas decíduas (Edwards & Sollins, 1973) revelaram que proporcionalmente existe uma produção diferencial de CO₂ entre raízes (35%), liteira (48%) e solo (17%); portanto, grande parte da respiração do solo provém da decomposição da matéria orgânica (Raich & Schlesinger, 1992). Entretanto, existe uma variação considerável entre biomas e, segundo Hanson *et al* (1993), também parece existir uma sazonalidade na produção de CO₂ na respiração do solo.

Em áreas alagadas, a exportação de carbono na forma de CO₂ pode ocorrer devido a grupos de bactérias anaeróbicas facultativas ou obrigatórias denominadas “formadoras de ácidos”, que convertem basicamente proteínas, carboidratos e gorduras em ácidos graxos, através dos processos de hidrólise e fermentação e, a partir deste momento, as bactérias produtoras de metano passam a utilizar os ácidos orgânicos e certos álcoois anteriormente produzidos convertendo-os em dióxido de carbono e metano (Yavitt & Lang, 1987).

Hodnett *et al.* (1996) sugerem que em Manaus, na época seca, as pastagens degradadas utilizam menos água do que a utilizada pela mata primária nos primeiros 2 metros e também entre 2,3 e 5 metros de profundidade. As razões pontenciais para isso incluem um menor índice de área foliar nas pastagens, uma menor profundidade do sistema radicular, e/ou uma resposta ao estresse hídrico. Considerando que a vegetação controla a umidade do solo, mudanças na cobertura vegetal podem afetar o lençol freático, a decomposição da

matéria orgânica, a liberação e absorção dos nutrientes, o ciclo hidrológico local e regional, e a emissão dos gases.

6.4. Fluxo de metano em cupinzeiros epígeos

Durante os períodos estudados houve uma produção de CH_4 , nas pastagens e na floresta primária significativamente maior no período seco do que no período chuvoso. Esse efeito pode estar relacionado diretamente ao maior acúmulo de material seco (liteira) no solo de floresta no período seco, aumentando assim o ataque por cupim e conseqüentemente um maior fluxo de metano nessa área. Na área de pastagem o que pode estar influenciando os dados é a maior compactação da área e conseqüentemente dos cupinzeiros epígeos, criando ambientes propício a proliferação de bactérias anaeróbicas, devido ao bloqueamento dos poros do solo. Dessa forma influenciando o aumento da comunidade de bactérias metanogênicas (produtora de metano) que são estritamente anaeróbicas. Em um experimento realizado por Cattânio (1996) o mesmo efeito foi encontrado, ou seja um maior fluxo no período seco, onde se esperava que durante a época seca houvesse um consumo de metano pelo solo. Em outro experimento realizado por Davidson *et al.* (1999), em Paragominas, foram encontrados valores altos no fluxo de metano na estação seca, em áreas de pastagem ativa e floresta secundária.

Em um experimento realizado por Ackerman (2002), na mesma área do presente estudo, comparando as propriedades físicas e químicas dos cupinzeiros com o solo adjacente em uma floresta secundária de 8 anos, estabelecida em área de pastagens, a umidade dos cupinzeiros foi bem menor do que a do solo adjacente e a taxa de infiltração de água bem maior. Foi observado também que a resistência a penetração foi significativamente mais

alta nos cupinzeiros do que no solo adjacente. Esse resultado poderia explicar o porque foi encontrado um maior fluxo de metano em cupinzeiros na estação seca: isto estaria extremamente relacionado à compactação da área. Em alguns ensaios realizados com penetrômetro de impacto, foi constatado que cupinzeiros encontrados em florestas tem uma resistência menor à penetração do que encontrados em áreas de solos compactados.

Vários fatores podem estar influenciando os fluxos de metano e não apenas um específico. Um deles seria a diminuição da umidade provocando um aumento do material seco, e com isso um aumento da atividade de cupins principalmente em áreas de floresta. Segundo Cicerone (1988), vários fatores físicos, químicos e biológicos podem influenciar a fisiologia das bactérias metanogênicas e a ecologia dos ecossistemas anaeróbicos, e, portanto, influenciar na produção de metano. Outro efeito pode estar relacionado com a porosidade do solo e o espaço ocupado por O_2 , beneficiando bactérias oxidantes (metanotróficas), que ocupam a superfície do solo por serem aeróbias obrigatórias, caso como pode ocorrer em solos compactados de pastagens.

Segundo Mosier (1991), outro efeito pode ser o aumento na concentração de NH_4 quando o solo seca abaixo de um certo limite e, com isso, as bactérias nitrificantes passam a dar mais preferência apenas para este elemento, o que pode provocar uma diminuição na oxidação do CH_4 , fazendo com que as bactérias metanogênicas atuem mais no local.

Segundo Martius (1993), é difícil de estabelecer uma estimativa para a taxa de emissão global de metano por cupins. A variação pode ser devido a diferenças

na emissão de metano, taxa de outras espécies de térmitas, ou devido às estimativas altamente questionáveis de números de biomassa de indivíduos. Como não existe outra estimativa, é necessário utilizar o valor dado por Khalil *et al.* (1990), que é derivado de estimativas de consumo. Além da relação entre biomassa de térmitas (peso fresco) e fluxos de metano. Os autores não consideram outros fatores, como o conteúdo de água no corpo, a diferença das espécies entre si, o tamanho individual, e a composição de casta, que podem influenciar a emissão de metano de uma colônia. Espécies de térmitas com a cavidade intestinal maior podem conter mais produtores simbióticos de metano, ou a composição de espécies de bactérias metanogênicas do intestino do cupim pode diferenciar de uma espécie para outra. Cupins operários, soldados, e as fases diferentes de desenvolvimento dos térmitas podem conter quantias variadas e qualidade de microorganismos no seu intestino. Porém, estudos da fauna de microorganismos do intestino de térmitas ainda está em uma fase muito inicial (Lee & Messer, 1987).

Não foi encontrada nenhuma diferença significativa no fluxo de metano nos solos adjacentes ao cupinzeiro. Porém, foram observados valores negativos nos tratamentos AS1 e floresta secundária no período chuvoso indicando uma captura de metano pelo solo (processo de oxidação). Em um experimento realizado por Verchot *et al.* (1999), houve um maior fluxo de metano na estação chuvosa nos ecossistemas de floresta e pastagem degradada, e emissões significativamente mais altas na pastagem ativa, bem diferente do que foi observado neste experimento, onde na época chuvosa foi encontrado um consumo de metano pelo solo da pastagem. Segundo Tyler (1991), o metano é oxidado por bactérias aeróbicas do solo (metanotróficas), sendo esse fator um significativo regulador da produção de metano no solo e da absorção

do metano da atmosfera. Segundo Davidson (1995), bactérias nitrificantes podem oxidar CH_4 , contribuindo assim para o consumo de metano pelo solo. Bactérias que oxidam amônia, e que também oxidam metano podem contribuir para esse efeito, pois as áreas em que foi encontrado um consumo de metano pelo solo (AS1 e floresta secundária) foram adubadas em algum período do seu manejo.

Pela análise da literatura pode-se inferir que, em condições normais de umidade, a oxidação do CH_4 realizada no solo, no local do experimento, não é exclusivamente feita por bactérias metanotróficas, ou seja, também existiria uma expressiva contribuição de bactérias nitrificantes que consomem esse metano.

Os resultados do presente estudo devem ser vistos apenas como estimativas preliminares, com o intuito de se avaliar a relação entre as proporções dos gases biogênicos estudados, uma vez que é muito difícil determinar a margem de erro relacionada com a utilização deste tipo de sistema de coletas. A própria câmara de coleta pode ser responsável pela mudança das condições ambientais, além do tipo de armazenamento que, mesmo utilizando água destilada de boa qualidade, pode vir a contaminar as amostras devido ao longo tempo de armazenamento. Paralelamente, as emissões de metano para a atmosfera em um dado sistema são difíceis de serem caracterizadas em um curto período de tempo, devido à elevada variabilidade espacial e temporal intrínseca que apresentam (Pulliam & Meyer, 1992). Além disso, muitos cupinzeiros, não abrigam somente uma espécie de cupim, (Bandeira, 1990): em um cupinzeiro pode-se encontrar mais de quatro espécies de cupins e, até mesmo em cupinzeiros que possuem cupins com defesas químicas são

encontrados inquilinos. Isto significa que são vários os fatores que devem ser avaliados para se estimar melhor a contribuição dos cupins para o fluxo total de metano encontrado na atmosfera.

7. Conclusões

1. Áreas que sofreram maior pressão antrópica possuem uma compactação superficial maior.
2. Há um aumento significativo no fluxo de CO₂ com o aumento da umidade do solo, que é maior na floresta no período seco e maior na pastagem no período chuvoso.
3. Houve um maior fluxo de metano na pastagem e na floresta primária na estação seca em relação à floresta secundária, sem diferença significativa para os sistemas agroflorestais.
4. Não há variação significativa do fluxo de metano em cupinzeiros epígeos, nem nos solos adjacentes ao cupinzeiro em função da umidade gravimétrica do solo.
5. Houve um maior fluxo médio anual de metano em cupinzeiros epígeos em área de floresta primária. Os menores valores anuais de metano nos cupinzeiros e no solo adjacente, foram encontrados nas capoeiras (florestas secundárias).
6. Os cupinzeiros epígeos emitiram mais metano em relação ao solo adjacente ao cupinzeiro, usado como controle.

8. Referências bibliográficas

Ackerman, I.L.; Rondon, M.A.; Wandelli, E.V.; Fernandes, E.C.M. 2002. Fatores limitantes na regeneração de floresta secundária: o papel dos cupins do solo. Resumos do 1º Congresso de Estudante Bolsistas do Experimento LBA. Belém-Pará. p.28.

Anderson, A.B & Posey, D.A 1985. Manejo de Cerrado pelos índios Kayapó. Bol. Mus. Paraense Emílio Goeldi, ser. Bot., 2(1): 77-98.

Araújo, R.L. 1970. Termites of the Neotropical Region. In: Biology of Termites. New York, Academic Press. Vol. 2, 527-576.

Araújo, R.L. 1977. Further notes on the bionomics of *Serritermes* (Isoptera). *Revta. Bras. Ent.*, 21(2): 31-32.

Apolinário, F.B. 1993. Composição faunística e hábitos de nidificação de térmitas (Insecta:Isoptera) em floresta de terra firme da Amazônia central. Dissertação de mestrado. INPA/FUA/Manaus. Brasil. 72p.

Bandeira, A.G. 1979. Notas sobre a fauna de cupins (Insecta: Isoptera) do Parque Nacional da Amazônia (Tapajós), Brasil. Bol. Mus. Paraense Emílio Goeldi, n. ser., *Zool.*, 96: 1-12.

Bandeira, A.G. 1979. Ecologia de cupins (Insecta: Isoptera) da Amazônia Central: efeito do desmatamento sobre as populações. *Acta Amazonica*, 9(3): 481-499.

Bandeira, A.G. 1981. Ocorrência de cupins (Insecta: Isoptera) como pragas de mandiocas em Bujaru, Pará. *Acta Amazonica*, 11(1): 149-152.

Bandeira, A.G. & Torres, M.F.P. 1985. Abundância e distribuição de invertebrados do solo em ecossistemas Amazônicos. O papel ecológico dos cupins. Bol. Mus. Paraense Emílio Goeldi, ser. Zool., 2(1): 13-38.

Bandeira, A.G. 1989. Análise da termitofauna (Insecta: Isoptera) de uma floresta primária e de uma pastagem na Amazônia Oriental, Brasil. Bol. Mus. Paraense Emílio Goeldi. n. ser.Zool., 5(2): 225-241.

- Bandeira, A.G. 1991. Térmites (Insecta: Isoptera) consumidores de liteira na ilha de Maracá, Roraima. *Acta Amazônica*, 21(único): 15-23.
- Balch, W.E. 1979. Methanogenesis: reevaluation of a unique biological group *Microbial Reviews*, 43(2): 26-296.
- Blake, D.R. 1982. Global increase in atmospheric methane concentrations between 1978 and 1980. *Geophys. Res. Lett.*, 9(4): 477-480.
- Blake, D.R. & Rowland, F.S. 1988. Continuing worldwide increase in tropospheric methane, 1978 to 1987. *Science*, 239: 1129-1131.
- Blind, M.R.; Salles, P.; Ferraz, J. 2004. Compactação do solo em plantios florestais. Relatório Final PIBIC. Manaus-AM. 27p.
- Cattânio, J.H.; Nepstad, D.C. 1996. Efeito da exclusão da chuva no fluxo dos gases, traçadores em solos de floresta primária de terra firme no leste Amazônico. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrária do Pará. Belém-Pará. Brasil. 96p.
- Cesar, M.L.; Bandeira, A.G. & Oliveira, J.G.B. 1986. Estudo da relação de cupins e seus ninhos com a vegetação de campos no Estado do Pará. Brasil. Bol. Mus. Paraense Emílio Goeldi. Sér. Bot., 2(2): 119-139.
- Cicerone, R.J. & Oremland, R.S. 1988. Biochemical aspects of atmospheric methane Global Biogeochem. Cycles, 2(4):299-327.
- Collins, N.M.; Wood, T.G. 1984. Termites and atmospheric gas production. *Science*, 224: 84-86.
- Cornu, S. 1995. Cycles biogéochimiques du Silicium, du Fer et de L'Aluminium em Forêt Amazonienne. These de Docteur em Science de L'universit de Droit, d'economie et des science d'aix-Marseille Aix- Marseille III, 414p.
- Cortés-Tarrá, I.L. 2003. Relações entre os grupos funcionais da macrofauna e o volume dos macro-poros do solo em sistemas agrossilviculturais da Amazônia Central. Dissertação de mestrado INPA/UFAM. Manaus, AM. 80p.

Crutzen, P.A. . 1973. Discussion of the chemistry of some minor constituents in the stratosphere and troposphere. *Journal of Geophysical Research*. V-VII. (106-108): 1385-1399.

Crutzen, P.J. 1991. Methane`s sinks and sources. *Nature*. 350; 380-381.

Davidson, E. A. & Ackerman, I.L. 1993. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously unitilled soils. *Biogeochemistry*, 20: 161-193.

Davidson, E. A. 1995. Microbial processes of production and consumption of nitric oxide, nitrous oxide and methane. Em P.A. Matson & R.C. Harriss (Eds), *Biogenic Trace Gases: Measuring Emissions from Soil and water*. Blackwell Science, Oxford. p. 327-357.

Davidson, E.A.; Trumbore, S.E. 1995. Gas diffusivity and production of CO₂ in deep soils of the eastern Amazon. *Tellus* 47B, 0-16.

Davidson, E.A.; Verchot L.V.; Cattânio JH, Ackerman I.L.; Carvalho, J.E.M. 1999. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern amazonia. *Biogeochemistry Cycles*, vol.13, n.1, p31-46.

Davidson, E.A. ; Trumbore, S.; Amundson, R. 2000. Soil warming and carbon content. *Nature*. 408: 789-790.

Dias, A.C.C.P.; Neves, A.D.S. & Barbosa, R.C.M. 1980. Levantamento dos solos da Estação Experimental Rio Negro. *Boletim Técnico da CEPLAC* 71: 1-13.

Edwards, N.T. & Sollins, P. 1973. Continuous measurements of carbon dioxide evolution from partitioned forest floor components. *Ecology*, 54(2): 406-412.

Ehhalt, D.H. 1974. The atmospheric cycle of methane. *Tellus*, XXVI (1-2): 58-70.

Ehhalt, D.H.; Smith, V. 1978. Sources and sinks of atmospheric methane. *Journal of Geophysical Research*. 116: 454-464.

Ehhalt, D.H.; Zander, R.J. & Lamontagne, R.A. 1983. On the temporal increase of tropospheric CH₄. Apud. Ballester, M.V.R. 1994. Dinâmica de

gases biogênicos (CH₄, CO₂, O₂) em ecossistemas aquáticos da planície de inundação do rio Mogi-Guaçu (Estação Ecológica de Jataí, São Paulo).

Emerson, A.E. 1955. Geographical origins and dispersions of termite genera. *Fleldians Zool.* 37: 465-521.

Fang, C.; Moncrieff, J.B. 1999. A model for soil CO₂ production and transport 1: Model development. *Agricultural and forest Meteorology*, 95: 225-236.

Fearnside, P.M. 1992. Greenhouse Gas Emissions from Deforestation in the Brazilian Amazon. Carbon Emissions and Sequestration in forests: Case Studies from Developing Countries. Volume 2. LBL-32758, UC-402. Climate Change Division, Environmental Protection Agency, Washington, DC & Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory (LBL), University of California (UC), Berkeley, California, E.U.A. 73p.

Fearnside, P.M.; Leal Jr., N. & Fernandes, F.M. 1993. Rainforest burning and global carbon budget: biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of geophysical Research*, 98(D9): 16, 733-16, 743.

Fearnside, P.M., 1997. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*. 90: 59-89.

Fearnside, P.M.; Graça., P.M.L.A.; Leal Filho, N.; Rodrigues, F.J.A.; Robinson, J.M. 1999. Tropical Forest burning in Brazilian Amazônia: Measurements of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. *Forest Ecology and Management* 123(1): 65-79.

Fearnside, P.M. 2001. Emissões de gases de efeito estufa oriundas da mudanças do uso da terra na Amazônia Brasileira. In 7^a reunião Especial da SBPC: Amazônia no Brasil e no Mundo, Manaus-Amazonas, 25-27 de abril de 2001. SBPC, São Paulo.

Fernandes, E.C.M.; Neves, E. & Mattos, J.C. 1994. Agroflorestry, managed fallows and Forest plantations for rehabilitating deforested áreas in the Brazilian Amazon. Pp.96-101. In: “ Forestry for Development: Policy, Environment, Technology and Markets” Proceedings of the 1 Panamerican forestry Congress/ 7 Brazilian Forestry Congress, 19-24 September, 1993.

Curitiba, PR. Brazil. Brazilian Society of Silviculture & Brazilian Society of Foresters, São Paulo.

Fernandes, E.C.M.; Biot, T.; Castilla, C.; Canto, A. C; Matos, J.C; Sousa, S.G de; Perin, R.;Wandelli, E. 1997. The impact of selective logging and Forest conversion for subsistence agriculture pastures in terrestrial nutrient dynamics in the Amazon. *Ciência e Cultura* 49(2): 34-47.

Ferraz, J.; Ohta, S. 1997. Soil distribution on transects in the primary forest of ZF-2. Proceedings of the Mid-Term Workshop. Projeto Jacaranda, Manaus-AM. P. 20-22.

Fontes, L.R. 1978. Os cupins. *Ciência e Cultura* 31(9): 986-992.

Gomes, J. I. & Bandeira, A.G. 1984. Durabilidade natural de madeiras Amazônicas em contato com o solo. Bol. ABPM, 15: 1-6.

Grace, J.; Lloyd, J.; tyre, J.; Miranda, A.C.; Meir, P.; Miranda, H. S.; Nobre, C.; Moncrieff, J.; Massheder, J.; Malhi, Y. 1995. Carbon dioxide uptake by na undisturbed tropical rain Forest in southwest Amazônia, 1992 to 1993. *Science*, 270: 778-780.

Grimaldi, M.; Sarrazin, M.; Chavel, A.; Luizão, F.; Nunes, W.; Rodrigues, M.R.L.; Amblard, P.; Tessier, D. 1993. Effects de la déforestation et des culture sur les sols argileux d'Amazonie brésilience. *Cahiers agricultures*, 2: 36-47.

Guenther, A.B.; Zimmerman, P.R.; Harley, P.C.; Monson, R.K.; Fall, R. 1993. Isoprene and monoterpene emission rate variability: model evaluations and sensitivity analyses. *J. Geophys. Res.*, 98, 12609-12617.

Hanson, P.J.; Wullschleger, S.D.; Bohlman, S.A. & Todd, D. E. 1992. Seasonal and topographic patterns of forest floor CO₂ efflux from an upland oak forest. *Tree Physiology* 13: 1-15.

Harris, W.V. 1966. The role of termites in tropical forest. *Insectes Sociaux*, 8: 255-266. Apud Bandeira, A.G.; Harada, A.Y.1991. Cupins e formigas da Amazônia. *Acta Amazônica*. 11(1):149-152.

Harris, R.C.; Sebacher, D.I.; Day, F.P.Jr. 1982. Methane flux in the great dismal swamp. *Nature*. 297: 673-674

Hartge, K.H. and Horn, R. 1992. Die physikalische Untersuchung von Böden. 3. Auflage. Enke Verlag, Stuttgart. 177p.

Houghton, R.A.; Boone, B.D. 1987. The flux the carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use: geographic distribution of global flux. *Tellus*, 316, 617-620.

Houghton, J.T.; Jenking, G.J.; Ephraums, J.J. 1990. Climate change: The IPCC Assessment. Cambridge/ UK; cambridge Univ. Press. 365p.

Hutchinson, G.L., and G.P. Livingston. 1993. Use of chamber systems to measure trace gas fluxes, p. 79-93. In: L.A. Harper, ed. Agricultural Ecosystem effects on trace gases and global climate. American Society of agronomy, Madison, Wisconsin.

INPE. 1989. Avaliação da alteração da cobertura florestal na Amazônia legal utilizando sensoriamento remoto orbital. São José dos Campos. 54p.

IPCC/OECD/IEA, 1996. IPCC guidelines for National greenhouse gas inventories. Module 5. Land use change and forestry. In: IPCC Guidelines, revised 1996 versions. Reference Manual, Vol (3) 74p.

Keller, M., & W.A. Reiners. 1994. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, nitric oxide and methane under secondary sucesion of pasture to forest in the atlantic lowlands of Costa Rica, *Global Biogeochem. Cycles*, 8, 399-409.

Khalil, M.A.K. & Rasmussem, R.A. 1994. Global Emissions of methane during the last several centuries. *Chemosphere*, 29(5): 833-842.

Khalil, M.A.K. 1995. Greenhouse Gases in the Earth`s Atmosphere. Encyclopedia of Environmental Biology. Academic Press Inc. 265p.

Lal, R. 1987. Tropical ecology and physical edaphology. Chichester, Wiley, 732p.

Lal, M. & Subbaraya, B.H. 1993. Greenhouse gases in the earth's atmosphere. Ed.: Global Warming- Concern for tomorrow. New Delhi: Tata Mc Graw-hill. 19-36.

Lavelle, P.; Pashanasi, B. 1989. Soil macrofauna and land management in peruvian Amazonian (Yurimaguas, Loreto). *Pedobiologia*. Jena, v.33. 283-291.

Lavelle, P.; Blanchart, E.; Martin, S.; Spain, A.; Toutain, F.; Barois, I.; Schaefer, R. 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica*, v. 25, 130-150.

Lavelle, P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International*, V. (33): 3-16.

Lee, K.E. & T.G. Wood. 1971. Termites and soils. London. Academic.

Lelieveld, J. Crutzen, P.J. 1992. Indirect chemical effects of methane on climate warming. *Nature*, V(355): 339-342.

Leopoldo, P.R. ; Franken, W.; Salati, E. & Ribeiro, M.N.G. 1987. Towards a water balance in the central amazonian region. *Experientia*, 43: 222-233.

Levine, J. 1989. Photochemistry of biogenic gases. In: Rambler, M.B; Margulis, L. & Fester, R. Eds.: *Global Ecology, towards a science of the biosphere*. Academic Press. p 51-74.

Lobry De Bruyn, L.A. Conacher. A.J. 1990. The role of termites and ants in soil modification: review. *Aust. J. Soil Res.* 28:55-93.

Longan, J.A .1981. tropospheric chemistry: a global perspective. *Geophys.* 86(C8) 7210-7254.

Logan, J.W.M. 1991. Damage to sorghum by termites (Isoptera: Macrotermitinae) in the Lower Shire Valley. Malawi. *Sociobiol.* 19: 305-307.

Luizão, F.J.; Schubart, H.O.R. 1986. Produção e decomposição de liteira em floresta de terra-firme da Amazônia Central. *Acta Limnol. Bras.* 1: 575-600.

Mackenzie, F. T. 1995. Global climatic change: climatically important biogenic gases and Feedbacks. Oxford University Press, New York. p22-46

Mackerrow, A.J. 1992. Nutrient stocks in abandoned pastures of the central Amazon Basin Prior to and Following Cutting and Burning. Msc-North carolina state University, raleigh, USA. 116p.

Malhi, Y.; Nobre, A.D.; Grace, J.; Kruijt, B.; Pereira, M.G.P.; Culf, A.; Scotts, S. 1998. Carbon dioxide transfer over a central amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research*, 103: 31593-31612.

Marland, G. & Rotty, R.M. 1984. Carbon dioxide emissions from fossil fuels: a procedure for estimation and results from 1950-1982. *Tellus*, 368, 232-261.

Martius, C.1987. The adaptation of térmites (*Nasutitermes sp- Termitidae, Nasutitermitinae*) to Amazonian inundation forest. In: Chemistry and biology of social insecta. In: Chemistry and biology of social insecta. Eder, J. Rembold, M. (Ed). Proc. 10 th International Congress of USSI, Munchen, 18-22 August, 1986. 609-610.

Martius, C.; Wassmann, R.; Thern, U.; Bandeira, A.G. 1993. Methane emission from wood-feeding termites in Amazonia. *Chemosphere*. 26(1-4). 623-632.

Martius, C. 1994. Diversity and ecology of termites in Amazonian forests. *Pedobiologia*. 38: 407-428.

Martius, C.; Fearnside, P.M.; Bandeira, A.G.; Wassmann, R. 1996. Deforestation and methane release from termites in Amazonia. *Chemosphere* 33: 517-536.

Martius, C. 1998. Perspectivas do controle biológico de cupins (Insecta: Isoptera). *Revta Bras. Ent.* 41 (2-4):179-194.

Matthews, E.; Fung, I. 1987. Methane emissions from natural we hand: global distribution area and enviromental characteristics of sources. *Global Biogeochim. Cycles*. 1 (1): 61-86.

Mill, A.E. 1982. Faunal studies on termites (Isoptera) and observation on their ant predators (*Hymenoptera: Formicidae*) in the Amazon Basin. *Rev. Bras. Ent.*, 6(3-4): 253-260.

Minami, K. 1989. Methane measurements and alternative management practices: Recent work in Japan I. In: Intergovernmental Panel on Climate Change. Workshop on greenhouse gas emissions from agricultural systems. Washington: IPCC-RSWG.

Mosier, A.; Schimel, D.; Valentine, D.; Bronson, K & Parton, W. 1991. Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. *Nature*, 350: 330-332.

Myers, N. 1989. Deforestation rates in tropical forest and their climatic implications. *Friends of the Earth*, London. 116p.

Odum, E.P. 1983. Basic Ecology. College Publishing. 434p.

Oliveira, L.A. & Paiva, W.O. 1985. Utilização de cupinzeiros e esterco de galinha como adubo em alface num Podzólico Vermelho Amarelo da região de Manaus. *Acta Amazonica* 15(1): 13-18.

Oremland, R.S. 1988. Biochemistry of methanogenic bacteria. In Zehnder, J.B. Eds.: Biology of anaerobic microorganisms. New York. J. Wiley. 641-705.

Primavesi, A. 1986. Manejo ecológico de pastagens em regiões tropicais e subtropicais. 2ª edição. *Centaurus*, Porto Alegre 184p.

Phillips, °; Malhi, Y.; Higuchi, N.; Grace, J.; Laurence, W. F.; Nuñez, P.; Vasquez, R.; Laurence, S.G.; Ferreira, L.V.; Stern, M.; Brown, S. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forest: evidence from long term plot data, *Science*, 282: 439-442.

Queiroz, J.M.T.; Ackerman, L.I.; Wandelli, E. V.; Fernandes, E.C.M. 2001. Influência da abundância de cupinzeiros na biomassa da vegetação em diferentes usos da terra. Resumo do 1º Congresso de estudante bolsista do experimento LBA.Univ. Federal do Pará. Belém. 18 a 20 de março de 2002 P20.

Raich, J.W.; Bowden, R.D.; Stendler, P.A. 1990. Comparison of twostatic chamber techniques for determining carbon dioxide efflux from forest soil. *Soil Science society of America Journal*, 54: 1754-1757.

Raich, J.W.; Schlesinger, W.H. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 44: 81-99.

Ribeiro, M.N.G. & Adis, J. 1984. Local rainfall variability, a potential bias for bioecological studies in the Central Amazon. *Acta Amazonica*, 14: 159-174.

Roberts, J.M. 2000. Effects of temperature on soil respiration: A brief overview. Center for ecology and hydrology wallingford, crow marsh gifford, walling ford, *Oxfordshire*. 45p.

Salick, J.; Herrera, R. & Jordam, C.F. 1983. Termitaria: nutrient patchness in nutrient-deficient rain Forest *Biotropica*. 15(1): 1-7.

Samsone, F.J & Martens, C.S. 1981. Methane production from acetate and associated methane fluxes from anorix coastal sediments. *Science*. 211: 707-709.

Sanches, P.A. 1976. Properties and managment of soil in the tropics. John Wiley & Sons. New York. 618p.

Teixeira, L.B. & Bastos, J.B. 1989. Nutrientes nos solos de floresta primária e pastagem de *Brachiaria humidicola* na Amazônia Central. Boletim de Pesquisa, EMBRAPA/CPATU. 98, 311p.

Trumbore, S.E.; Davidson, E. A.; Camargo, P. B.; Nepstad, D.C. & Martinelli, L.A. 1995. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of Eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, 9(4): 515-528.

Tyler, S.C. 1991. The global methane budget. Em J.E. Rogers & W.B. Whitman (eds). Microbial production and consumption of greenhouse gases: methane, nitrogen oxides, and halomethanes. American Society for Microbiology, p. 7-37.

Verchot, V.L.; Davidson, E.A.; Cattânio, J.H.; Ackerman, I.L. 1999. Land-Use Change and Biogeochemical Cntrols of Methe Fluxes in sols of Eastern Amazonian. *Ecosystems*,(2000) 3:41-56.

Wagai, R.; Brye, K.R.; Gower, S.T.; Norman, J.M.; Bundy, L.G. 1998. Land use and environmental factors influencing soil surface CO₂ flux and microbial biomass in natural and managed ecosystems in southern Wisconsin. *Soil Biology and Biochemistry*, 30: 1501-1509.

Wandelli, E.V.; Souza, S.G.A. 1996. A contribuição da biomassa da vegetação secundária na fertilidade do solo. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Planta, 22. Resumo expandido. Manaus: SBCS.

Wilson, E.O. 1992. Social insects as dominant organisms. P 1-7. In: J. Billen (Ed.) *Biology and Evolution of Social Insects*. Leuven, Leuven University.

Whalen, S.C & Reeburgh, W.S. 1988. A methane flux time series for tundra environments. *Global Biogeochem. Cycles*, 2(4) 399-409.

Wood, T.G. 1975. The effects of clearing and grazing on the termite fauna (Isoptera) of tropical savanas and Woodlands, In: *Progress in soil Zoology*. Vanek, J. (Ed.) Prague, Academia. P 409-418. Apud Bandeira, A.G.; Harada, A .Y. 1991. Cupins e formigas da Amazônia. *Acta Amazônica*. 11(1): 149-152.

Woodwell, G. M. 1989. The warming of the industrialized middle latitudes 1985-2050: causes and consequences. *Climatic Change*, 15: 31-50.

Yavitt, J.B., Lang, G.E. & Wieder, R.K. 1987. Control of carbon mineralization to CH₄ and CO₂ in anaerobic, Sphagnum-derived peat from Big Run bog, west Virginia. *Biogeochemistry*, 4: 141-157.

Yim, M.H.; Joo, S.J.; Syudou, K.; Nakane, K. 2002. Spatial variability of soil respiration in a larch plantation: estimation of the number of sampling points required. *Forest Ecology and Management*. 5979: 1-4.

Zimmerman, P.R.; Greenberg, J.P.; wandiga, S.O.; Crutzen, P. 1982. Termites: A potentially large source of atmospheric methane, carbon dioxide, and molecular hydrogen. *Science*. 218:563-565.

9. APÊNDICES

Apêndice 1. Análise de variância do fluxo de metano nos cupinzeiros, avaliando a diferença do fluxo entre os tratamentos e entre os diferentes períodos.

Fonte de variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado médio	F	p
Tratamento	3	0,22	0,73	5,59	0,004
Período	2	0,11	0,54	4,13	0,028
Tratamento x Período	6	0,14	0,23	1,78	0,145
Resíduo	24	0,31	0,13		

Apêndice 2. Análise de variância do fluxo de metano no solo adjacente ao cupinzeiro, avaliando a diferença d fluxo entre o tratamentos e entre os diferentes períodos.

Fonte de variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado médio	F	p
Tratamento	3	0,75	0,25	0,77	*****
Período	2	0,13	0,67	2,11	0,14
Tratamento x Período	6	0,40	0,67	2,08	0,09
Resíduo	24	0,77	0,32		

Apêndice 3. Análise de variância da umidade gravimétrica no solo adjacente ao cupinzeiro, avaliando a diferença da umidade entre o tratamentos e entre os diferentes períodos

Fonte de variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado médio	F	P
Tratamento	3	1009,18	336,39	17,34	0,000
Período	2	152,80	75,40	3,94	0,03
Tratamento x Período	6	224,83	37,47	1,93	0,11
Resíduo	24	465,39	19,39		

Apêndice 4. Análise de variância fluxo de CO₂ no solo adjacente ao cupinzeiro, avaliando a diferença do fluxo entre o tratamentos e entre os diferentes períodos

Fonte de variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado médio	F	P
Tratamento	3	0,49	0,15	3,04	0,05
Período	2	0,62	0,31	5,76	0,01
Tratamento x Período	6	0,59	0,11	2,13	0,08
Resíduo	24	1,31	0,55		

C O M P A R A C O E S P E L O T E S T E D E T U K E Y

TRATAMENTOS

VARIAVEL = CPZ

TRAT	DADOS	MEDIAS	COMPARACOES
4	9	.2548	A
3	9	.2337	A
1	9	.1382	A B
2	9	.0598	B

VARIAVEL = SOLO

TRAT	DADOS	MEDIAS	COMPARACOES
3	9	.1878	A
4	9	.1267	A
1	9	.0950	A
2	9	.0644	A

VARIAVEL = UMIDADE

TRAT	DADOS	MEDIAS	COMPARACOES
2	9	42.1233	A
1	9	38.8142	A B
4	9	35.9275	B
3	9	27.8250	C

VARIAVEL = CO2

TRAT	DADOS	MEDIAS	COMPARACOES
4	9	1.0144	A
2	9	.9404	A
3	9	.7897	A
1	9	.7177	A

Apêndice 6. Resumo das Regressões lineares simples, entre a compactação superficial e o fluxo de metano e fluxo de CO₂ em solos adjacentes ao cupinzeiros usados como controle.

	Mean	r (X, Y)	r ²	t	p
Compactação	6,29	0,19	0,03	1,17	0,24
Fluxo de CH ₄	0,11				
Compactação	6,29	- 0,27	0,07	- 1,64	0,10
Fluxo de CO ₂	0,86				

Apêndice 7. Resumo das regressões lineares simples, entre a umidade gravimétrica do solo o fluxo de metano nos cupinzeros, no solo adjacente usado como controle

	Mean	r (X, Y)	r ²	t	p
Umidade	36,17	-0,22	0,05	- 1,33	0,19
Fluxo de CH ₄ nos CPZ	0,17				
Umidade	36,17	- 0,30	0,09	- 1,87	0,07
Fluxo de CH ₄ no solo adjacente	0,11				
Umidade	36,17	0,30	0,11	2,08	0,04
Fluxo de CO ₂	0,86				