

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**EFLUXO DE CO₂ DO SOLO DE UMA ÁREA DE
FLORESTA DE TRANSIÇÃO
NO NOROESTE DE MATO GROSSO**

CARLA MARIA ABIDO VALENTINI

ORIENTADOR: Prof. Dr. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO

Cuiabá - MT, Julho de 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**EFLUXO DE CO₂ DO SOLO DE UMA ÁREA DE
FLORESTA DE TRANSIÇÃO
NO NOROESTE DE MATO GROSSO**

CARLA MARIA ABIDO VALENTINI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física e Meio Ambiente.

ORIENTADOR: Prof. Dr. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO

Cuiabá - MT, julho de 2004.

DEDICATÓRIA

Aos meus amados pais, Alexi e Maria Zélia, meus grandes “mestres”, por terem me ensinado a não ter medo de “recomeçar”.

Às minhas filhas Natália e
Giovana, meus maiores
incentivos para continuar, e
concluir os meus propósitos.

Ao meu querido esposo Edson, por seu companheirismo, por me entender, e sempre me apoiar quando fica difícil “continuar”.

AGRADECIMENTOS

- Ao meu Deus, sempre fiel, por ter me dado forças todos os dias para cumprir este trabalho.
- Ao meu esposo José Edson Valentini, por sua compreensão e incentivo nas minhas escolhas.
- Aos meus familiares, especialmente aos meus pais Alexi e Zélia, e aos meus irmãos Alexandra e Alexandre, por me apoiarem, e me ajudarem no cuidado das minhas filhas durante as minhas ausências.
- À minha filha Natália, por ser esta criança dedicada aos estudos e por me fazer acreditar que estou no caminho certo, e à minha filha Giovana, que com sua alegria e força de viver me faz sempre ter mais esperança.
- À Universidade Federal de Mato Grosso, em especial ao Departamento de Física, pela oportunidade de realização deste trabalho.
- Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso, pelo apoio neste tempo de estudos.
- Aos colegas do CEFET-MT, em especial aos colegas da química, pela compreensão durante este trabalho.
- Ao LBA pelo auxílio financeiro nas pesquisas.
- Ao prof. Dr. José de Souza Nogueira (Paraná), por sua presença amiga, e por seu esforço para a realização deste curso de mestrado.
- Ao prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo, por seu apoio, orientação e confiança depositada no desenvolvimento desta dissertação.
- À prof^a. Dra. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, que não mediu esforços para que pudéssemos ter a nossa sala de estudos.
- Ao prof. Dr. Nicolau Priante Filho, que muito me ensinou com seu despojamento, principalmente em acreditar numa “sociedade quântica”.
- Ao prof. Dr. José Holanda Campelo Júnior, por tudo que me ensinou nas nossas conversas nas aulas de campo.
- Ao mestre Mauro Massao Shiota Hayashi (*in memoriam*), que com seu jeito ímpar, muito colaborou durante este tempo de estudos, mostrando que é sempre possível superar os desafios. Saudades!
- À prof^a. Dra. Luciana Sanches, por diariamente estar ao nosso lado, em especial por sua amizade e contribuição neste trabalho.

- Ao prof. Dr. George Vourlitis, por toda colaboração e por gentilmente fornecer material bibliográfico para esta pesquisa.
- À Soilce Carrilho, pela colaboração nos serviços da secretaria e por sua alegria contagiante.
- Aos colegas de mestrado que pela convivência diária nos trabalhos do curso se tornaram meus amigos, dentre os quais quero destacar: Kelli Munhoz, José Carlos de Arruda e George Suli.
- À Eliane Dias de Almeida, amiga de todas as horas, e ao Segundo Durval Rezende, grandes companheiros de viagem, que com boa vontade e alegria me ajudaram a superar os desafios das coletas de dados na floresta.
- Aos colegas da sala de estudos, que dia-a-dia conviveram e acompanharam o desenvolvimento deste trabalho: Márcia Gallon, Márcia Klein, Renata Aguiar, Vinícius Capistrano, Marcelo Biúdes, João Júnior, Pedro Priante, Eduardo Miranda, Vilidiana Moraes e Carlos Silva.
- Às amigas Iramaia Cabral de Paulo e Marilú Sanches, por me incentivarem e acreditarem neste trabalho.
- Aos professores e bolsistas do Núcleo de Tecnologia e Armazenagem da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UFMT, que me apoiaram e gentilmente emprestaram seus equipamentos para esta pesquisa.
- Aos bolsistas do projeto LBA que colaboraram com os dados para este trabalho.
- A todos que de alguma forma colaboraram e que não mencionei nominalmente.
- Quero repetir a frase de D.Bosco à Maria, a quem também invoco como Nossa Senhora Auxiliadora: “Foi Ela quem tudo fez!”.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Florestas tropicais	3
2.2. Solo	8
2.2.1. A Fase Sólida do Solo	8
2.2.2. A Fase Líquida do Solo	10
2.2.3. A Fase Gasosa do Solo	12
2.3. Serrapilheira	15
2.3.1. Tipos de Decomposição e Decompositores	19
2.4. Ciclo do Carbono	20
2.5. Efluxo de CO ₂	22
2.5.1. Medida do Efluxo de CO ₂	24
2.6. Valor Q10	25
2.7. Modelos fisiológicos que Estimam o Efluxo de CO ₂	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Descrição da Região em Estudo	28
3.1.1. Localização da Área	28
3.1.2. Vegetação e Solos	29
3.1.3. Clima	31
3.2. Localização do Experimento	32
3.3. Métodos	36
3.3.1. Coleta de Serrapilheira	36
3.3.2. Coleta de Dados de Efluxo de CO ₂	37
3.3.3. Coleta de Dados Micrometeorológicos	39
3.4. Processamento dos Dados	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1. Variação do Efluxo de CO ₂	42
4.2. Efluxo de CO ₂ e Temperatura do Solo	46
4.2.1. Temperatura do Solo e Temperatura do Ar	46
4.2.2. Relação do Efluxo de CO ₂ e a Temperatura do Solo	48
4.3. Efluxo de CO ₂ e Umidade do Solo	57
4.3.1. Umidade do Solo e Precipitação	57
4.3.2. Relação entre o Efluxo de CO ₂ e Umidade no Solo	60
4.4. Variação Temporal da Produção de Serrapilheira	62
4.4.1. Variação da Produção de Serrapilheira	62
4.5. Modelos que Estimam o Cálculo de Efluxo de CO ₂	64
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
6.1. Bibliografias Citadas	70
6.2. Bibliografias Consultadas	80
7. ANEXOS	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Amazônia Legal.....	4
Figura 2.2. Cobertura vegetal da Amazônia Legal e do Bioma Amazônia, 2001.....	4
Figura 2.3. Principais zonas de pluviosidade da Amazônia Legal, 2000.....	7
Figura 2.4. Modelo de ciclo de carbono em uma floresta.....	21
Figura 3.1. Localização da área em estudo.	28
Figura 3.2. Localização da torre micrometeorológica e dos pontos de coleta.	32
Figura 3.3. Localização dos pontos de coletas dentro da área em estudo (Escala: 1cm corresponde a aproximadamente 15 m).	33
Figura 3.4. Torre micrometeorológica localizada na área de estudo.	33
Figura 3.5. Caixa coletora de serrapilheira.	36
Figura 3.6. Aparelho de absorção de CO ₂ por gás infravermelho (LI-6400) acoplado à câmara de retenção de CO ₂ (LI-6400-09) e sensor de temperatura (LI-6000- 09TC).	38
Figura 3.7. Aparelho portátil de absorção de CO ₂ por infravermelho (EGM-1/WMA- 2) e termômetro digital.....	38
Figura 3.8. Sensores TDR instalados adjacentes à torre micrometeorológica nas profundidades de 5, 25 e 70 cm.	40
Figura 4.1. Medianas do efluxo do CO ₂ no solo nas datas medidas.....	45
Figura 4.2. Médias de temperatura do solo e do ar (°C) nas datas de coleta.....	47
Figura 4.3. Mediana dos valores de temperatura do solo (°C) nas datas coletadas....	48
Figura 4.4. Regressão linear entre as medidas de efluxo de CO ₂ e temperatura no solo.....	49
Figura 4.5. Média do efluxo de CO ₂ e da temperatura no solo nas datas medidas. ...	50
Figura 4.6. Regressão entre os valores médios mensais do efluxo de CO ₂ e temperatura do solo.	50
Figura 4.7. Regressão entre os valores médios do efluxo de CO ₂ e temperatura no na estação chuvosa.	51
Figura 4.8. Regressão exponencial entre efluxo de CO ₂ e temperatura no solo para o ponto 1.....	54
Figura 4.9. Regressão exponencial entre efluxo de CO ₂ e temperatura no solo para o ponto 2.....	54
Figura 4.10. Regressão exponencial entre efluxo de CO ₂ e temperatura no solo para o ponto 6.....	54
Figura 4.11. Regressão exponencial entre efluxo de CO ₂ e temperatura no solo para o ponto 9.....	55
Figura 4.12. Regressão exponencial entre efluxo de CO ₂ e temperatura no solo para o ponto10.....	55
Figura 4.13. Regressão exponencial entre efluxo de CO ₂ e temperatura no solo para o ponto13.....	55
Figura 4.14. Regressão exponencial entre efluxo de CO ₂ e temperatura no solo para o ponto16.....	56
Figura 4.15. Regressão exponencial entre efluxo de CO ₂ e temperatura no solo para o ponto17.....	56
Figura 4.16. Regressão exponencial entre efluxo de CO ₂ e temperatura no solo para o ponto18.....	56

Figura 4.17. Precipitação em 2003 e início de 2004. e umidade do solo em 2003	58
Figura 4.18. Umidade do solo nas 3 profundidades coletadas pelo TDR.	59
Figura 4.19. Variação temporal do efluxo de CO ₂ e umidade do solo.	61
Figura 4.20. Relação entre efluxo de CO ₂ e umidade do solo.	61
Figura 4.21. Variação temporal do efluxo de CO ₂ e da serrapilheira.	63
Figura 4.22. Regressão entre efluxo de CO ₂ do solo e produção de serrapilheira	64
Figura 4.23. Variação temporal do efluxo de CO ₂ no solo medido e calculado pelo modelo de Bunnell.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Classificação dos solos.....	11
Tabela 2.2. Valores médios da composição do ar do solo da camada superficial com o ar atmosférico.....	14
Tabela 3.1. pH e carbono orgânico do solo do local.....	29
Tabela 3.2. Distribuição de indivíduos amostrados por famílias (diâmetro à altura do peito > 10 cm)	30
Tabela 3.3. Precipitação e temperatura média do ar para a área em estudo.....	31
Tabela 3.4. Localização da torre e dos pontos do experimento pelas coordenadas ...	34
Tabela 3.5. Distância em metros entre os pontos de coleta e a torre micrometeorológica.	35
Tabela 3.6. Distância em metros entre os pontos de coleta.	35
Tabela 3.7. Descrição sucinta dos aparelhos utilizados, frequência e local de coleta.	39
Tabela 4.1. Média do efluxo de CO ₂ no solo nas datas coletadas.....	43
Tabela 4.2. Estudos realizados de efluxo do CO ₂ no solo na região Amazônica.	44
Tabela 4.3. Médias da temperatura do solo nas datas medidas.....	46
Tabela 4.4. Análise estatística de regressão exponencial entre a média efluxo de CO ₂ e temperatura.....	53
Tabela 4.5. Umidade do solo e precipitação nas datas medidas.	58
Tabela 4.6. Umidade do solo (% água no solo) em cada ponto de coleta em abril de 2004.	60
Tabela 4.7. Produção de serrapilheira durante o período estudado.....	62
Tabela 4.8. Coeficiente de determinação e Q10 obtidos pela equação.....	65
Tabela 4.9. Efluxo de CO ₂ do solo medido e calculado pelo modelo de Bunnell.....	66

RESUMO

VALENTINI, C. M. A. *Efluxo de CO₂ do solo de uma área de floresta de transição no noroeste de Mato Grosso*. Cuiabá, 2004. 81p. Dissertação (mestrado) – Física e Meio Ambiente. Universidade Federal de Mato Grosso.

As florestas tropicais vêm sendo estudadas por muitos grupos de pesquisa que buscam responder sobre o papel das mesmas no ciclo global do carbono. No noroeste de Mato Grosso, Brasil (11°24.75'S; 55°19.50'O), encontra-se uma floresta, que ocupa o ecótono entre cerrado e Floresta Amazônica, que vem sendo substituída por pastagens e culturas agrícolas. O efluxo do CO₂ do solo é o maior componente do ciclo do carbono da biosfera, e saber como o mesmo se comporta de acordo com o microclima local é de fato importante, já que não há informações sobre o efluxo de CO₂ para esta área em estudo, assim como para prever as mudanças que possivelmente ocorrerão no ciclo de carbono se não houver a preservação desta floresta. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do microclima desta região de floresta de transição sobre o efluxo de CO₂ do solo. As medidas do efluxo de CO₂ foram realizadas uma vez ao mês, de fevereiro de 2003 a fevereiro de 2004, entre 10:00 e 14:00 horas, em uma área de 20 Km², em 20 pontos próximos à torre micrometeorológica pertencente ao projeto LBA, com dois tipos de aparelhos de absorção de CO₂ por infravermelho, acoplados às suas respectivas câmaras de retenção de CO₂. As medidas de efluxo de CO₂ foram comparadas às variáveis: temperatura e umidade do solo, e produção de serrapilheira. A média anual de efluxo de CO₂ do solo foi $7,5 \pm 0,6$ (média \pm EP) $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, a média anual de temperatura do solo foi igual a $25,06 \pm 0,12$ (média \pm EP) °C, e a produção de serrapilheira em 2003 foi maior em folhas, com $5,39 \text{ tha}^{-1}$. Concluiu-se que dentro das condições de estudo a umidade foi a variável que mais influenciou no efluxo de CO₂, porém os resultados são mais significativos quando se estima o efluxo de CO₂ e o Q₁₀ usando-se o modelo de Bunnell que trabalha conjuntamente a temperatura e umidade .

Palavras-chave: Efluxo de CO₂ do solo, temperatura do solo, umidade do solo, serrapilheira, Q₁₀.

ABSTRACT

VALENTINI, C. M. A. *The soil CO₂ efflux of an area of transition forest in the northwest of Mato Grosso*. Cuiabá, 2004. 81p. Dissertação (mestrado) – Física e Meio Ambiente. Universidade Federal de Mato Grosso

Many research groups have been studying the contribution of the tropical forests in the global carbon cycle. In the northwest of Mato Grosso, Brazil (11°24.75'S; 55°19.50'W), there is a forest that occupies the transition between cerrado and Amazon Forest and has been substituted for pastures and agricultural cultures. The soil CO₂ efflux is the greater component of the carbon cycle of the biosphere. It is important to know how the soil CO₂ efflux acts according to the local microclimate, as this area in study does not have that information, as well as to predict the changes that might possibly occur in the carbon cycle if preservation of this forest doesn't happen. The objective of this work was to evaluate the influence of the microclimate of a transition forest on the soil CO₂ efflux. The measurements were made monthly from February 2003 to February 2004, between 10:00 a.m and 14:00 p.m, in a 20 km² area, distributed in 20 points next to micrometeorological tower from LBA project. Two types of CO₂ absorption devices for infra-red ray connected to its respective chambers of CO₂ retention were used. The CO₂ efflux measurements had been compared with temperature, soil moisture, and litter fall production. The annual average of soil CO₂ efflux was 7.5 ± 0.6 (mean \pm SE) $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, the annual mean soil temperature was $25,06 \pm 0.12$ (mean \pm SE) °C, and the litter fall production in 2003 had high leaves contribution, 5.39 tha^{-1} . This study shows that the humidity had high influence in the CO₂ efflux; however the CO₂ efflux and the Q10 results had more significant estimative using the Bunnell model that analyses the temperature and humidity together.

Key Words: Soil CO₂ efflux, soil temperature, soil moisture, litter fall, Q10

1. INTRODUÇÃO

O cerrado, uma das formações savânicas do Brasil, é um bioma extremamente heterogêneo, e possui diversas formações fisionômicas, desde a formação campestre (campo limpo), formas intermediárias (campo-sujo, campo cerrado e cerrado *sensu stricto*), até a formação florestal (cerradão), que é a mais alta e densa (COUTINHO, 1990).

No noroeste do estado de Mato Grosso, próximo à cidade de Sinop, se encontra uma região de transição entre cerrado e Floresta Amazônica, denominada floresta de transição ou cerradão, com árvores perenes, de pálio alto (28-30m) e fechado (VOURLITIS et al., 2001).

Nesta região a precipitação média anual é de 2000 mm, sendo que aproximadamente metade da chuva anual cai entre dezembro a fevereiro. Há 4 meses de estação seca, entre junho e setembro e a temperatura média é de 24°C, com pequenas variações sazonais (VOURLITIS et al., 2001).

Devido à expansão da agricultura, das madeireiras e da pecuária, esta região está sendo continuamente transformada, e ao contrário da geopolítica dos anos 70, quando a ocupação era a melhor maneira de assegurar a soberania territorial, no começo deste século o conhecimento científico de como esta floresta nativa se comporta com relação às interações biosfera - atmosfera é um dado estratégico, pois poderá avaliar as consequências da intervenção humana no local e os possíveis desdobramentos planetários que estes impactos poderão causar.

As transferências de energia, água e carbono são as mais importantes interações entre a biosfera e atmosfera. O vapor d'água e o CO₂ (dióxido de carbono ou gás carbônico) são as moléculas que mais influenciam no aquecimento do planeta, pois atuam como gases de efeito estufa. Assim sendo, em relação ao ciclo do carbono no planeta há uma preocupação com o aumento do CO₂ na atmosfera causado por fontes antropogênicas, como a queima de combustíveis fósseis, queima de florestas e desmatamento, e sua implicação nas mudanças climáticas globais.

Como a quantidade futura de CO₂, além de uma boa política ambiental que consiga coibir sua produção exagerada, dependerá também de sorvedouros capazes de absorver parte deste gás liberado, faz-se necessário responder às indagações sobre o papel desta floresta no ciclo do carbono.

Para saber se esta floresta de transição é de fato um sorvedouro de carbono é preciso monitorar os fluxos verticais de CO₂, respiração do solo, e todos os outros parâmetros que possam ter correlação com os mesmos, de modo a quantificá-los e relacioná-los. Desta maneira será possível verificar quais as interações físicas e químicas entre o solo, a vegetação e a atmosfera e quais as consequências no sistema de circulação atmosférica que compõem o clima quando se substitui as florestas por pastagens e culturas agrícolas.

O efluxo de CO₂, ou respiração do solo, é o maior componente do ciclo do carbono na biosfera, podendo constituir cerca de $\frac{3}{4}$ da respiração do ecossistema, o que mostra a grande relevância dos solos, no que se refere a atuar como fonte ou sumidouro de carbono atmosférico. Portanto um estudo sobre a respiração do solo nesta floresta poderá responder muitas dúvidas que não seriam respondidas apenas pelo método de covariância por vórtice turbulento e fotossíntese.

O objetivo principal deste trabalho foi verificar a influência de algumas variáveis microclimáticas de uma floresta de transição em Sinop-MT no efluxo de CO₂ do solo.

Para tanto, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Estimar o efluxo de CO₂ do solo.
- Verificar a influência da temperatura no efluxo de CO₂ do solo.
- Verificar a influência da umidade no efluxo de CO₂ do solo.
- Verificar a relação entre o efluxo de CO₂ do solo e a produção de serrapilheira.
- Estimar o valor de Q10.
- Avaliar alguns modelos fisiológicos que estimam o efluxo de CO₂ do solo.
- Avaliar os resultados do presente estudo com trabalhos que analisaram a variação do efluxo de CO₂ do solo para a região de floresta Amazônica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.FLORESTAS TROPICAIS

As florestas tropicais são formações naturais caracterizadas por uma vegetação densa, constituída principalmente por espécies arbóreas, algumas podendo chegar a mais de 30 m de altura, com uma complexa diversidade de flora e fauna. Ocorre nos três grandes continentes da faixa intertropical, e sua distribuição é diretamente determinada pela ocorrência de alta pluviosidade, que de maneira geral é causada pelo encontro dos ventos alísios que trazem umidade dos oceanos.

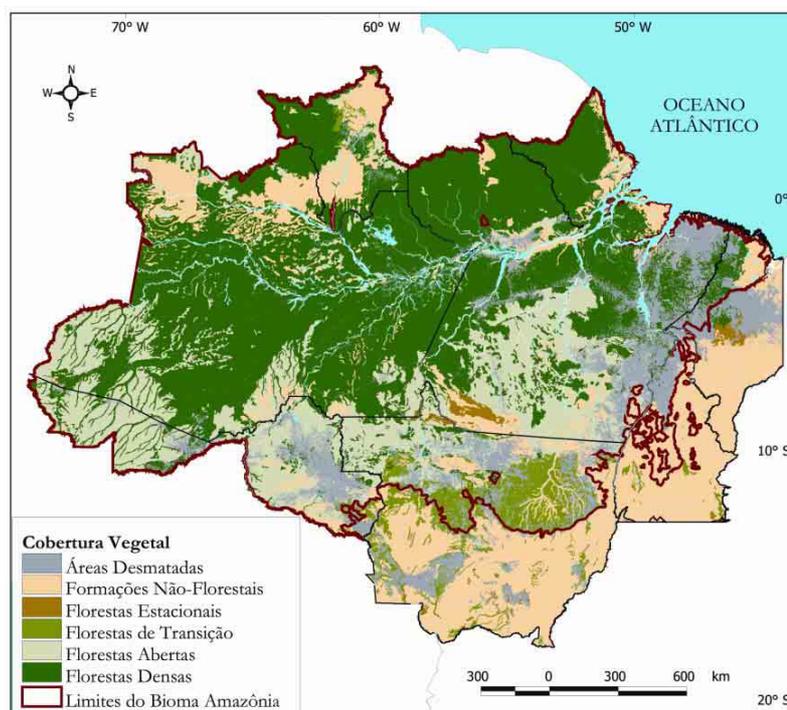
Na Amazônia Legal, uma área que corresponde a 59% do território brasileiro, com aproximadamente 5,5 milhões de Km², que compreende os Estados do Acre, Amazonas, Pará, Amapá, Rondônia, Roraima, Tocantins, Mato Grosso e parte dos Estados de Goiás e Maranhão, há 74% de florestas (38% são florestas densas, 36% florestas não-densas), 13% de cerrados e campos, e 13% de áreas desmatadas, conforme as figuras 2.1 e 2.2. Nesta área há 28 tipos diferentes de comunidades vegetais, e somente 33% destas se localizam em áreas com proteção legal (CECCON & MIRAMONTES, 1999).

O Brasil é o maior produtor e o maior consumidor mundial de madeira tropical. Mais de 90% desta produção é proveniente da Amazônia. Nesta região, 76 pólos madeireiros são responsáveis por mais de 95% de toda a madeira extraída em toda a Amazônia brasileira, sendo que 80% da extração e processamento ocorre dentro do “Arco de Desmatamento” no sul da bacia Amazônica, indo de Rondônia ao norte do Mato Grosso e ao sul e leste do Pará. O corte de toras na Amazônia cresceu significativamente nas últimas duas décadas. A produção de madeira roliça teve um aumento de 4,5 milhões de m³ em 1976 para 28 milhões de m³ em 1997.



Fonte: IBGE (1997).

Figura 2.1. Amazônia Legal.



Fonte: INPE (2003), WWF (2000), IBGE (1997), WHRC (1992) e IBGE (1991).

Figura 2.2. Cobertura vegetal da Amazônia Legal e do Bioma Amazônia, 2001.

Segundo CECCON & MIRAMONTES (1999), em contraste com outros países, unicamente uma quinta parte das emissões totais brasileiras se derivam do uso de combustíveis fósseis, e os quatro quintos restantes se derivam de destruição florestal por incêndios provocados com a finalidade de transformar as florestas em áreas de atividade agropecuária.

Foram desmatados em torno de 587,7 mil Km² de florestas, uma área semelhante à da França, sendo a maioria ao longo do “Arco de Desmatamento” acompanhando o processo de expansão das atividades agropecuárias ao norte (INPE, 2001).

O estado de Mato Grosso possui uma extensão territorial de 906.806 Km²; deste total, mais da metade são situados acima do paralelo 13, considerados parte da Floresta Amazônica, com cobertura florestal existente ou com aptidão para reflorestamento. Até agosto de 2000, o estado registrou uma área desmatada de 143.930 km² (INPE, 2002) – 24% de toda a área desmatada na Amazônia Legal até então – e foi responsável por quase 35% da área desmatada na Amazônia Legal no ano 2000, suplantando o Pará como “campeão de desmatamento” na região.

O desmatamento modifica as interações físicas e químicas entre o solo, a vegetação e atmosfera, ou seja, quando a derrubada atinge grandes extensões, pode provocar sensíveis mudanças nos sistemas de circulação que compõem o clima. (NOBRE & GASH, 1997). O corte seletivo de madeira resulta em aberturas no dossel da mata, facilitando a entrada de radiação solar e a perda de umidade, aumentando a carga combustível no sub-bosque e na serrapilheira, e causando uma redução da resistência da floresta ao fogo (BARLOW & PERES, 2003).

Uma série de estudos de campo realizada durante os últimos 20 anos mostrou que o desflorestamento e a queima de biomassa causaram mudanças significativas, mas ainda localizadas, nos ciclos da água, da energia, do carbono e dos nutrientes, assim como na composição atmosférica. A floresta é importante para a reciclagem do vapor d'água através da evapotranspiração durante o ano todo, contribuindo assim para aumentar a precipitação das chuvas e para sua própria manutenção (NOBRE, 2002). Estudos realizados pelo INPE sugeriram que pelo menos 55% das chuvas na Amazônia são provenientes de umidade da própria floresta, ou seja, reciclada internamente, sem cumprir toda a extensão do ciclo hidrológico, enquanto a outra provém de evaporação direta do mar (CAPOZZOLI, 2002).

Segundo BRANCO (1995), calcula-se que 50 a 60% da energia solar que incide sobre a floresta são gastos nesse processo. Sem a floresta, os núcleos de condensação de gotas em nuvens baixas, que se formam a altitudes de 4 mil metros sobre a floresta, seriam deslocados pelos ventos antes de se precipitarem como chuva. Disso se deduz que a devastação da floresta Amazônia causará, entre outros desastres, uma drástica redução das chuvas na região, transformando seu clima em semi-árido.

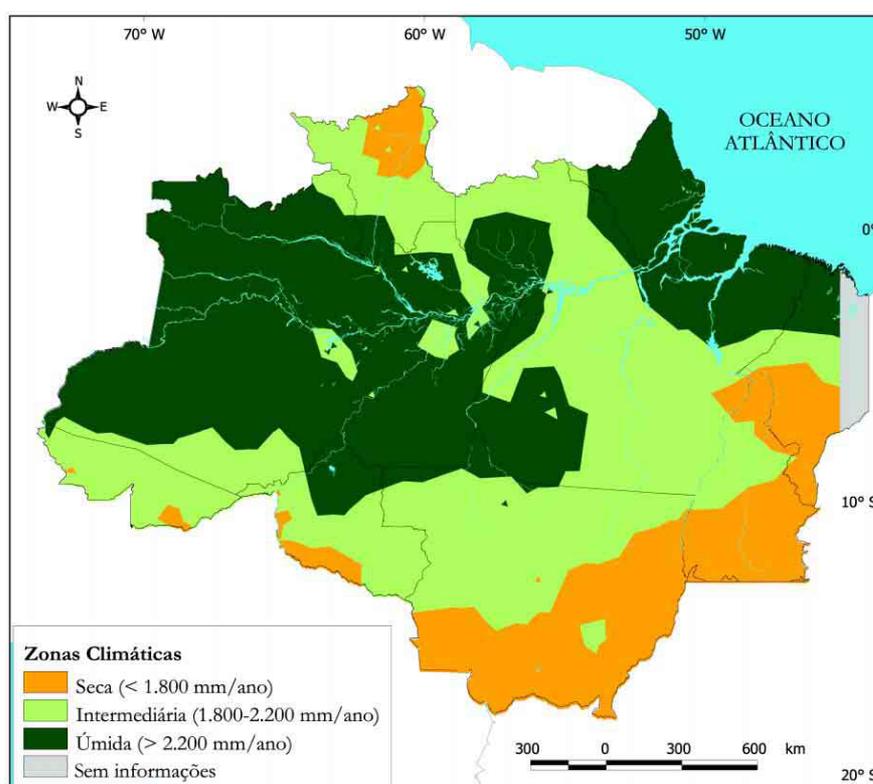
Eventos, como o El Niño, também reduzem drasticamente a precipitação na estação seca na Amazônia, agravando mais ainda o déficit hídrico da floresta, e quando esta estação é mais intensa que o normal, pode eliminar a água do solo até a profundidade máxima das raízes, o que provoca alta queda de folhas do dossel das árvores, o que também resultará redução da resistência da floresta ao fogo (BARLOW & PERES, 2003).

Segundo LENTINI et al. (2003), o excesso de chuvas favorece a cobertura vegetal e dificulta as práticas agrícolas (em especial, o cultivo de grãos). De acordo com o regime de chuvas anual, a Amazônia pode ser dividida em três regiões pluviométricas: seca (menos de 1800 mm/ano), transição (mais de 1800 mm/ano e menos de 2200 mm/ano) e úmida (mais de 2200 mm/ano) conforme figura 2.3.

Investigações desenvolvidas pelo Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (The Large Escala Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia), mais conhecido pela sigla LBA, confirmaram que, ao contrário do que se pensava, quando a floresta era vista como equilibrada em relação ao CO₂, ela está sendo um sorvedouro desse gás. MOLION (2002) observou que ao absorver carbono, a floresta está retirando esse gás da atmosfera contribuindo para minimizar o efeito estufa, e este seqüestro de carbono tem estreita ligação com as chuvas. O autor mencionou que é razoável considerar que a floresta amazônica possa estar seqüestrando pelo menos 1 bilhão de toneladas.ano⁻¹ de gás carbônico da atmosfera. Para MALHI et al. (1998), a floresta intacta pode ser um sorvedouro de carbono em taxas que vão de 0,8 até a elevada cifra de 7 toneladas de C.ha⁻¹ anuais.

FERNANDES et al. (2002) observaram, porém, que pouca informação está disponível sobre a respiração do solo e como esta é afetada pela conversão das florestas em pastagens. As trocas de CO₂ no solo em relação à atmosfera necessitam ser conhecidas a fim de se compreender melhor o impacto da instalação do pasto no

ciclo global de carbono. CERRI et al. (2003) também mostraram a preocupação em se substituir em grande escala a vegetação nativa por gramas africanas (especialmente do gênero *Brachiaria*), pois provavelmente causará um impacto nos nutrientes e na composição da matéria orgânica, assim como um impacto regional na hidrologia e na qualidade da água. Com isso, os autores mencionaram que se pode alterar a respiração do CO₂ e o sequestro de carbono nos solos. Por sua vez, estes efeitos na dinâmica de carbono em escalas grandes da paisagem seriam importantes no carbono global e também na mudança do clima.



Fonte: SCHNEIDER et al. (2000).

Figura 2.3. Principais zonas de pluviosidade da Amazônia Legal, 2000.

Para NOBRE (2002), uma importante questão científica é saber se esse possível sequestro biótico de CO₂ vai se saturar em algum momento deste século, devido ao aquecimento global, isto é, se a floresta intacta pode se tornar uma fonte de carbono graças à rápida decomposição do carbono do solo sob uma temperatura cada vez mais elevada.

2.2. SOLO

Às vezes é conveniente pensar na biosfera como constituída pela atmosfera, hidrosfera e pedosfera, esta última sendo o solo. Os componentes biótico e abiótico estão especialmente íntimos no solo, o qual por definição, consiste numa camada intemperizada da crosta terrestre com os organismos vivos e produtos da sua decomposição intermisturados. Em geral, o solo é o resultado líquido da ação do clima e dos organismos, especialmente da vegetação, sobre o material-matriz da superfície terrestre (ODUM, 1988).

Dessa forma, o solo compõe-se de um material-matriz, o substrato subjacente geológico ou mineral, e de um incremento orgânico no qual os organismos e os seus produtos estão misturados com o material-matriz finamente dividido e modificado. Espaços entre as partículas enchem-se de gases e água (ODUM, 1988). Portanto em um solo encontram-se três fases fundamentais: a sólida, formada pelos minerais e matéria orgânica; a líquida, solução do solo, e a gasosa, ar do solo (LUCHESE et al., 2001).

PRITCHET (1979) afirma que os solos florestais devem ser aceitos como organismos dinâmicos, nos quais os processos de intemperismo estão sempre atuando, constituindo-se portanto, nos agentes de reabastecimento natural dos solos em nutrientes.

2.2.1. A Fase Sólida do Solo

A fase sólida do solo compreende uma fração mineral, inorgânica, proveniente da decomposição da rocha-mãe (material-matriz) pela meteorização e intemperização e, outra, orgânica, proveniente da decomposição de restos de organismos animais e vegetais, processo esse denominado de mineralização e humificação (LUCHESE et al., 2001). Dessa forma durante a formação do solo, acontecem muitas reações químicas. Permanecem os minerais primários (existentes na rocha original) menos solúveis, ex: quartzo, e os secundários (formados a partir dos minerais primários solubilizados), ex: argilas. Aparecem os nutrientes em formas disponíveis, os elementos, as substâncias tóxicas, a matéria orgânica (REZENDE, 2004).

O conteúdo mineral do solo depende em parte da rocha mãe que lhe deu origem, e depende mais do componente biótico do ecossistema. Em ambiente não perturbado, a maior parte dos nutrientes permanece dentro do ecossistema. Se, no entanto, a vegetação for removida rapidamente (isso acontece nas colheitas ou quando as pradarias sofrem pastagem exagerada), o solo exaure rapidamente (CURTIS, 1977).

- Perfil Edáfico do Solo

A face vertical exposta de um barranco ou de uma trincheira mostra que o solo é composto de camadas distintas, que muitas vezes diferem de cor. Estas camadas são chamadas de horizontes edáficos, e a seqüência de horizontes da superfície para baixo é chamado de perfil edáfico. Tem, tipicamente, três camadas: O horizonte A, o horizonte B, e o horizonte C.

O horizonte A é a zona de máxima acumulação de material orgânico. O horizonte B consiste de partículas inorgânicas misturadas com nutrientes minerais provindos do horizonte A. O horizonte C é constituído de rocha solta que se estende até o leito de rocha subjacente (CURTIS, 1977). LUCHESE et al. (2001), observam que nem sempre o solo contém todos os horizontes representados e a horizontalidade perfeita.

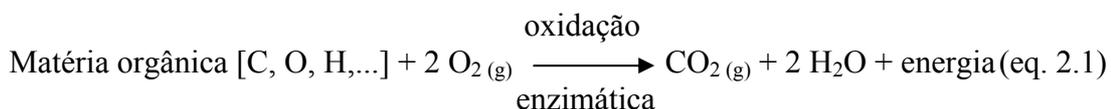
- Matéria Orgânica dos Solos

A matéria orgânica do solo refere-se ao material orgânico não-vivo do solo. Os componentes vivos fazem parte da biota. A matéria orgânica do solo é proveniente da degradação, em vários estágios, de resíduos animais e vegetais. Como a degradação pode estar em processo, inclui-se na fração orgânica desde os materiais inalterados ou pouco alterados, isto é, que conservam sua identidade, até aqueles totalmente decompostos, ou seja, que perderam a integridade. Todos os produtos transformados são chamados de *húmus* (REZENDE, 2004).

Segundo LUCHESE et al. (2001), os processos de degradação da matéria orgânica são de natureza bioquímica e envolvem uma série de microorganismos. Neste processo destacam-se as bactérias, os fungos e os acnomicetos. Durante a

degradação da matéria orgânica, podem-se caracterizar dois processos fundamentais: a mineralização e a humificação.

A decomposição da matéria orgânica nos solos através da mineralização é um processo de queima, o qual pode ser resumido pela equação 2.1.



Assim, grande quantidade de CO₂ é liberada, principalmente no início do processo, ou seja, quando grandes quantidades de matéria orgânica são incorporadas ao meio e em condições favoráveis.

A liberação de CO₂ produzido durante a atividade dos microorganismos ao atacarem a matéria orgânica, pode ser um indicativo da atividade desses nos solos, porém nem sempre indica a intensidade de mineralização, ou seja, a velocidade de decomposição. Às vezes o efluxo de CO₂ do solo pode ser alto (difusão) enquanto que a mineralização está lenta, porque os microorganismos podem estar usando os nutrientes do solo.

2.2.2. A Fase Líquida do Solo

No solo, dois componentes disputam o mesmo espaço, a fase líquida, isto é, a solução do solo, e a fase gasosa, o ar do solo. Aumentando um, diminui o volume do outro. O espaço disputado é constituído pelos interstícios, ou vazios, entre as partículas sólidas, que são constituídos pelos micro e macroporos. Em condições normais a solução do solo ocupa os microporos, e os macroporos são para o ar do solo. A maior quantidade de microporos e, ou macroporos, depende da textura do solo (LUCHESE et al., 2001).

Os fragmentos menores de rocha são classificados como areia grossa, areia fina e argila, segundo o tamanho (tabela 2.1). A água e os minerais percolam-se rapidamente através de solos constituídos de partículas grandes (arenosos). O solo composto de partículas pequenas (argila) segura água contra a gravidade. Além disso, as partículas de argila têm carga negativa e retêm íons de carga positiva, como

o cálcio (Ca^{2+}), o potássio (K^+) e o magnésio (Mg^{2+}). Um solo constituído somente de argila, entretanto, não é apropriado para o crescimento das plantas por ser geralmente muito denso e impedir a oxigenação exigida pelas raízes, pelos animais e pela maioria dos microorganismos. Em geral solos de textura arenosa apresentam maior percentagem de macroporos e, solos argilosos apresentam maior percentagem de microporos (CURTIS, 1977).

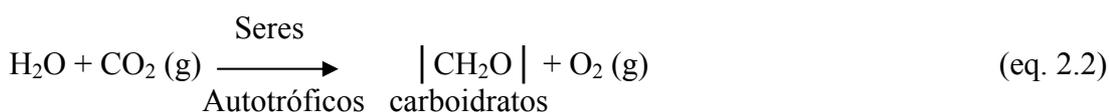
Tabela 2.1. Classificação dos solos.

Partículas do solo	Diâmetro das partículas (Micrômetros)
Areia grosseira	200-2000 (0,2-2,0 milímetros)
Areia	20-200
Areia fina	2-20
Argila	Menos que 2

Fonte: CURTIS (1977).

De acordo com LUCHESE et al. (2001), a solução do solo é constituída do solvente água e de solutos provenientes da dissolução de componentes, tanto da fração mineral quanto da fração orgânica, além do ar do solo. Contudo é formada em sua maior parte por água.

A reação de fotossíntese, ou a síntese de alimentos, pelos seres autotróficos exige a presença de água (equação 2.2).



Onde $\text{|CH}_2\text{O|}$ corresponde a fórmula mínima dos carboidratos. Por exemplo, multiplicando-se os índices por seis teremos $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, fórmula da glicose. Pode-se denominar essa reação de produção de biomassa.

Para produzir 1 Kg de matéria orgânica seca são necessários centenas de quilogramas de água. A água da solução do solo é que faz o transporte dos nutrientes do sistema solo-planta, ou seja, é da fase líquida ou solução do solo que as plantas retiram a água necessária ao seu metabolismo. Quando o teor de água atinge um limite mínimo, o solo retém o líquido e as plantas não conseguem mais retirar a água e murcham (REZENDE, 2004).

A solução do solo contém nutrientes e outros elementos não essenciais dissolvidos, em concentração variável, dependendo do tipo de solo e teor de umidade.

2.2.3. A Fase Gasosa do Solo

A fase gasosa do solo, chamada também de ar do solo, ocupa os espaços vazios da fase sólida do solo que não estiverem preenchidos pela fase líquida. Seus volumes são inversamente proporcionais. Num momento de capacidade máxima de retenção de água, por um solo, o teor de ar do solo tende a zero (ODUM, 1988).

A presença do ar no solo é importante, pois leva ao ambiente o O₂ (gás) para a respiração da biota e conseqüente mineralização da matéria orgânica, conforme a equação 2.1. A presença do CO₂ é também importante para os organismos autotróficos do solo, conforme a equação 2.2.

O ar do solo está continuamente sujeito a renovação pelas trocas com o ar da atmosfera. Por isso, o ar da camada superficial do solo não difere muito do ar atmosférico, garantindo o arejamento para os processos vitais da biota do solo.

Os fatores que influenciam na troca do ar do solo são segundo LUCHESE et al. (2001):

a) Difusão

A difusão é o fator predominante da renovação do ar do solo. A difusão de um gás consiste na transferência, ou deslocamento, das respectivas moléculas através do espaço livre a temperatura e pressão constantes devido à:

- Diferenças de energia livre do sistema no ponto de partida e no ponto de chegada.
- Energia cinética das moléculas de um gás cujos choques entre si são elásticos.
- Diferença das pressões parciais dos gases envolvidos.

A difusão do gás está diretamente relacionada à permeabilidade do solo ao ar. Os fatores que limitam a permeabilidade limitam também a difusão.

b) Variação da temperatura

Um aquecimento da superfície do solo aquece também o ar. Este, quando quente, tem menor densidade e sobe, descendo o ar frio, que é mais denso.

c) Variação de pressão

A variação de pressão determina também a renovação do ar principalmente em macroporos onde o ar se encontra preso, ou bloqueado, por partículas de água devido à tensão superficial.

d) Ação dos ventos

O vento, que é um deslocamento horizontal do ar sobre a superfície do solo, constitui uma renovação do ar por ações de pressão e sucção.

e) Ação das chuvas

A chuva atua de duas formas na renovação do ar do solo:

- No primeiro instante a água expulsa o ar dos poros e ocupa o seu lugar, depois pela ação da gravidade é drenada e no seu lugar entra o ar renovado.
- A água dissolve o O_2 do ar da atmosfera e o leva junto para o solo.

A composição do ar do solo depende de uma série de variáveis, por exemplo, profundidade da amostragem, período de seca, período de chuva, inverno, verão, entre outras (tabela 2.2).

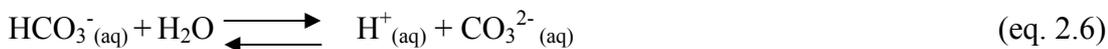
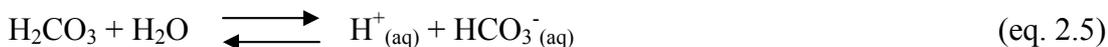
Tabela 2.2. Valores médios da composição do ar do solo da camada superficial com o ar atmosférico.

Constituinte	Ar do solo (% V:V)	Ar da atmosfera (% V:V)
O ₂ (oxigênio)	15,00 – 20,00	21,00
CO ₂ (gás carbônico)	0,20 – 4,00	0,03
N ₂ (nitrogênio)	79,00 – 81,00	79,00
Vapor d'água	Saturado	Variável
Diversos	Variável	< 1,00

Fonte: COSTA (1985).

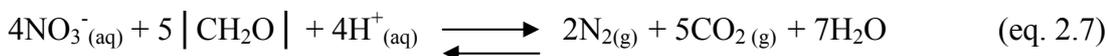
O ar do solo contém menos O₂ que o ar da atmosfera e mais CO₂, devido ao fato que a biota do solo respira consumindo O₂ e expelindo CO₂. O teor mais elevado do N₂ no ar do solo que o da atmosfera é explicado por dois fatores:

- Na respiração absorve-se o O₂, que é um gás pouco solúvel na solução do solo (equação 2.1) e é expelido o gás CO₂ que é mais solúvel na água, conforme as reações representadas pelas equações 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6.



Desta maneira há um aumento na percentagem do N₂ porque diminui a percentagem do O₂.

- Dependendo do ambiente encontrado no solo, caso da anaerobiose, pode ocorrer a desnitrificação segundo a reação mostrada na equação 2.7.



Verifica-se que o carbono, tanto nos processos aeróbicos quanto anaeróbicos, libera CO_{2(g)}.

2.3. SERRAPILHEIRA

A serrapilheira (também conhecida como folheda, liteira e litter) é representada pelo material morto, proveniente da biomassa aérea da vegetação, que permanece no solo até ser fragmentado e decomposto por processos físico-químicos e bióticos que ocorrem nesta importante fração do ecossistema (ADUAN, 2003). A serrapilheira que se forma sob floresta é uma mistura de vários componentes da estrutura da planta.

A serrapilheira é um estoque importante de carbono, acumulando uma quantidade de carbono de duas a três vezes mais alta que a atmosfera (COÛTEAUX et al, 1995).

O material orgânico depositado ou serrapilheira permite a existência de uma grande variedade de nichos para a fauna e microorganismos, sendo também fonte para a matéria orgânica coloidal dos solos (CARPANEZZI, 1980). Sobre a mesma atua uma cadeia trófica detritívora de fungos e bactérias e animais, cuja ação vai causar a liberação dos elementos minerais.

A serrapilheira é a principal via de transferência de elementos da vegetação para o solo (XU & HIRATA, 2002), visto que quantidades baixas de nutrientes entram através da chuva ou do intemperismo do solo (KÖNIG et al., 2002). Essa quantidade de nutrientes na serrapilheira depende da espécie, da capacidade de translocação do nutriente antes da senescência, do tipo de solo, e da proporção de folhas em relação aos demais componentes (SCHUMACHER, 1992), representando um elemento de importância vital para a maioria dos processos funcionais que ocorrem no solo.

A serrapilheira influencia a dinâmica nutricional da floresta, uma vez que as concentrações de elementos na mesma variam significativamente durante o ano, de forma quali-quantitativa, ou seja, devido à variação no teor dos elementos da serrapilheira e na variação da biomassa, que é depositada no solo continuamente (KÖNIG et al., 2002). Através da sua produção é possível estimar a dinâmica de produção de vegetação assim como sua dinâmica de crescimento (UNESCO, 1978).

O acúmulo de serrapilheira no solo é regulado pela quantidade de material que cai da parte aérea das plantas e por sua taxa de decomposição, que vai enriquecendo o solo à medida que vão ocorrendo os processos de decomposição.

Quanto maior a quantidade desse material que cai e quanto menor sua velocidade de decomposição, maior será a camada de serrapilheira. Portanto é de grande importância entender os mecanismos que regulam esse processo dinâmico, no qual a entrada de material (através da deposição) e a saída ou transformação (via decomposição), acontecem quase que simultaneamente.

A produção de serrapilheira é influenciada por diversos fatores, tais como: tipo de vegetação (gimnospermas sempre-verdes e angiospermas), fatores do meio (clima, latitude, altitude, exposição, fertilidade e umidade do solo), tratamento (floresta natural ou artificial, densidade de indivíduos, efeito da copa, entre outros) e fatores do tempo (variação sazonal, variação anual e idade do povoamento), porém de todos esses fatores o clima é o mais importante.

A natureza e magnitude das estações climáticas podem interferir na produção de serrapilheira, seu acúmulo no solo, e valores de retorno e de sua decomposição, podendo ser consideravelmente diferentes de ano em ano (WIEDER & WRIGHT, 1995).

Em contraste com o clima, as condições do solo têm pouca influência na quantidade de serrapilheira produzida. A idade das árvores é muito importante nos primeiros anos, aumentando a quantidade de serrapilheira produzida com a idade até que as árvores atinjam a maturidade ou fechem as suas copas. Após esse ponto pode ocorrer um ligeiro decréscimo ou uma estabilização da produção de serrapilheira. O raleamento da cobertura causa um decréscimo na produção de serrapilheira e a remoção constante dos resíduos florestais eventualmente diminui as adições de serrapilheira, provavelmente porque o reservatório de nutrientes do solo torna-se empobrecido.

Do material formador da serrapilheira, ou seja, o material que cai da planta nos períodos de estresse ambiental ou por senescência dos tecidos, a fração que mais contribui é a folha (50 a 70%) (TOLEDO, 2003), além de apresentar uma maior taxa de decomposição que os demais componentes (FASSBENDER, 1993), que oscilam em valores percentuais sempre inferiores a folhas e ramos (TOLEDO, 2000). A fração foliar depende principalmente do cultivo formado, da estrutura do local e da idade das árvores (ZIMMERMANN et al., 2002).

Na serrapilheira, os organismos mortos através de uma interação complexa de atividades física e biológica são decompostos em partículas grandes, daí em

partículas menores e, finalmente, em pequenas moléculas, como dióxido de carbono, água e componentes minerais. Essa decomposição representa um processo essencial na ciclagem de estrutura biogênica, manutenção do estoque orgânico do solo e na taxa de reciclagem dos compostos presentes na serrapilheira sendo um fator que influencia a fertilidade de solos e o funcionamento de ecossistemas florestais, especialmente em regiões de solos muito intemperizados como os tropicais.

A decomposição da serrapilheira é um processo contínuo, podendo iniciar-se antes mesmo do material atingir o solo. A perda de peso que frequentemente é medida nos experimentos é em grande parte consequência da ruptura dos tecidos de partículas grandes em menores, ou seja, é apenas o início do processo de decomposição.

O mecanismo da decomposição é regulado principalmente por três grupos de variáveis: a natureza da comunidade decompositora (os macro e microorganismos), pelas características do material orgânico que determinam sua degradabilidade e pelo ambiente físico-químico que atua em escalas macromicroclimáticas, edáficas e microclimáticas.

Segundo COÛTEAUX et al. (1995), os principais fatores que influenciam na decomposição da serrapilheira são clima, qualidade da serrapilheira e, natureza e abundância de organismos decompositores.

As diferentes frações de serrapilheira têm estrutura e composição química bem diferente e se decompõem a diferentes velocidades. A velocidade global de decomposição da serrapilheira dependerá, portanto, da proporção relativa dos diferentes componentes, o que também dependerá das espécies das árvores. A decomposição da serrapilheira possibilita que parte do carbono incorporado na biomassa pela fotossíntese retorne à atmosfera como CO₂ e os outros elementos absorvidos passem para uma forma novamente utilizável pelas plantas (STEVENSON, 1982). Conhecer a decomposição do material vegetal acumulado sobre o solo é de fundamental importância, pois é em função desta que ocorre a liberação dos nutrientes da camada de serrapilheira para o solo.

A velocidade de decomposição da serrapilheira também depende da facilidade com que o material orgânico original pode ser decomposto, de suas características químicas, do pH do meio onde ocorrerá a decomposição, bem como dos fatores climáticos, variando com os tecidos, com as plantas e com as condições

ambientais. Tecidos ricos em material estrutural (celulose, hemicelulose e lignina) são mais resistentes a decomposição que tecidos mais pobres nesses materiais. O material vegetal baseado em celulose é decomposto três vezes mais rápido em relação às partes lenhosas enriquecidas com taninos. O conteúdo químico e estrutural da serrapilheira também influencia a sua velocidade de decomposição. Nos estágios iniciais de decomposição folhas duras, com epiderme grossa, decompõem mais vagarosamente que folhas tenras, e as folhas das árvores ensolaradas decompõem-se mais lentamente que as folhas sombreadas. A maioria da serrapilheira em decomposição é ácida, porém muitos decompositores em potencial torna-se menos ativos quando o pH cai abaixo de 5.

A temperatura tem um efeito muito acentuado na taxa de decomposição da serrapilheira, verificando-se geralmente uma diminuição na velocidade de decomposição ao longo de um gradiente de temperatura decrescente. Estudos indicam que a decomposição é influenciada pela fauna do solo de cada região e pelas espécies formadoras da serrapilheira (HENEGHAN et al., 1998). Estudos em invertebrados do solo mostram que, em estações secas, os movimentos da fauna do solo são mais profundas no solo (PRIETO et al., 1999). Os artrópodes, por exemplo, decompositores responsáveis por cerca de 20% da folhagem anual, em uma floresta tropical úmida com padrão irregular de chuvas, tem sua população diminuída durante períodos secos, quando comparados com períodos chuvosos.

A decomposição da matéria orgânica pode ser dividida em três processos básicos que ocorrem simultaneamente: lixiviação de minerais solúveis e de pequenos compostos orgânicos pela água; intemperismo, que é a ruptura mecânica dos detritos, e ação biológica (fragmentação gradual e oxidação dos organismos vivos, principalmente fungos). Eventualmente há mineralização de elementos como fósforo, nitrogênio e enxofre por bactérias.

No interior das florestas tropicais úmidas, a decomposição anual é de até 95% da serrapilheira produzida. Em florestas decíduas de zonas temperadas, a decomposição total demora de dois a quatro anos; em florestas de coníferas da zona boreal, até 14 anos; e em florestas de montanhas e na tundra dezenas de anos.

A decomposição da camada de serrapilheira pode ser estimada pela respiração do solo, que avalia a evolução do CO₂ produzido pela decomposição do material orgânico.

2.3.1. Tipos de Decomposição e Decompositores

Segundo ODUM (1988), em termos mundiais, o processo heterotrófico da decomposição equilibra aproximadamente o metabolismo autotrófico. Se a decomposição for considerada uma oxidação biótica liberadora de energia, então há vários tipos de decomposição que são aproximadamente paralelos aos tipos de fotossíntese, no que se refere às necessidades de oxigênio:

Respiração aeróbica. O oxigênio gasoso (molecular) éceptor de elétrons (oxidante). É o processo pelo qual a célula “queima” a glicose em presença de oxigênio, libertando água, dióxido de carbono e energia (equação 2.8). A energia liberada durante a respiração é parte armazenada sob forma de ATP (adenosina trifosfato), que é a energia útil, e parte liberada sob forma de calor. Todos os vegetais e animais superiores e a maioria dos Monera e Protista obtêm desta maneira a energia para a sua manutenção e para a formação de material celular.



Respiração anaeróbica ou fermentação. É o processo de libertação de energia na ausência de oxigênio. Como modo de vida, a respiração sem O_2 restringe-se principalmente aos saprófagos, tais como bactérias, leveduras, mofos e protozoários.

Os seres anaeróbicos podem ser divididos em dois grupos:

- Anaeróbicos facultativos são aqueles que se adaptam a um meio ambiente onde existe oxigênio, por exemplo, levedos (fermentos).
- Anaeróbicos obrigatórios são aqueles que não suportam oxigênio, morrendo em presença desse gás, por exemplo, ***Clostridium tetani***.

Para ODUM (1988), os saprófagos anaeróbicos (tanto obrigatórios como facultativos), embora sejam componentes pouco visíveis da comunidade, são importantes no ecossistema porque só eles conseguem respirar nas camadas escuras, sem oxigênio, dos solos e dos sedimentos aquáticos. Eles “resgatam” a energia e os materiais que sobem das profundidades por difusão, tornando-os disponíveis aos aeróbicos. A decomposição, portanto, é um processo vital, pois transforma energia dentro de e entre os organismos, e sem ela todos os nutrientes estariam retidos em cadáveres e nenhuma vida nova poderia ser produzida.

- Os produtos mais resistentes da decomposição acabam como húmus (ou substâncias húmicas), que é um componente universal dos ecossistemas.

2.4. CICLO DO CARBONO

O carbono é um elemento químico importante, porque participa da composição química de todos os compostos orgânicos.

Os seres vivos só conseguem aproveitar o carbono da natureza sob a forma de dióxido de carbono (CO_2) encontrado na atmosfera ou sob a forma de bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}) dissolvidos na água.

O carbono entra nos seres vivos quando os vegetais, utilizando o CO_2 do ar ou os carbonatos e bicarbonatos dissolvidos na água realizam a fotossíntese. Dessa maneira, o carbono é utilizado na síntese dos compostos orgânicos. Da mesma maneira, as bactérias que realizam a quimiossíntese fabricam as suas substâncias orgânicas a partir do carbono do CO_2 .

Os compostos orgânicos formados são os açúcares (carboidratos). Mas as plantas são capazes de produzir, além dos carboidratos, proteínas, lipídios, vitaminas, ceras, etc.

O carbono das plantas pode seguir três caminhos:

- a) pela respiração é devolvido sob forma de CO_2 ;
- b) passa para os animais quando estes se alimentam de plantas;
- c) pela morte e decomposição, volta a ser CO_2 .

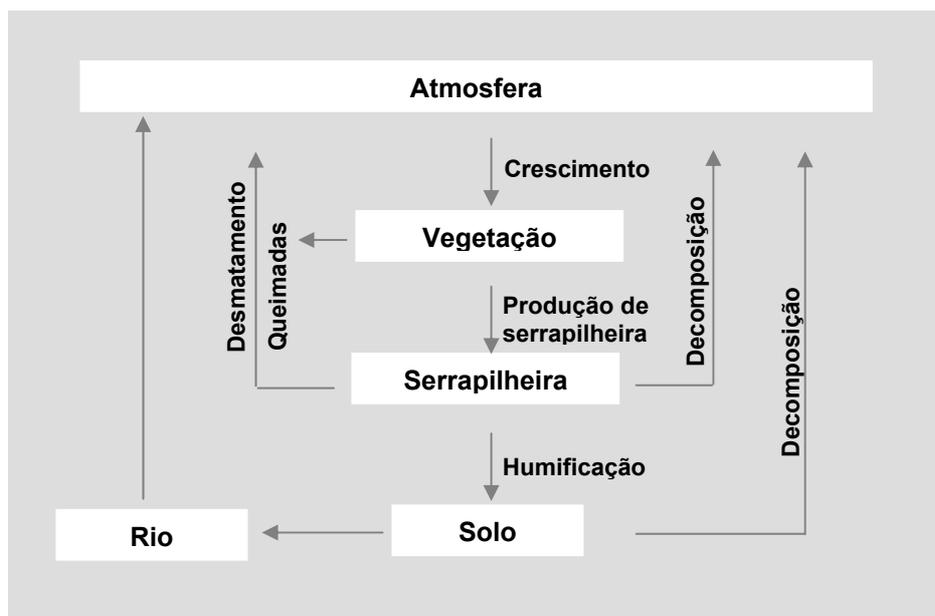
O carbono nos animais é adquirido direta ou indiretamente, do reino vegetal durante a sua nutrição.

Assim, os animais herbívoros recebem dos vegetais os compostos orgânicos e, através do seu metabolismo, são capazes de transformá-los e inclusive sintetizar novos tipos de substâncias orgânicas. O mesmo ocorre com os carnívoros que se alimentam dos herbívoros e assim sucessivamente.

O carbono dos animais, como nos vegetais, pode seguir três caminhos:

- a) pela respiração é devolvido à natureza sob forma de CO_2 ;
- b) passa para outros animais através da nutrição;
- c) pela morte e decomposição volta ao estado de CO_2 .

A figura 2.4 ilustra o ciclo do carbono numa floresta.



Fonte: Adaptado por SCHROEDER & WINJUM (1985).

Figura 2.4. Modelo de ciclo de carbono em uma floresta.

Acredita-se que, até o início da idade industrial os fluxos entre atmosfera, continentes e oceanos estavam equilibrados, porém a queima (combustão), geralmente provocada por fontes antropogênicas, de materiais orgânicos (petróleo, carvão, lenha, etc.) são mecanismos de retorno do carbono ao meio ambiente, geralmente na forma de CO_2 , CO e outros gases, provocando um aumento considerável de CO_2 na atmosfera como ocorreu no último século, não esquecendo também a contribuição da agricultura e do desmatamento. Uma perda líquida de CO_2 na agricultura, ou seja, um acréscimo de CO_2 na atmosfera maior do que sua retirada, pode parecer surpreendente, porém isso ocorre porque o CO_2 fixado pelas culturas (muitas das quais são ativas durante apenas uma parte do ano) não compensa o CO_2 liberado do solo, principalmente aquele que resulta de lavoura freqüente.

O desmatamento poderá liberar o carbono armazenado na madeira, principalmente se a madeira for queimada imediatamente; e isso se segue à oxidação do húmus, se a terra for usada para a agricultura ou para desenvolvimento urbano (ODUM, 1988). Segundo o autor, as florestas são importantes “dissipadores” de carbono, uma vez que a biomassa florestal contém, segundo estimativas, uma vez e meia, e o húmus florestal quatro vezes a quantidade de carbono da atmosfera.

Muito embora a vegetação fotossintética da terra e o sistema de carbonatos do mar tendam a manter estável o teor de CO₂ atmosférico, o aumento acelerado de combustíveis fósseis, juntamente com a diminuição da capacidade das plantas verdes de retirarem o CO₂ da atmosfera, está começando a fugir ao controle, tendo como conseqüências um aquecimento do clima global, com aumento médio na temperatura de 1,5 a 4,5°C, além da elevação do nível do mar (à medida que as calotas polares derreterem) e mudanças no padrão de precipitação que perturbarão a produção agrícola.

Neste século, se não houver avanços na política ambiental, existirá um equilíbrio novo e incerto entre o aumento do CO₂ (o qual tende a aquecer a Terra) e o aumento da poeira ou poluição particulada (que reflete energia radiante entrante, resfriando a Terra).

2.5. EFLUXO DE CO₂

A medida do efluxo de CO₂ da superfície do solo é provavelmente o sistema mais amplamente usado de estimativa da taxa de respiração do solo *in situ*. No entanto respiração do solo e efluxo de CO₂ não são sinônimos, embora sejam frequentemente usados como tal. A respiração do solo é a oxidação da matéria orgânica no solo, e inclui a respiração das raízes e organismos do solo. O efluxo de CO₂ do solo é a liberação de CO₂ para a atmosfera, e portanto, depende da produção de CO₂ no solo e do processo físico de fluxo de gás para fora do solo (difusividade). Contudo, como a maioria do CO₂ produzido no solo é liberada para a atmosfera em algum momento, a saída de CO₂ próxima à camada do solo, relativamente sobre longos períodos, reflete a respiração do solo (RAICH et al., 1985).

Os solos estocam duas ou três vezes mais carbono do que existe na atmosfera como CO₂ (DAVIDSON et al., 2000) e a liberação de carbono dependerá da velocidade de decomposição da matéria orgânica, que é influenciada por características da vegetação e do clima, pelos gradientes de temperatura e concentração de dióxido de carbono solo-atmosfera, pelas propriedades físicas do solo, e pelas flutuações de pressão do ambiente (RAICH & SCHLESINGER, 1992; MEIER et al., 1996). Respectivamente à redução do volume poroso, há diminuição

da concentração de CO₂ na seguinte seqüência: solos arenosos, solos siltosos, solos argilosos e solos pantanosos (LARCHER, 2000).

Segundo DAVIDSON et al. (2002), a respiração do solo é um dos maiores e mais importantes fluxos do carbono em um ecossistema terrestre, podendo ser medida por vários métodos, como o de covariância de vórtices turbulentos que permite medir a respiração do solo no período noturno e o uso de câmaras colocadas sobre o solo que permite uma medida direta da respiração que ocorre dentro das camadas do solo e da serrapilheira.

Os mecanismos da respiração do solo estão associados além das condições de temperatura, à umidade do solo, portanto dependentes da variabilidade temporal e espacial destas variáveis. Muitos estudos têm mostrado a taxa de respiração do solo, um indicador de atividade microbiológica do solo, aumentando exponencialmente ou linearmente com a temperatura (BEKKU et al., 2003), o que também foi observado por SUBKE et al. (2003) que consideraram que a produção do CO₂ dentro do solo é basicamente um processo bioquímico e responde assim fortemente às variações de temperatura, sendo que isto pode mudar com a idade da matéria orgânica, e também com a disponibilidade da água para as reações bioquímicas relevantes. FANG & MONCRIEFF (2001) observaram que em altas temperaturas, a sensibilidade da respiração do solo à temperatura pode ser reduzida, pois nesta condição as enzimas podem ser desativadas ou mortas. TANG et al. (2003) também relataram em seu estudo que a decomposição microbiana pode ser estrangida pelo aumento da temperatura e diminuição da umidade.

Segundo SOTTA et al. (2004), como nos trópicos as variações de temperatura são relativamente pequenas, e considerando que em solos de floresta tropical apresentam baixa variação, este fator não explica a grande variação de fluxo de CO₂. No entanto, como a umidade apresenta maior variação tem sido mostrada como um dos mais importantes fatores para definir o ritmo da atividade biológica, e, portanto determinante do efluxo de CO₂ (VANHALA, 2002; LA SCALA JR et al., 2000).

RAICH & SCHLESINGER (1992) mostraram que em escala global a taxa de respiração do solo tem correlação significativa com a medida anual de temperatura do ar e com a medida anual de precipitação e com a interação destas duas variáveis.

ZANCHI et al. (2003) observaram que logo após o evento da chuva houve um grande aumento do efluxo do CO₂, isto porque a água quando drenada para o

solo força a saída do CO₂ ali presente nos poros, e após algumas horas há uma queda brusca nos dados de efluxo, que se dá devido a uma camada de proteção que a água faz no solo, evitando assim a emissão para a atmosfera. Esta emissão vai se tornando maior à medida que a água vai evaporando e drenando para o lençol freático, pois assim os poros ficam livres e voltam a emitir o efluxo em maior quantidade.

MEIR et al. (1996) encontraram para a floresta tropical em Rondônia, sudoeste da Amazônia, que a temperatura à 5 cm de profundidade é responsável por 76-88% da variação temporal do efluxo de CO₂. Observações similares foram feitas em outros estudos para ecossistemas diferentes (LLOYD & TAYLOR, 1994; DAVIDSON et al., 2000).

Segundo RAICH et al.(2002) globalmente, as maiores contribuições de carbono provêm das florestas tropicais e subtropicais, o que corresponde a 80 Pg C ano⁻¹ (1 peta grama (Pg) = 10¹⁵ gramas ou 1 bilhão de toneladas). Medidas de taxas de respiração para florestas na Amazônia mostraram um intervalo entre 3,2 e 6,2 μmolm⁻²s⁻¹ e temperaturas do solo entre 22 e 25°C (MEIER et al.,1996; DAVIDSON et al., 2000).

ZANCHI et al. (2003) observaram que o entendimento do efluxo de CO₂ do solo é a chave para entender a troca do fluxo solo-planta-atmosfera, e quantificá-lo em função de variáveis do microclima local, como temperatura e umidade de solo, poderá esclarecer como também melhorar modelos de interações climáticas.

2.5.1. Medida do Efluxo de CO₂

Há muitos métodos para medir o efluxo do CO₂ do solo, entre eles armadilhas de álcalis, covariância de vórtices turbulentos, e câmaras fechadas que absorvem CO₂ por infravermelho (IRGAs), com diferenças na exatidão, na resolução espacial e temporal, e aplicabilidade (JANSSENS et al., 2000).

Enquanto o método de covariância de vórtices turbulentos, como já foi dito anteriormente, é amplamente usado para medir a respiração do solo no período noturno, o uso de câmaras, com analisadores de gás infravermelho (IRGA), colocadas sobre o solo é o caminho mais direto de medida da respiração que ocorre entre o solo e a camada de serrapilheira. A exatidão dos métodos que usam as

armadilhas de álcalis aos IRGAs para a quantificação do CO₂ foi estudada extensivamente (JANSSENS et al., 2000) com a conclusão geral que as armadilhas de álcalis frequentemente superestimam os fluxos baixos e subestimam os fluxos elevados, mas podem às vezes confiantemente ser calibrados para uma escala de fluxos intermediários (DAVIDSON et al., 2002).

O uso de IRGAs está se tornando cada vez mais comum entre os métodos para medidas com câmaras de respiração do solo, porque oferecem a vantagem de que os fluxos podem ser medidos rapidamente (tempo ≤ 5 minutos) e de que os numerosos pontos de dados de concentrações do CO₂ podem ser registrados a cada minuto, rendendo uma monitoração quase contínua das concentrações crescentes do CO₂. Minimizar o tempo que a câmara está sobre o solo minimiza o efeito causado pela alteração do gradiente da concentração do CO₂ dentro do perfil do solo, e entre o solo-atmosfera e a “headspace” da câmara (DAVIDSON et al., 2002).

2.6. VALOR Q10

Q10 é um parâmetro normalmente utilizado para caracterizar a dependência do efluxo de CO₂ do solo com a temperatura.

Em seu estudo, Van't Hoff (1898) descreveu que Q10 é um fator que expressa o aumento da velocidade da reação quando há um aumento na temperatura de 10°C (LLOYD & TAYLOR, 1994). Isto é, para cada 10°C de aumento de temperatura, a razão de produção de matéria seca dobra, aproximadamente. Há controvérsias, e alguns investigadores dizem que a lei de Van't Hoff só é válida na faixa de temperaturas de 20° a 30°C, e ainda outros não encontram evidência desta lei (MOTA, 1989).

Para MOTA (1989), a lei de Van't Hoff não pode ter validade geral, pois a temperatura acima de um determinado valor exerce um efeito oposto na fotossíntese e na respiração, e mesmo sob condições comparáveis de clima, a relação entre temperatura e rendimento deve variar com a densidade da vegetação.

XU & QI (2001) examinaram a dependência de Q10 com a temperatura e umidade, pois o efeito da umidade em Q10 raramente tem sido estudado. LLOYD & TAYLOR (1994), assim como outros autores, entre eles, LUO et al. (2001); XU & QI (2001); FANG & MONCRIEFF (2001); DREWITT et al. (2002); BEKKU et al.

(2003); obtiveram o valor Q10 (equação 2.10) com o coeficiente β , na regressão exponencial da equação 2.9 entre a medida da temperatura e a taxa de respiração do solo:

$$R = \alpha e^{\beta T} \quad (\text{eq. 2.9})$$

$$Q10 = e^{10\beta} \quad (\text{eq.2.10})$$

Onde R é a taxa de respiração do solo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), T é a temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$), e α e β são os coeficientes da regressão.

Para FANG & MONCRIEFF (2001) comparar os valores Q10 determinados por estudos diferentes foi muito difícil, porque pode-se obter valores de Q10 diferentes para modelos diferentes, ou seja que usam equações matemáticas diferentes das equações 2.9 e 2.10 com uma mesma série de dados. Eles avaliaram um número de relações matemáticas diferentes usando o critério Q10, e observaram que os valores Q10 derivados destes modelos variaram de 1,5 a 8,8.

Além do modelo matemático usado, a metodologia empregada para se medir o efluxo de CO_2 é muito importante, ou seja, a frequência de medidas e o intervalo de tempo entre elas são fundamentais para se possa comparar com segurança os valores de Q10 para uma mesma região.

2.7. MODELOS FISIOLÓGICOS QUE ESTIMAM O EFLUXO DE CO_2

Alguns pesquisadores em seus estudos estimaram o efluxo de CO_2 através de modelos, sendo alguns bastante citados na literatura, como o de KUCERA & KIRKHAM (1971), SCHENTNER & VAN LEVE (1985), O'CONNEL (1990), LLOYD & TAYLOR (1994) entre outros, porém em suas equações o efluxo de CO_2 estimado foi calculado em função apenas da temperatura. Como neste estudo uma das preocupações foi averiguar o comportamento do CO_2 do solo com a temperatura e a umidade do solo, modelos que usam estas duas variáveis foram investigados.

Um desses modelos, como mostra a equação 2.11, foi desenvolvido por VOURLITIS et al. (2000), para o ecossistema tundra, no Alaska (Oceano Ártico):

$$R = a \cdot \exp(b \cdot T) \cdot \exp(c \cdot W) \quad (\text{eq.2.11})$$

onde W é a umidade de solo, T é a temperatura (ar ou solo) e a , b , e c são constantes estimadas usando regressão não linear pelo método dos mínimos quadrados.

Outro modelo que trabalha estas variáveis, como mostra a equação 2.12, é o de BUNNELL et al. (1977), que é um modelo mais geral, ou seja pode ser usado para vários ecossistemas, têm uma boa resposta para florestas, não sendo indicado apenas para temperaturas e umidades muito elevadas ou muito baixas:

$$R = (W/(a+W)) \cdot (b/(b+W)) \cdot c \cdot d^{((T-10)/10)} \quad (\text{eq.2.12})$$

onde W = umidade no solo, T = temperatura (ar ou solo), e a , b , c , e d são constantes estimadas usando regressão não linear pelo método dos mínimos quadrados.

Para este modelo o valor de a representa a umidade do solo quando a atividade dos microorganismos se encontra à metade de seu valor máximo; b representa a umidade do solo quando o efluxo de CO_2 do solo está à metade do seu valor máximo, c representa o efluxo de CO_2 à temperatura de 10°C e d é o valor de Q_{10} .

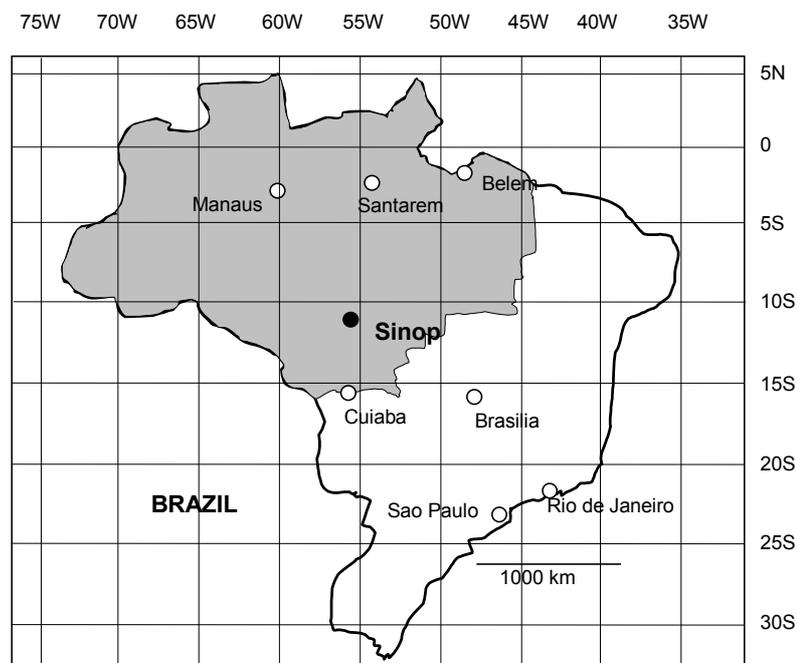
BUNNELL et al.(1977), mostraram que para este modelo $W/a+W$ indica que a atividade de microorganismos responsáveis pela decomposição aumenta com a umidade; $b/b+W$ retrata que a água ou umidade excessiva blinda a difusão do oxigênio, o que exerce um papel inibitivo da atividade microbacteriológica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. DESCRIÇÃO DA REGIÃO EM ESTUDO

3.1.1. Localização da Área

Este estudo foi desenvolvido na Amazônia Legal, dentro de uma área de 20 Km² pertencente à Fazenda Maracaí, localizada a aproximadamente 50 km NE de Sinop, Mato Grosso, Brasil (11°24.75'S; 55°19.50'O), a 423 m acima do nível do mar, e nela está situada a torre micrometeorológica pertencente ao projeto do LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia). Nesta torre metálica de 42 metros de altura estão instalados os equipamentos que monitoram constantemente o microclima deste local.



Fonte: VOURLITIS et al. (2001).

Figura 3.1. Localização da área em estudo.

3.1.2. Vegetação e Solos

Esta área é constituída por uma floresta tropical de transição (cerradão), que ocupa o ecótono entre a Floresta Amazônica e o cerrado. Segundo o RADAM Brasil, numa escala de 1:1.000.000 esta floresta é classificada como uma transição da ombrófila para a estacional. As árvores são características da floresta de transição com altura média de 28-30 m. As principais espécies identificadas no local são *Tovomita sp*, *Brosimum sp*, *Casearia sp*, *Qualea sp*, *Vochysia sp*, *Ocotea spixiana*, *Dinizia excelsa*, *Quina pteridophilla*, *Mezilaurus itauba* (VOURLITIS et al., 2001; VOURLITIS et al., 2002).

Para um transecto de 1 hectare desta área (figura 3.2) foi realizado pela Universidade Federal do Acre, um inventário florestal. A distribuição das famílias das espécies arbóreas deste transecto está representada na tabela 3.2.

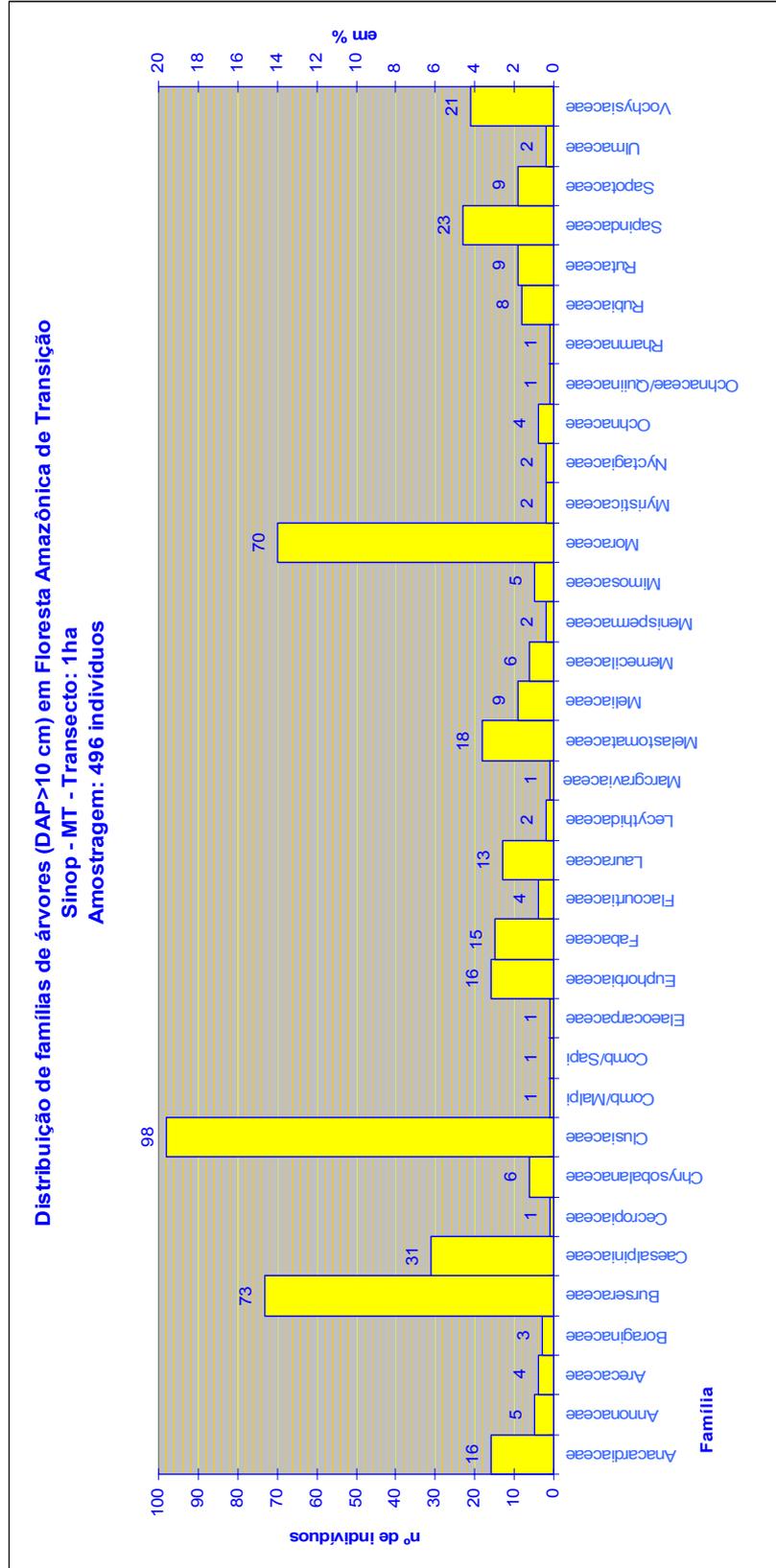
O solo nesta área, segundo classificação feita pelo laboratório de solos da UFMT, é um neossolo quartzarênico órtico típico A moderado álico. É um solo extremamente arenoso apresentando, na profundidade de 50 cm, textura com 83,6% de areia, 4,4% de silte e 2,2% de argila (PRIANTE FILHO et al., 2004).

A tabela 3.1 apresenta o pH e o carbônico orgânico do solo (método WALKLEY & BLACK) de acordo com as profundidades coletadas no local.

Tabela 3.1. pH e carbono orgânico do solo do local.

Profundidade (cm)	pH (H ₂ O)	Carbono Orgânico (%)
2,5	4,2	2,06
7,5	4,2	1,79
15	4,4	1,48
25	4,7	1,45
40	4,7	1,18
75	4,6	0,89
125	4,6	0,91
175	4,6	1,05

Tabela 3.2. Distribuição de indivíduos amostrados por famílias (diâmetro à altura do peito > 10 cm)



3.1.3. Clima

O clima da região é tropical quente e úmido (Am), segundo classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 24 °C com pequena variação nas estações, e uma precipitação média anual de 2000 mm, com 4 meses de estação seca (junho-setembro), 4 meses de estação úmida (dezembro-março) e 4 meses de transição (outubro-novembro e abril-maio) como mostra a tabela 3.3. As características climatológicas da floresta de transição são similares à precipitação de floresta e cerrado, entretanto, nesta região a floresta recebe aproximadamente 200 mm menos de precipitação anual que a floresta úmida e 500 mm mais precipitação que o cerrado (VOURLITIS et al., 2002).

Tabela 3.3. Precipitação e temperatura média do ar para a área em estudo.

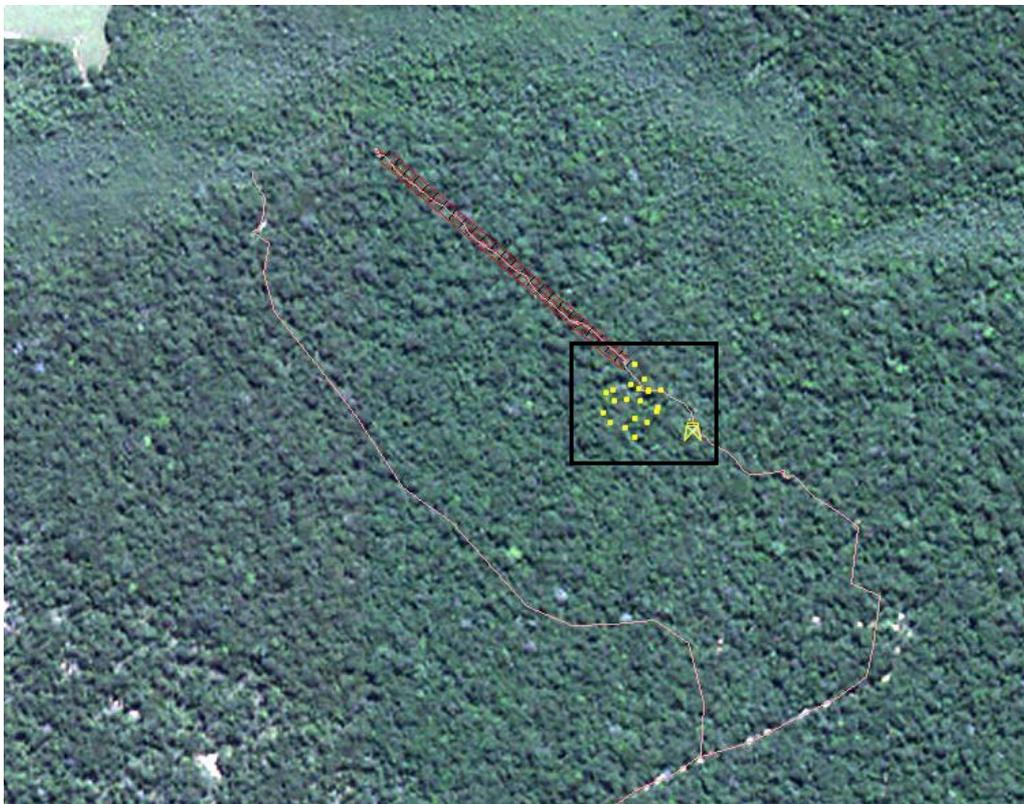
Mês (m)	Precipitação mensal ¹ (mm)					Tm do ar ² (°C)	
	2000	2001	2002	2003	2004	2003	2004
Janeiro	359	366	388	600	462	24,32	26,29
Fevereiro	388	165	334	271	453	24,89	26,26
Março	434	255	326	382		25,21	
Abril	143	0	23	276		25,86	
Mai	0	0	0	70		25,26	
Junho	0	0	0	0		23,50	
Julho	0	0	0	0		22,28	
Agosto	0	5	0	0		23,99	
Setembro	90	177	62	25		25,02	
Outubro	82	189	172	273		25,32	
Novembro	253	365	218	383		25,09	
Dezembro	250	484	338	365		25,14	
Precipitação anual	1999	2006	1861	2645			

Fonte: ¹Estação meteorológica Fazenda Continental, ²Projeto LBA – MT.

Aproximadamente metade precipitação acumulada anualmente cai entre dezembro e fevereiro, enquanto que cerca de 1% ocorre entre, historicamente, junho e agosto (PRIANTE FILHO et al., 2004).

3.2. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Para a realização do presente estudo, foram escolhidos dentro da área descrita da floresta, 20 pontos próximos à torre micrometeorológica (figura 3.4) cuja localização está mostrada nas figuras 3.2 e 3.3. A região selecionada (quadrado preto) na figura 3.2, que caracteriza o local das coletas (posição da torre de medições micrometeorológicas e dos pontos de coleta de serrapilheira.) está mostrada na figura 3.3.



Fonte: Composição RGB de imagem do sensor IKONOS (30/04/2000).

Figura 3.2. Localização da torre micrometeorológica e dos pontos de coleta.

Os pontos amarelos são os locais de coleta de efluxo de CO₂ e serrapilheira e os traços vermelhos é o transecto de 1ha onde foram identificadas as espécies arbóreas.

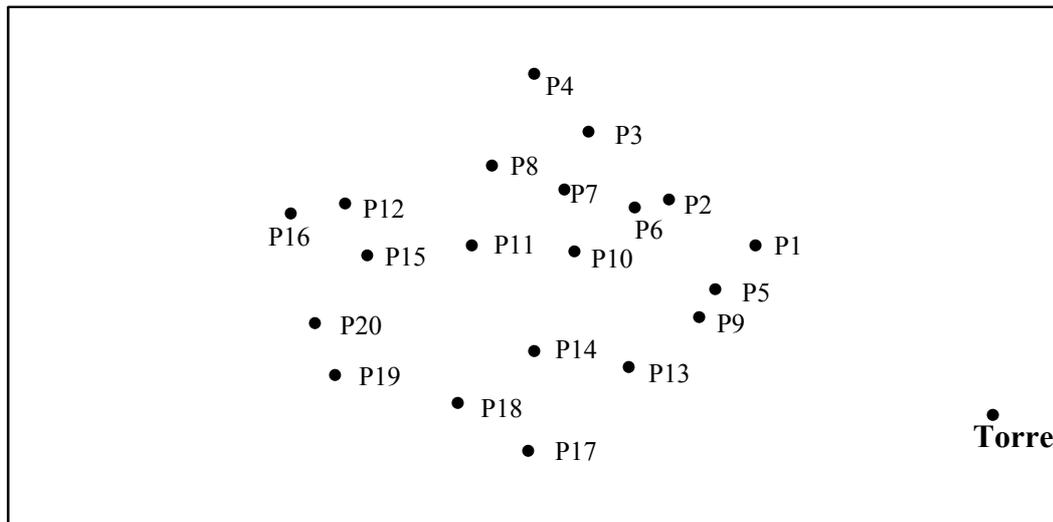


Figura 3.3. Localização dos pontos de coletas dentro da área em estudo (Escala: 1cm corresponde a aproximadamente 15 m).



Figura 3.4. Torre micrometeorológica localizada na área de estudo.

Vê-se na figura 3.2 mata ciliar adjacente à floresta de transição na parte superior da imagem, e sinais de manejo na parte inferior na parte inferior esquerda.

A tabela 3.4 mostra a localização dos pontos de coleta pelas coordenadas UTM/Datum WGS-84 - zona 21L; a tabela 3.5 mostra a distância entre os pontos de coleta e a torre micrometeorológica, e a tabela 3.6. a distância entre os pontos de coleta.

Tabela 3.4. Localização da torre e dos pontos do experimento pelas coordenadas UTM.

Descrição dos pontos	X (m)	Y (m)
Torre	682891	8737926
P ₁	682844	8737976
P ₂	682827	8737989
P ₃	682811	8738009
P ₄	682800	8738026
P ₅	682836	8737963
P ₆	682820	8737987
P ₇	682806	8737992
P ₈	682792	8737999
P ₉	682833	8737955
P ₁₀	682808	8737974
P ₁₁	682788	8737976
P ₁₂	682763	8737988
P ₁₃	682819	8737940
P ₁₄	682800	8737945
P ₁₅	682767	8737973
P ₁₆	682752	8737985
P ₁₇	682799	8737916
P ₁₈	682785	8737930
P ₁₉	682761	8737938
P ₂₀	682757	8737953

Tabela 3.5. Distância em metros entre os pontos de coleta e a torre micrometeorológica.

Descrição dos pontos	Distância entre os pontos e a torre(m)
P ₁	68,62
P ₂	89,81
P ₃	115,28
P ₄	135,21
P ₅	66,29
P ₆	93,61
P ₇	107,62
P ₈	123,0
P ₉	64,85
P ₁₀	95,88
P ₁₁	114,49
P ₁₂	142,23
P ₁₃	73,35
P ₁₄	92,96
P ₁₅	132,61
P ₁₆	151,0
P ₁₇	92,54
P ₁₈	106,08
P ₁₉	130,55
P ₂₀	136,69

Tabela 3.6. Distância em metros entre os pontos de coleta.

Descrição dos pontos	Distância entre os pontos (m)
1-2	21,40
2-3	25,61
3-4	20,25
4-5	72,56
5-6	28,84
6-7	14,87
7-8	15,65
8-9	60,14
9-10	31,40
10-11	20,10
11-12	27,73
12-13	73,76
13-14	19,65
14-15	43,28
15-16	19,21
16-17	83,49
17-18	19,80
18-19	25,30
19-20	15,52

3.3. MÉTODOS

Para cumprir com os objetivos do presente estudo foram empregadas distintas metodologias, denominadas como: coleta de serrapilheira, medida de efluxo de CO₂ do solo, e coleta de dados micrometeorológicos.

3.3.1. Coleta de Serrapilheira

Para a determinação da produção de serrapilheira foram utilizados 20 coletores de 1 m² cada (figura 3.5) instalados próximos à torre micrometeorológica, conforme coordenadas apresentadas na tabela 3.4. A serrapilheira de cada um desses coletores foi recolhida semanalmente, e levada ao laboratório para sua lavagem com água destilada, posteriormente separadas em folhas, galhos, flores e frutos, e levadas para secagem em estufa (Fanem, modelo 520/3A-FE, série GU 3585) a 65 - 70 °C por 72 horas. Posteriormente foi realizada sua pesagem em balança digital (Marte, Modelo AL 200C, nº 253729).



Figura 3.5. Caixa coletora de serrapilheira.

3.3.2. Coleta de Dados de Efluxo de CO₂

As emissões de CO₂ do solo foram medidas mensalmente sobre o acúmulo de serrapilheira sobre o solo. O efluxo de CO₂ do solo, foi medido no período de fevereiro de 2003 a setembro de 2003 utilizando-se o aparelho de absorção de CO₂ por gás infravermelho (LI-6400, LI-COR, Lincoln, Neb., USA), acoplado à uma câmara de retenção de CO₂ (LI-6400-09, LI-COR, Lincoln, Neb, USA), com 991 cm³ que cobre uma área de solo de 71,6 cm² (figura 3.6). Como o volume da câmara de retenção de CO₂ deste aparelho varia em função da distância da posição do anel externo que define a profundidade de inserção da câmara no solo, vale ressaltar que foi usada a regulagem do anel em 1 cm, e desta forma o volume da câmara foi 919,4 cm³. Devido a problemas técnicos com o LI-6400, de novembro de 2003 a fevereiro de 2004, o efluxo de CO₂ foi medido com um aparelho portátil de absorção de CO₂ por infravermelho (Environment Gás Monitor, EGM-1/WMA-2; GAS ANALYZER) acoplado a uma câmara de retenção do CO₂ com 1170 cm³, que cobre uma área de solo de 78,5 cm² (figura 3.7). As coletas foram realizadas entre as 10:00 as 14:00 horas. Na seção de anexos, as tabelas A1 e A2 detalham os horários das leituras de dados de efluxo de CO₂. As medições realizadas com o aparelho LI-6400 foram feitas com três ciclos de leitura de efluxo de CO₂ para cada ponto, e posteriormente calculadas as suas médias aritméticas.



Figura 3.6. Aparelho de absorção de CO₂ por gás infravermelho (LI-6400) acoplado à câmara de retenção de CO₂ (LI-6400-09) e sensor de temperatura (LI-6000-09TC).



Figura 3.7. Aparelho portátil de absorção de CO₂ por infravermelho (EGM-1/WMA-2) e termômetro digital.

3.3.3. Coleta de Dados Micrometeorológicos

Para relacionar a variação do efluxo de CO₂ do solo com o microclima da região foram realizadas coleta de dados de temperatura do solo, umidade do solo, temperatura do ar e precipitação. A tabela 3.7 apresenta uma relação sucinta dos aparelhos utilizados e frequência de coleta de dados.

A temperatura do solo até o mês de setembro de 2003, foi medida à aproximadamente 5 cm de profundidade com o sensor de temperatura (LI-6000-09TC, LI-COR, Lincoln, Neb, USA), também ligado ao aparelho LI-6400 (figura 3.6). A partir de novembro de 2003, temperatura do solo, neste período, foi medida à aproximadamente 5 cm, com termômetro digital (figura 3.7).

Tabela 3.7. Descrição sucinta dos aparelhos utilizados, frequência e local de coleta.

Variável	Equipamento	Local de coleta	Frequência
Temperatura do solo	Sensor de temperatura (LI-6000-09TC, LI-COR, Lincoln, Neb, USA)	P1 a P20	Mensal
Umidade do solo	Sensor TDR (Campbell CS615),	Adjacente à torre micrometeorológica	A cada 30 minutos
Temperatura do ar	Sensor HMP-35, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland	Torre micrometeorológica	A cada 30 minutos
Precipitação	Pluviômetro	Fazenda Continental	Diária

A umidade do solo foi medida através de 1 sensor de reflectometria no domínio do tempo- Time Domain Reflectometry ou TDR- com orientação vertical (0 a 30cm) (Campbell CS615), adjacentes à torre micrometeorológica, até julho de 2003, e a partir de agosto de 2003, usando-se 3 sensores TDR (Campbell CS615) com orientação horizontal nas profundidades 5, 25 e 70 cm, conforme mostra a figura 3.8. No presente estudo, foram realizadas as médias de umidade do solo entre 5 e 25 cm para que houvesse aproximadamente uma correspondência com a profundidade usada anteriormente (30 cm). O TDR mediu a umidade volumétrica do solo, ou seja, m³ de água por m³ de solo.

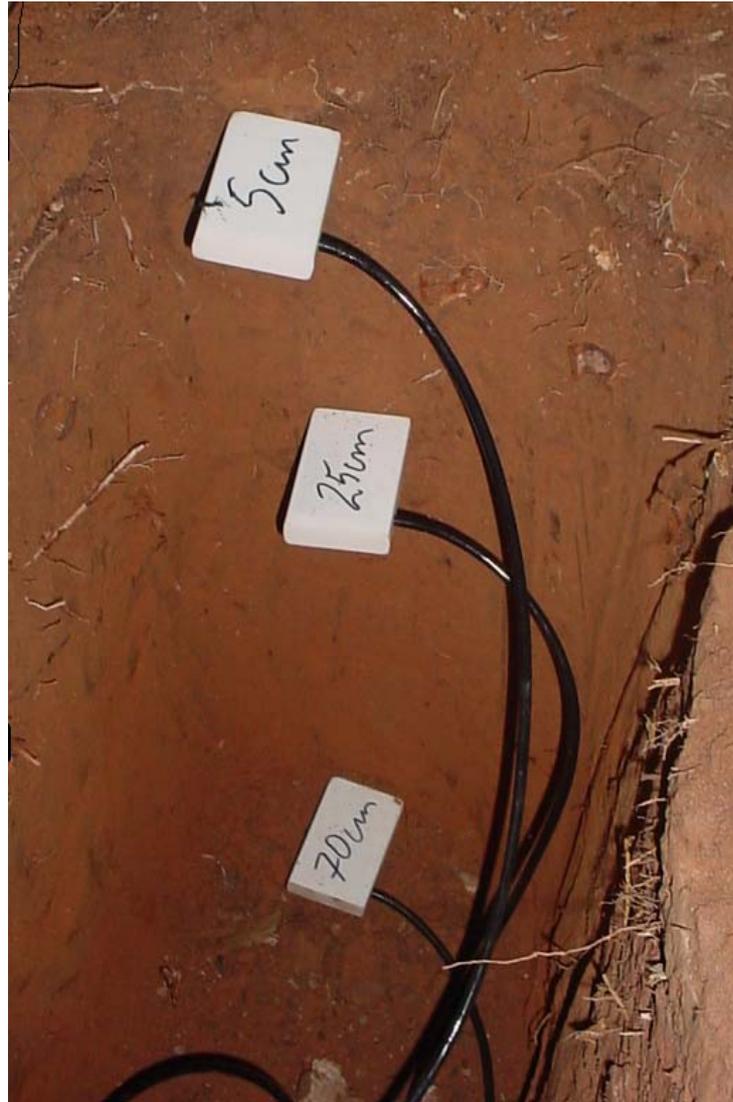


Figura 3.8. Sensores TDR instalados adjacentes à torre micrometeorológica nas profundidades de 5, 25 e 70 cm.

Para verificar uma possível variação de umidade entre os pontos, foram determinados os valores de umidade dos 20 pontos no mês de abril de 2004, coletando-se amostras de solo na profundidade de 0 a 20 cm, com três repetições, e utilizando-se o método de secagem em estufa a 105 °C por 24 horas. Este método determinou a umidade gravimétrica do solo, ou seja, o percentual de água no solo.

A temperatura do ar foi medida através de equipamento instalado na torre micrometeorológica nas alturas de 1, 4, 12, 20, 28, e 40 metros (HMP-35, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland).

Os dados micrometeorológicos foram coletados por um sistema de aquisição de dados, e as médias de 30 minutos foram armazenadas em datalogger (CR-10, Campbell scientific, Inc, UT, USA). Quinzenalmente os dados desse datalogger foram retirados, e transferidos para planilhas eletrônicas.

Os dados diários de precipitação foram fornecidos pela estação meteorológica da Fazenda Continental localizada à aproximadamente 17 Km do local do experimento.

3.4.PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para o processamento dos dados medidos empregou-se a seguinte metodologia básica:

- Formatação de planilha eletrônica utilizando o programa Microsoft Excel 2002, com alocação de células para a inserção dos dados brutos e células para o processamento dos cálculos;
- Elaboração de gráficos através dos programas Microsoft Excel e SPSS for Windows versão 10.0;
- Desenvolvimento de análises estatísticas e correlações entre os dados medidos, utilizando-se os programas Microsoft Excel e SPSS for Windows.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. VARIAÇÃO DO EFLUXO DE CO₂

No período de fevereiro de 2003 a fevereiro de 2004, a média de efluxo de CO₂ do solo para esta floresta de transição, que não possui dados de efluxo de CO₂ do solo anteriores a este período, foi de $7,50 \pm 0,51 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ conforme mostra a tabela 4.1. O coeficiente de variação foi em torno de 32% para as medidas realizadas, e a média encontrada foi maior que a média anual dos estudos de CHAMBERS et al.(2002) e NUNES (2003), para esta região de floresta na Amazônia Legal (tabela 4.2).

Dos valores médios mensais de efluxo de CO₂ no solo, o valor mínimo foi $4,01 \pm 0,48 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ na estação seca, e o valor máximo foi de $10,51 \pm 0,69 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, na estação chuvosa.

A média do efluxo de CO₂ do solo deste estudo para a estação seca foi igual a $5,3 \pm 0,45 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ sendo menor do que o valor encontrado no estudo de COUTINHO & LAMBERTI (1971), e maior do que o valor encontrado por MARTINS & MATTHES (1978), para a região de florestas na Amazônia conforme apresentado na tabela 4.2.

A média do efluxo de CO₂ do solo deste estudo para a estação chuvosa foi igual a $8,29 \pm 0,55 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ sendo maior que o valor encontrado por SOTTA et al.(2004) em seu estudo em floresta na Amazônia central como também nos mostra a tabela 4.2.

Tabela 4.1. Média do efluxo de CO₂ no solo nas datas coletadas.

Data	Efluxo CO ₂ ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Erro padrão (EP)	Desvio padrão (DP)
14-02-03	9,54	0,66	2,81
15-03-03	8,67	0,42	1,86
11-04-03	9,34	0,56	2,51
09-05-03	8,70	0,44	1,98
11-06-03	6,42	0,41	1,85
04-07-03	4,07	0,41	1,83
25-08-03	4,01	0,48	2,17
23-09-03	6,02	0,50	2,23
29-11-03	6,98	0,53	2,39
13-12-03	10,51	0,69	3,07
13-01-04	8,30	0,58	2,49
22-02-04	7,38	0,42	1,86
Média	7,50	0,51	2,26

Tabela 4.2. Estudos realizados de efluxo de CO₂ no solo na região Amazônica.

Autor	Período	Localização	Efluxo de CO ₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Metodologia
Coutinho & Lamberti (1971)	Seca (ago-set)	Barcelos, AM, Brasil	7,64*	Solução aquosa 0,5 N KOH
Martins & Matthes (1978)	Seca (jul)	Manaus, AM, Brasil San Carlos do Rio Negro, Venezuela	3,8 ± 1,4*	Solução aquosa 0,5 N KOH
Medina et al. (1980)	2 anos inteiros		7,2 ± 1,5*	Solução aquosa 0,5 N KOH
Kepler et al. (1980)		Manaus, AM, Brasil	4,7*	IRGA - câmara estática
Wofsy et al. (1988)		Reserva Ducke, Manaus, AM, Brasil	4,5	IRGA – câmara dinâmica
Meir et al. (1996)		Reserva do Jarú, RO, Brasil	5,5 ± 0,7	IRGA – câmara dinâmica
Chambers et al. (2002)	Ano inteiro	Manaus, AM, Brasil	3,8	IRGA – câmara dinâmica
Nunes (2003)	Ano inteiro Final da estação	Juruena, MT, Brasil	4,25	IRGA – câmara dinâmica
Sotta et al. (2004)	Chuvosa	Manaus, AM, Brasil	6,4 ± 0,25	IRGA – câmara dinâmica
Presente estudo	Ano inteiro	Sinop, MT, Brasil	7,5 ± 0,51	IRGA – câmara dinâmica
Presente estudo	Seca (jun-set)	Sinop, MT, Brasil	5,3 ± 0,45	IRGA – câmara dinâmica
Presente estudo	Chuvosa (nov-fev)	Sinop, MT, Brasil	8,29 ± 0,55	IRGA – câmara dinâmica

* Esses valores foram apresentados em $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, sendo convertidos para $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pelo fator 0,00631313.

Fonte : Adaptado NUNES (2003) e SOTTA (2004)

Ao início e ao final da estação seca (junho e setembro), e no período mais seco (julho e agosto), a mediana do efluxo de CO₂ foi da ordem de grandeza de 6 e 4 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente (figura 4.1).

Para a estação chuvosa (dezembro a março) e estações de transição (outubro a novembro e abril a maio), os valores de efluxo de CO₂ foram de uma ordem de grandeza igual a 8 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sendo que o valor máximo da mediana em torno de 11 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, foi no mês de dezembro, o que pode ser explicado com o retorno da precipitação, onde provavelmente ocorreu um aumento na biodiversidade dos microorganismos decompositores do solo, aumentando a velocidade de decomposição da serrapilheira.

NUNES (2003) observou em seu trabalho, comparando 3 ecossistemas (pastagem, agrosilvopastoril e floresta), no norte de Mato Grosso, que com as primeiras chuvas de setembro, a resposta do efluxo de CO₂ do solo da floresta foi rápida e se elevou acima dos ambientes de pastagem e agrosilvopastoril até novembro. O autor sugeriu que o fato pudesse estar relacionado à chuva e ao maior teor de matéria orgânica presente no solo deste ambiente.

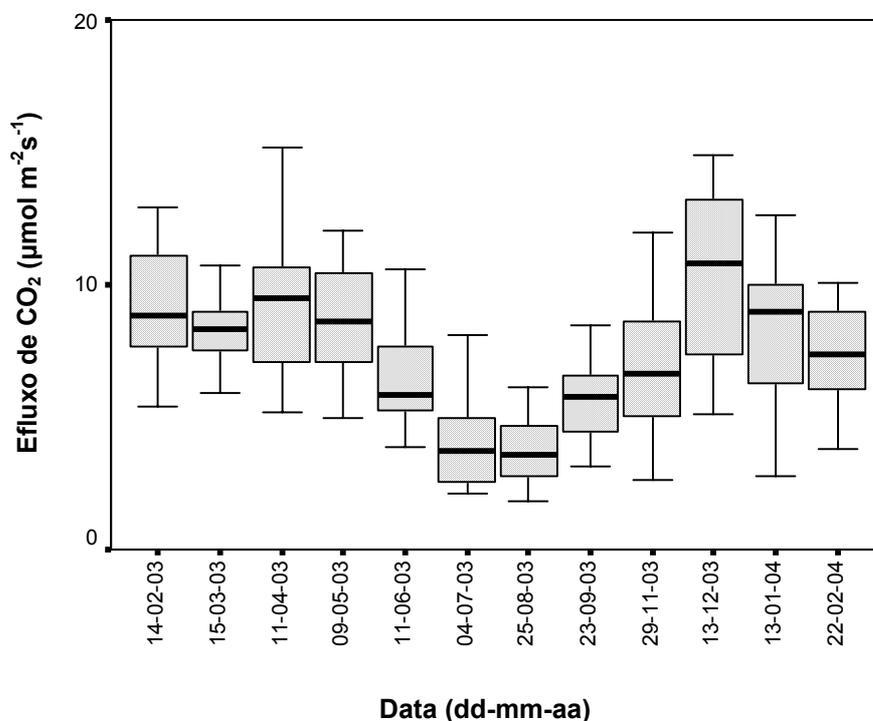


Figura 4.1. Medianas do efluxo do CO₂ no solo nas datas medidas.

4.2. EFLUXO DE CO₂ E TEMPERATURA DO SOLO

4.2.1. Temperatura do Solo e Temperatura do Ar

No período deste estudo a média de temperatura do solo a 5 cm de profundidade foi $24,21 \pm 0,06$ °C, que é próxima à temperatura média do ar para esta região. O valor máximo da média de temperatura do solo, $25,08 \pm 0,04$ °C foi alcançada em abril de 2003 e o valor mínimo em julho de 2003, que foi $22,05 \pm 0,07$ °C, conforme mostra a tabela 4.3. Estes valores são compatíveis com a temperatura média do ar que nestes meses foi de 25,86 °C e 22,28 °C, respectivamente (tabela 3.3).

Através da figura 4.2, observou-se que a temperatura do solo seguiu a mesma tendência da temperatura do ar, sendo que a temperatura do solo se apresentou menor que a temperatura do ar, ao longo de quase todo período estudado, provavelmente porque na floresta, a serrapilheira acima da superfície confere uma proteção às variações da temperatura ambiente, o que também foi observado por NUNES (2003).

Tabela 4.3. Médias da temperatura do solo nas datas medidas.

Data	Temperatura do solo (°C)	Erro padrão (EP)	Desvio Padrão (DP)
14-02-03	24,44	0,06	0,24
15-03-03	24,38	0,04	0,17
11-04-03	25,08	0,04	0,20
09-05-03	24,15	0,05	0,24
11-06-03	23,44	0,06	0,26
04-07-03	22,05	0,07	0,33
25-08-03	23,98	0,06	0,27
23-09-03	24,91	0,06	0,26
29-11-03	24,08	0,09	0,39
13-12-03	24,88	0,06	0,27
13-01-04	25,06	0,12	0,53
22-02-04	24,05	0,05	0,24
Média	24,21	0,06	0,28

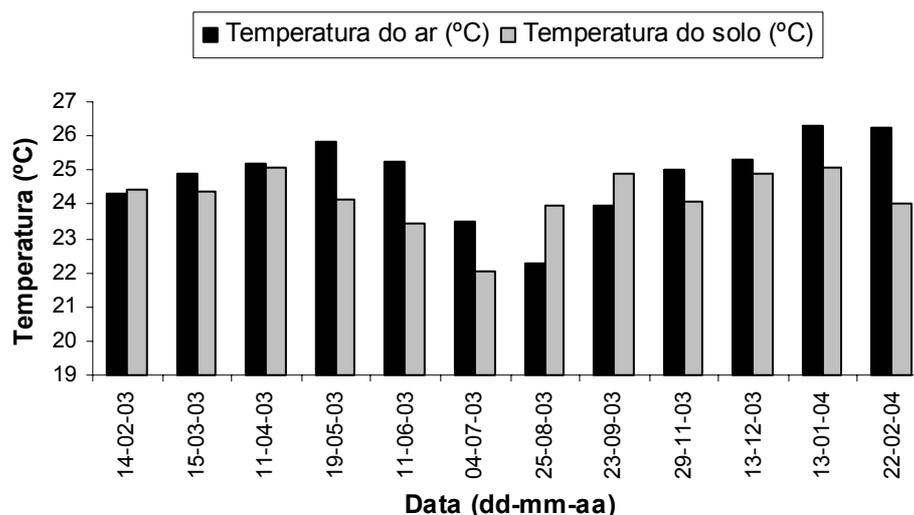


Figura 4.2. Médias de temperatura do solo e do ar (°C) nas datas de coleta.

Comparando-se as medianas dos valores de temperatura do solo entre os meses da estação seca, estação chuvosa, e estações de transição (figura 4.3), observou-se que a maior amplitude térmica do solo entre as estações é menor que 1 °C, de acordo como os resultados de NUNES (2003), que em seu estudo encontrou uma amplitude térmica menor que 1 °C entre a estação chuvosa e a seca. No presente trabalho, o menor valor da mediana de temperatura do solo foi verificada em julho de 2003, período de seca, onde se registrou o menor índice de umidade do solo e a menor amplitude térmica aconteceu no mês de abril de 2003, quando a umidade do solo ainda era alta em função do índice de precipitação (figura 4.17).

Na floresta, as primeiras chuvas de setembro começam a transportar o calor da copa das árvores para o solo, aquecendo-o lentamente, à medida que a água se infiltra no solo. Durante a época seca o solo perde calor pela evaporação da água (SOUZA et al., 1996).

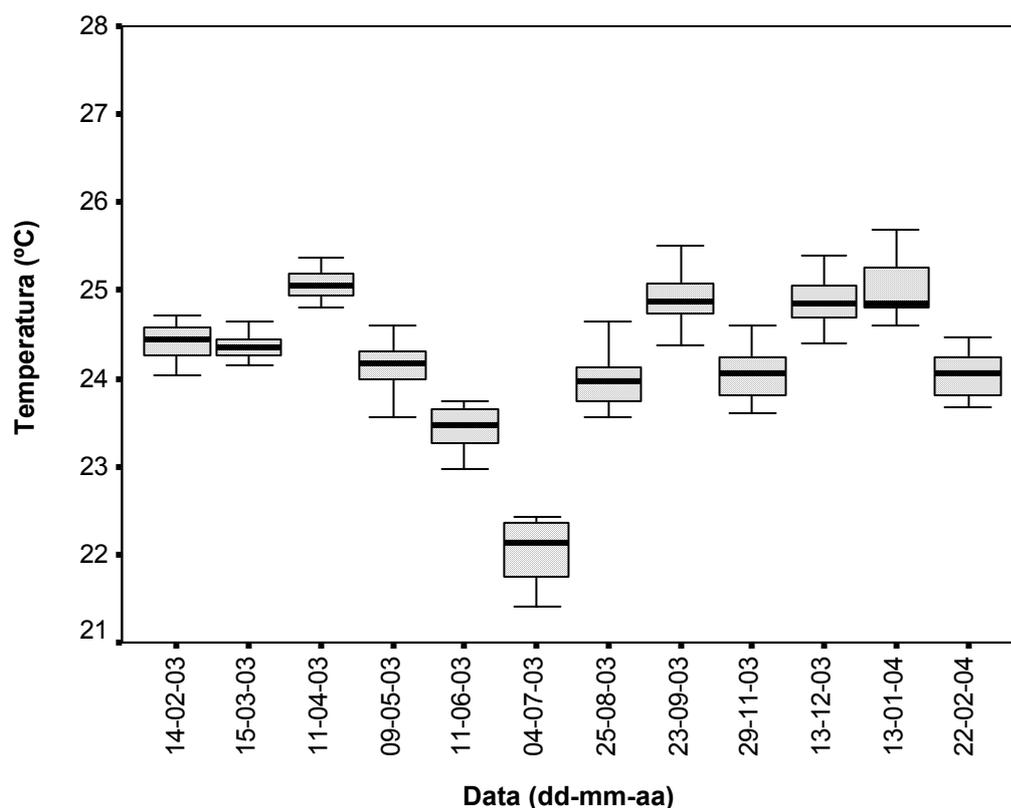


Figura 4.3. Mediana dos valores de temperatura do solo (°C) nas datas coletadas.

4.2.2. Relação do Efluxo de CO₂ e a Temperatura do Solo

Na literatura encontram-se vários estudos em diferentes ecossistemas, que mencionam a dependência do efluxo de CO₂ com a temperatura do solo; entre eles RAICH et al. (1985), LLOYD & TAYLOR (1994), MEIER et al. (1996), XU & QI (2001), LUO et al. (2001), FANG & MONCRIEFF (2001), REY et al. (2002), NUNES (2003), SOUZA et al. (2003), JANSSENS & PILEGAARD et al. (2003), KANG, et al. (2003), BEKKU et al. (2003), SCOTT-DENTON et al. (2003), TANG et al. (2003), SOTTA et al. (2004) e YUSTE et al (2004). Estes estudos mostraram, através de relações linear ou exponencial, expressões que melhor representaram a relação entre estas variáveis.

Para analisar a variação temporal do efluxo de CO₂ do solo com a temperatura do solo no período em estudo, foi realizada uma análise de correlação entre estas variáveis, e de acordo com a classificação de correlação citada por CALLEGARI-JACQUES (2003), o efluxo de CO₂ do solo neste estudo possui uma correlação

regular com a temperatura do solo ($r = 0,47$). A análise de regressão entre todos os dados de efluxo de CO_2 e temperatura no solo ($n = 238$), no período estudado, resultou em uma relação estatística linear altamente significativa para um nível de significância de 5%, apresentada na figura 4.4, com fraca dependência entre as variáveis ($y = 1,5497x - 30,03$; $R^2 = 0,198$).

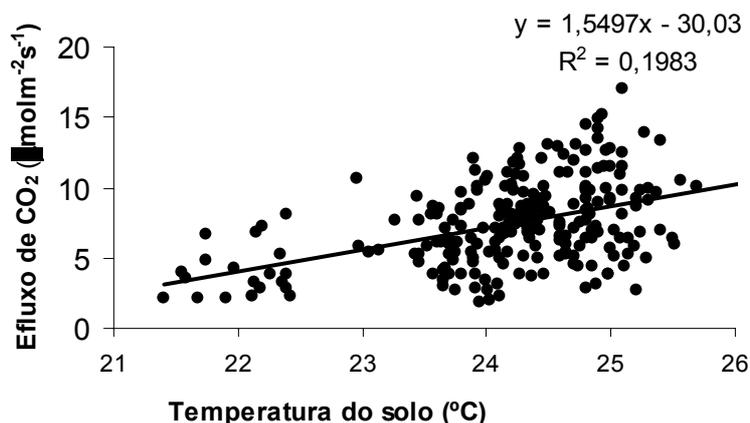


Figura 4.4. Regressão linear entre as medidas de efluxo de CO_2 e temperatura no solo.

A figura 4.5 apresenta a variação da média mensal do efluxo de CO_2 e da temperatura do solo medidos nos 20 pontos nas datas de coleta. Essas variáveis apresentaram uma correlação forte ($r = 0,67$), e entre as regressões linear e exponencial, a melhor resposta encontrada para relacionar estas variáveis foi a exponencial como mostra a equação da figura 4.6 ($R^2 = 0,473$), sendo a mesma estatisticamente significativa para um nível de significância de 5%. Este resultado foi diferente do resultado obtido por NUNES (2003), numa floresta tropical primária, que encontrou uma relação linear negativa entre a média do efluxo de CO_2 e a temperatura do solo.

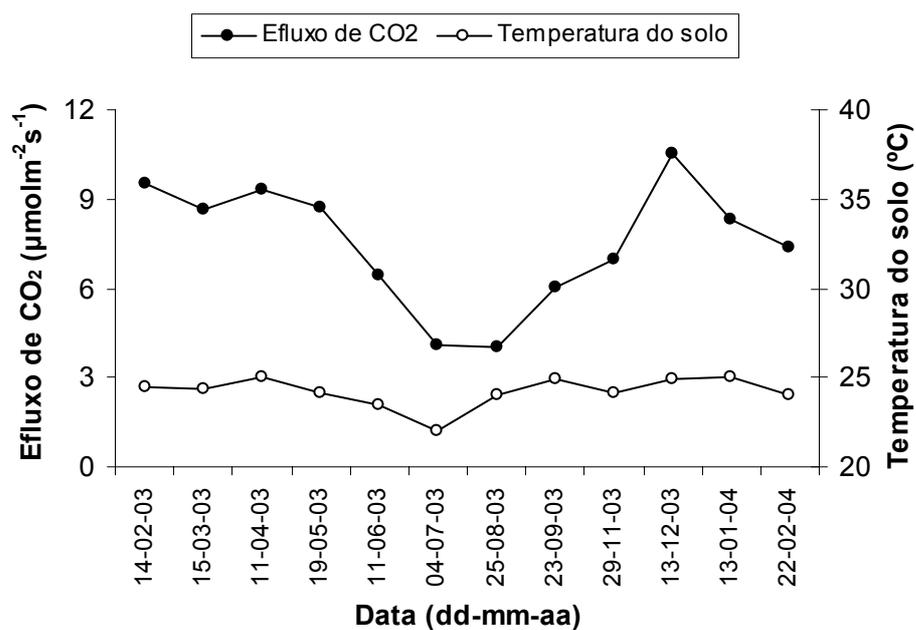


Figura 4.5. Média do efluxo de CO₂ e da temperatura no solo nas datas medidas.

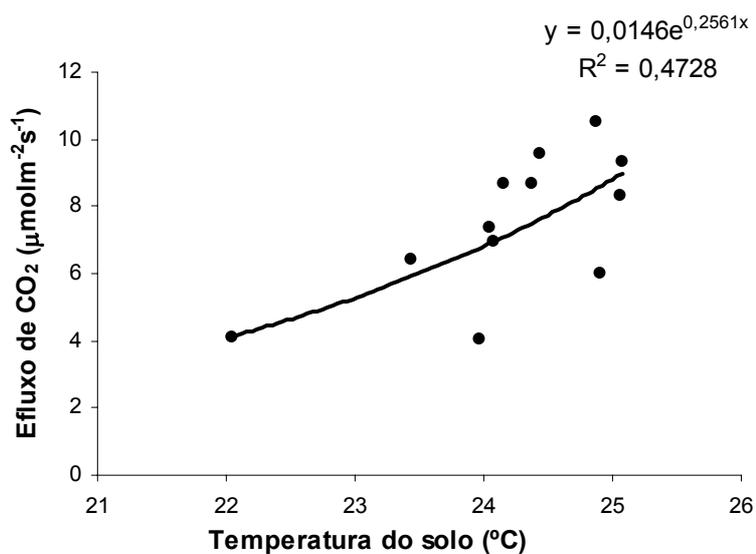


Figura 4.6. Regressão entre os valores médios mensais do efluxo de CO₂ e temperatura do solo.

O valor de Q10, que indica o quanto aumenta a respiração do solo quando há um aumento de 10°C na temperatura do solo, encontrado através dessas médias mensais e, utilizando-se a equação 2.10 (capítulo 2), foi igual a 12,95, que para os valores encontrados na literatura referentes à estudos na floresta Amazônica pode ser considerado elevado. Vale ressaltar que os estudos que apresentaram um resultado de

Q10 em torno de 2 para esta região de floresta Amazônica utilizaram metodologias e tempo de coleta diferentes das usadas neste estudo. MEIER et al. (1996), por exemplo, fizeram medidas de efluxo de CO₂ em floresta tropical (Rondônia) uma vez ao mês, em três meses do ano, durante 24 horas, em três pontos distintos, encontrando um valor de Q10 igual a 2,3. SOTTA et al. (2004) em seu estudo em floresta próxima a Manaus, fizeram 9 medições num período de 20 dias, durante 24 horas, com 2 câmaras de efluxo de CO₂, e determinaram um Q10 igual a 1,8 (equação 2.10, capítulo 2), a partir do cálculo da média de todos os valores de β (equação 2.9).

A exemplo de MEIER et al (1996), SOTTA et al. (2004) e outros estudos, onde o valor de Q10 foi determinado a partir de coletas contínuas e em curtos espaços de tempo, no presente estudo, mesmo com uma metodologia distinta, com coletas instantâneas mensais, foi realizada uma análise agrupando-se os dados de efluxo de CO₂ e temperatura do solo por estações, de forma a observar qual a relação entre essas variáveis num espaço de tempo menor. A estação chuvosa apresentou uma relação estatisticamente significativa para um nível de significância igual a 5%, conforme a figura 4.7, porém com baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,179$). O valor de Q10 para esta análise foi igual a 15,27. As demais estações não apresentaram relações estatisticamente significativas.

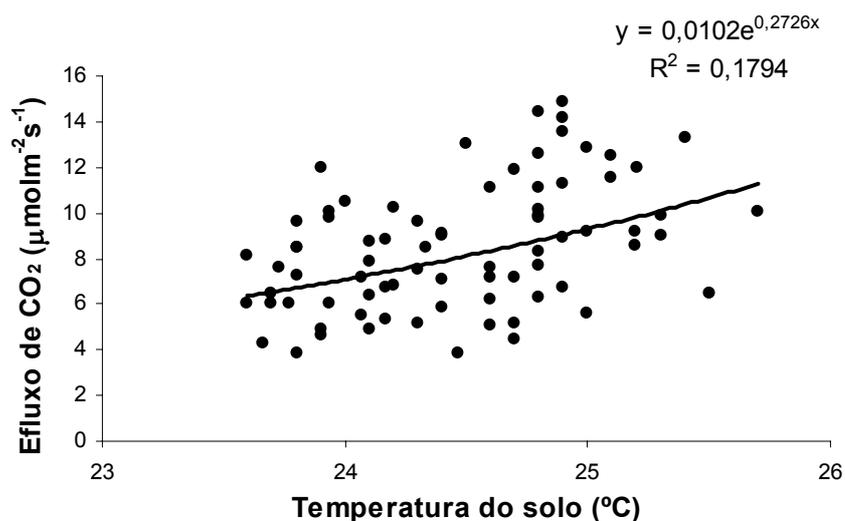


Figura 4.7. Regressão entre os valores médios do efluxo de CO₂ e temperatura no na estação chuvosa.

Como houve variação do efluxo de CO₂ de um ponto para outro em cada data de coleta, que pode ter como uma das causas a variação de umidade de um ponto para outro (tabela 4.6), e como de um ponto para outro quase não houve variação de temperatura do solo, foi também realizado um estudo da variação de efluxo de CO₂ em função da temperatura do solo, para cada ponto, em todas as datas coletadas.

A análise estatística de regressão entre o efluxo de CO₂ e temperatura no solo em cada ponto, mostrou quais pontos tiveram relações estatisticamente significativas entre essas variáveis para um nível de significância de 5%, cujos resultados são apresentados na tabela 4.4. As curvas exponenciais da regressão ocorrida nestes pontos são mostradas nas figuras 4.8; 4.9; 4.10; 4.11; 4.12; 4.13; 4.14; 4.15; e 4.16.

Tabela 4.4. Análise estatística de regressão exponencial entre a média e fluxo de CO₂ e temperatura no solo durante todo o período, para a estação chuvosa e para a média de cada ponto, considerando um nível de significância de 5%. Valores de Q10 calculados.

Observação	α *	B*	R ²	expressão	Q10	Figura
Mensal durante o período	0,0146	0,2561	0,473	$Y=0,0146e^{0,225x}$	12,95	4.6
Estação chuvosa	0,0102	0,2726	0,18	$Y=0,0102e^{0,2726x}$	15,27	4.7
P1	0,004	0,3026	0,461	$Y=0,004e^{0,3026x}$	20,61	4.8
P2	0,0199	0,258	0,651	$Y=0,0199e^{0,258x}$	13,20	4.9
P6	0,0067	0,290	0,408	$Y=0,0067e^{0,290x}$	18,25	4.10
P9	0,0162	0,2599	0,435	$Y=0,0162e^{0,2599x}$	13,45	4.11
P10	0,0101	0,2672	0,379	$Y=0,0101e^{0,2672x}$	14,47	4.12
P13	0,0012	0,3521	0,419	$Y=0,0012e^{0,3521x}$	30,82	4.13
P16	0,0002	0,422	0,549	$Y=0,0002e^{0,422x}$	60,04	4.14
P17	0,0045	0,2998	0,36	$Y=0,0045e^{0,2998x}$	20,05	4.15
P18	0,0032	0,3192	0,394	$Y=0,0032e^{0,3192x}$	24,34	4.16

* Os valores de α e β são significativos ao nível de 5%

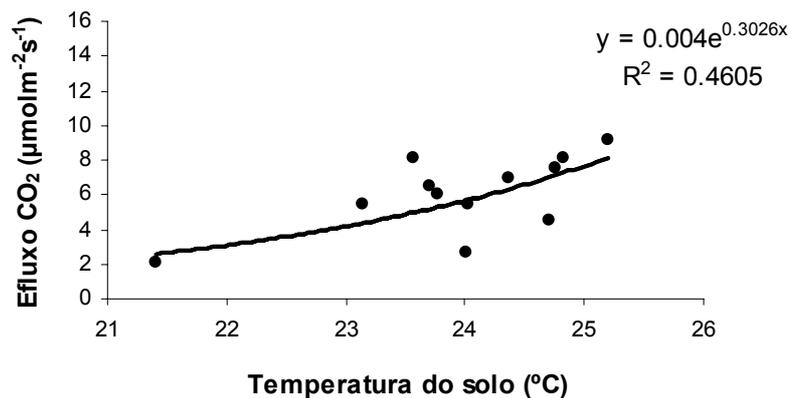


Figura 4.8. Regressão exponencial entre efluxo de CO₂ e temperatura no solo para o ponto 1.

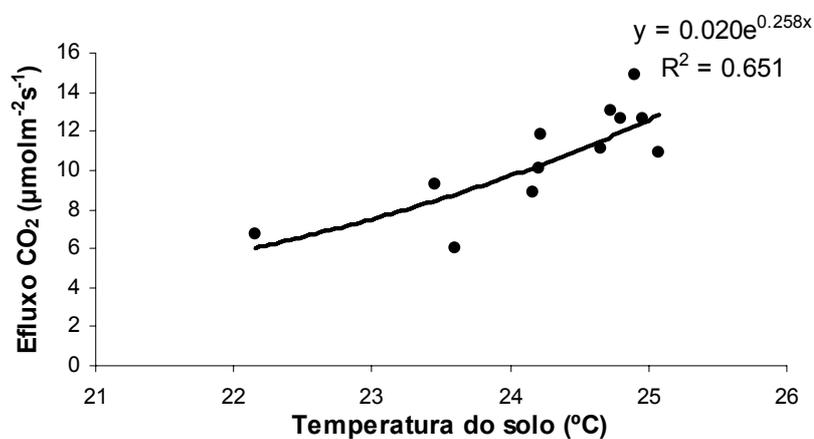


Figura 4.9. Regressão exponencial entre efluxo de CO₂ e temperatura no solo para o ponto 2.

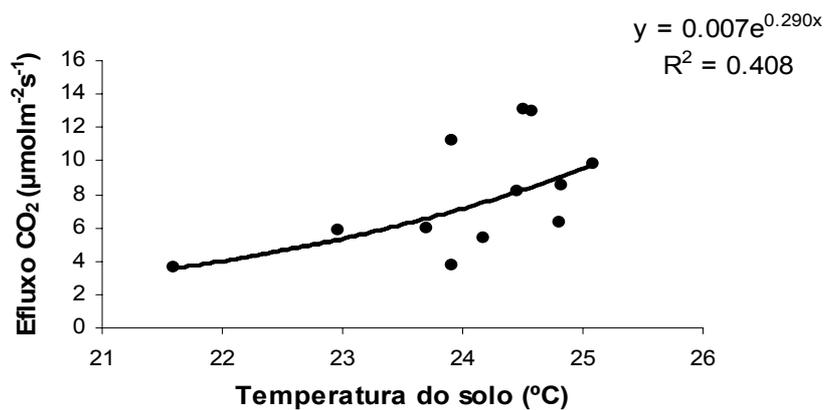


Figura 4.10. Regressão exponencial entre efluxo de CO₂ e temperatura no solo para o ponto 6.

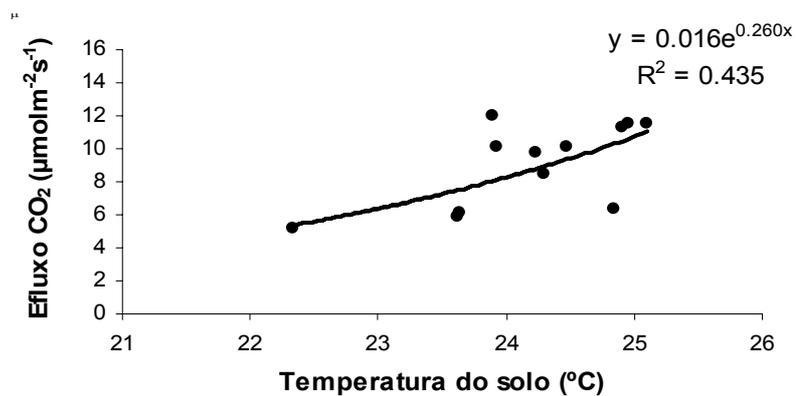


Figura 4.11. Regressão exponencial entre efluxo de CO₂ e temperatura no solo para o ponto 9.

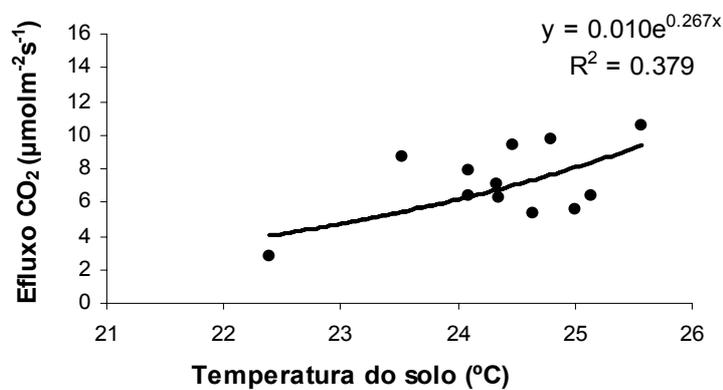


Figura 4.12. Regressão exponencial entre efluxo de CO₂ e temperatura no solo para o ponto 10.

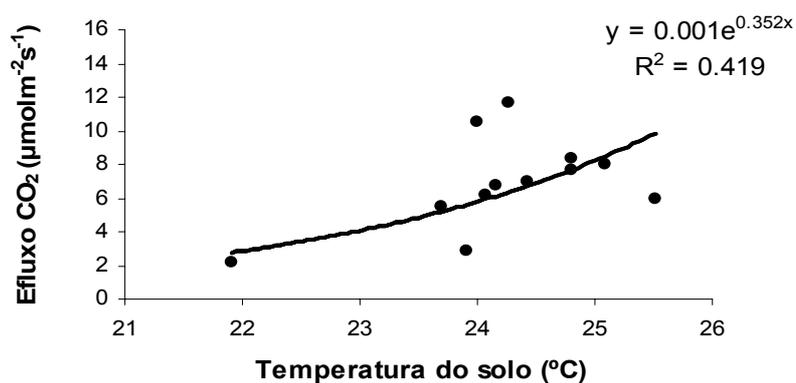


Figura 4.13. Regressão exponencial entre efluxo de CO₂ e temperatura no solo para o ponto 13.

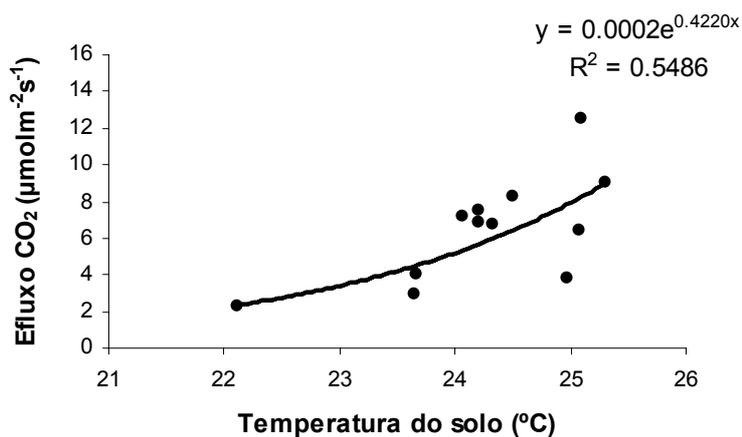


Figura 4.14. Regressão exponencial entre efluxo de CO₂ e temperatura no solo para o ponto16

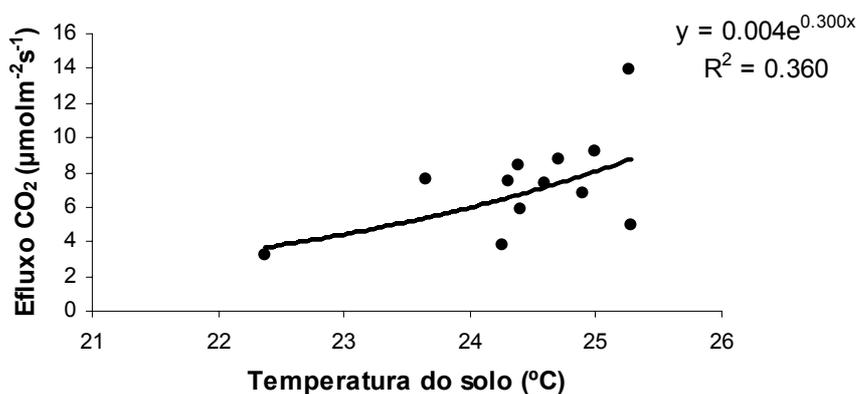


Figura 4.15. Regressão exponencial entre efluxo de CO₂ e temperatura no solo para o ponto17.

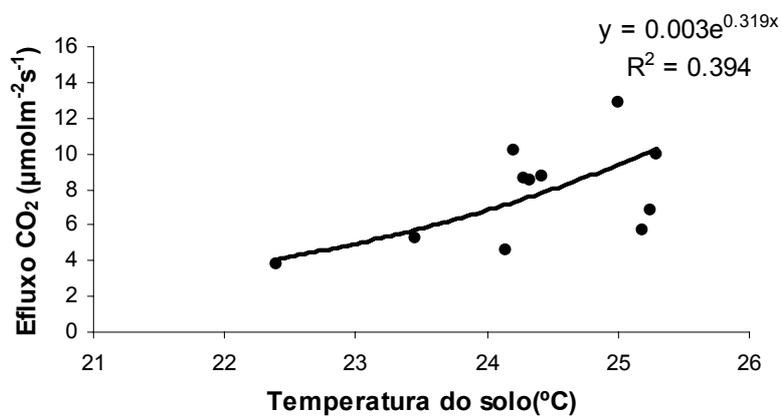


Figura 4.16. Regressão exponencial entre efluxo de CO₂ e temperatura no solo para o ponto18.

O ponto 2 foi o que apresentou o melhor coeficiente de determinação, e o valor de Q10, neste ponto foi igual a 13,20, sendo próximo ao encontrado para a média mensal durante o período estudado. O ponto 9 apesar de ter um valor de Q10 próximo ao do ponto 2, possui um coeficiente de determinação menor.

4.3. EFLUXO DE CO₂ E UMIDADE DO SOLO

4.3.1. Umidade do Solo e Precipitação

A tabela 4.5 apresenta a umidade do solo (m³ de água por m³ de solo) na profundidade de 30 cm (até julho de 2003), a média entre as umidades do solo (m³ de água por m³ de solo) para as profundidades 5 e 25 cm (a partir de agosto de 2003), e a precipitação nas datas de coleta. Observa-se que a umidade acompanha o regime de chuvas da região ao longo do período (figura 4.17). No mês de agosto apesar de não ter ocorrido precipitação, houve aumento de umidade, provavelmente devido ao fato da mudança da instalação do TDR no mês de agosto. O TDR funciona com um campo magnético que alcança dez vezes a medida de seu diâmetro, e como houve mudança do TDR da posição vertical (posição utilizada até o mês de julho) para a posição horizontal (posição utilizada no mês de agosto), possivelmente resultou em uma diferença nos resultados.

Em fevereiro de 2004, apesar de ter ocorrido um elevado índice de precipitação, aproximadamente 1,7 vez maior do que o de fevereiro de 2003 (tabela 3.3), o valor da umidade foi duvidoso em função de que por problemas técnicos, houve falta de registro contínuos de dados durante o dia e em todas as profundidades. Outro dado importante é que apesar do índice de precipitação de janeiro de 2004 ter sido maior que o de fevereiro do mesmo ano, a umidade do solo de fevereiro de 2004 foi quase o dobro da registrada em janeiro deste ano.

Tabela 4.5. Umidade do solo e precipitação nas datas medidas.

Data	Umidade do solo ($m^3 \cdot m^{-3}$)	Precipitação (mm)
14-02-03	0,103	47
15-03-03	0,124	18
11-04-03	0,111	0
09-05-03	0,098	0
11-06-03	0,063	0
04-07-03	0,055	0
25-08-03	0,071	0
23-09-03	0,084	0
29-11-03	0,185	0
13-12-03	0,151	4
13-01-04	0,116	10
22-02-04	0,203	0
Média	0,114	-

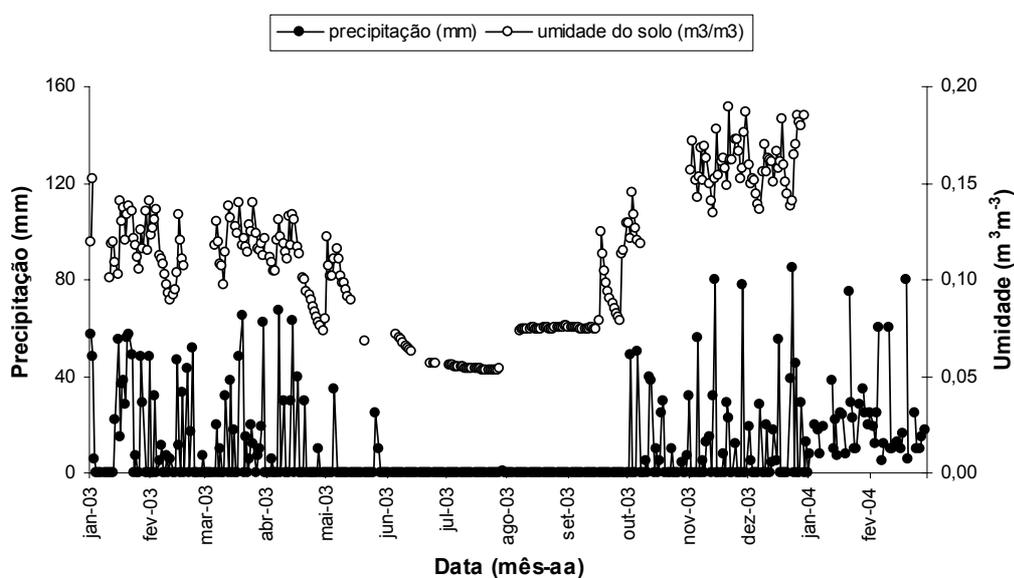


Figura 4.17. Precipitação em 2003 e início de 2004. e umidade do solo em 2003

Para as datas de coletas, nas quais houve registro de umidade, em todas as profundidades de instalação do TDR, os menores valores de umidade foram apresentados para a profundidade de 70 cm (figura 4.18) confirmando as observações de SOUZA et al. (1996) que mostraram a presença de raízes da floresta absorvendo água até quatro metros de profundidade.

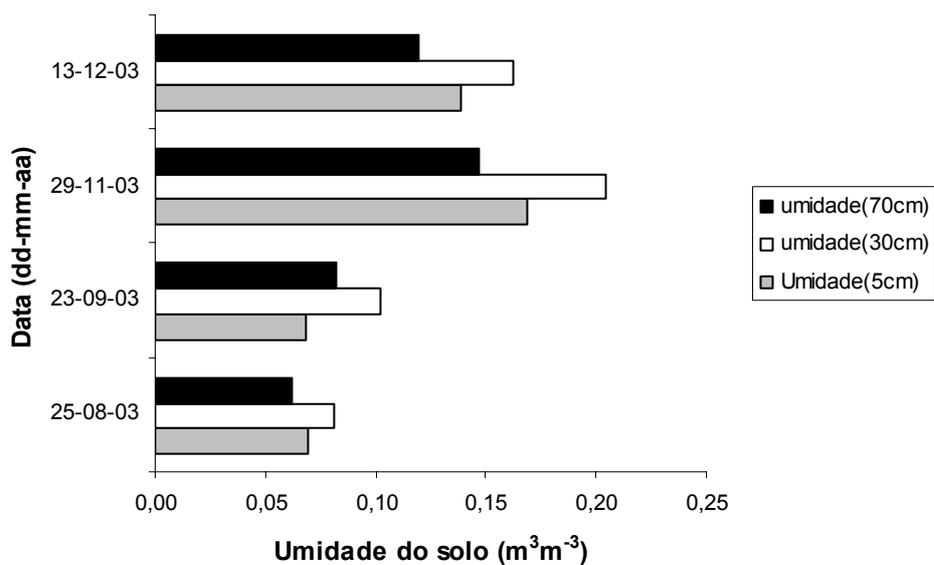


Figura 4.18. Umidade do solo nas 3 profundidades coletadas pelo TDR.

Como a umidade é um fator importante, pois ajuda a regular as atividades dos organismos e a limitar a distribuição destes, e como existem diferenças horizontais e verticais para esta variável (ODUM, 1988), foi realizada em abril de 2004, a determinação da umidade gravimétrica do solo (% umidade do solo) para os 20 pontos onde foram feitas as medidas do efluxo de CO₂ do solo como é mostrado na tabela 4.6.

Tabela 4.6. Umidade do solo (% água no solo) em cada ponto de coleta em abril de 2004.

Pontos	Umidade (%)
1	12,04
2	16,16
3	16,17
4	14,35
5	13,66
6	15,55
7	14,43
8	16,09
9	17,85
10	12,6
11	12,82
12	13,96
13	14,2
14	12,98
15	15,72
16	13,79
17	13,73
18	14,17
19	14,76
20	14,88
média	14,50

4.3.2. Relação entre o Efluxo de CO₂ e Umidade no Solo

A umidade do solo é um fator importante para que aconteça o efluxo de CO₂, sendo um fator limitante na ocorrência das reações químicas de decomposição de matéria orgânica. A figura 4.19 apresenta a variação temporal das médias de efluxo de CO₂ e umidade do solo, para as datas de coleta, e pela estatística verifica-se uma correlação regular entre essas variáveis ($r = 0,40$). Realizou-se uma análise de correlação entre a média efluxo de CO₂ e a precipitação nas datas coletadas, encontrando uma fraca correlação ($r = 0,29$). Optou-se pela precipitação porque a umidade do solo acompanha o regime de chuvas.(figura 4.17)

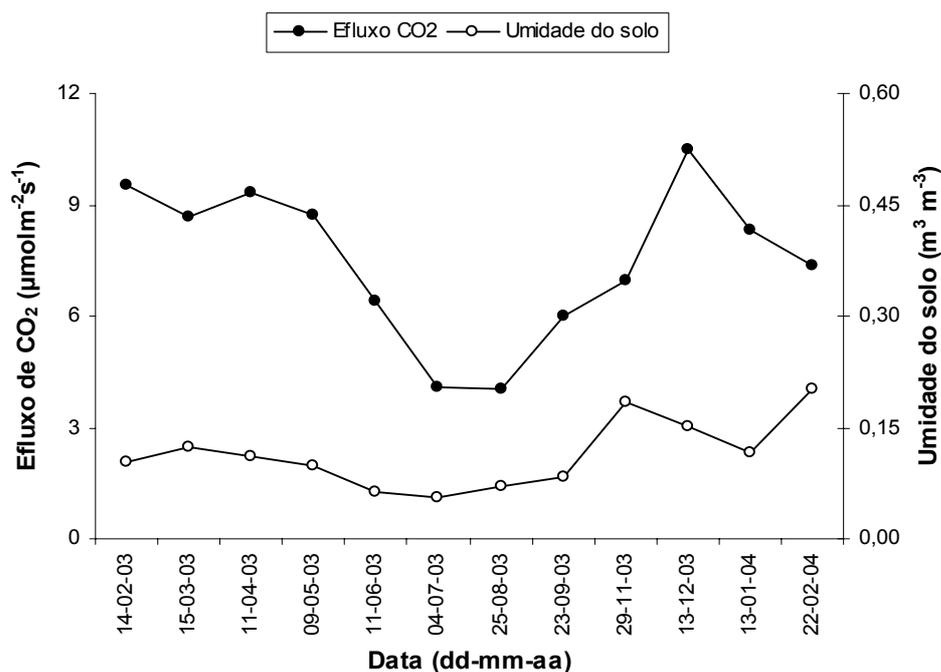


Figura 4.19. Variação temporal do efluxo de CO₂ e umidade do solo.

Analisando essas variáveis conclui-se que houve uma relação estatística significativa entre elas (nível de significância 5%) para uma regressão polinomial $y = -739,72x^2 + 209,78x - 5,3363$, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,75$, como mostra a figura 4.20. SOTTA et al. (2004) encontraram uma relação polinomial entre efluxo de CO₂ e umidade do solo, e um coeficiente de determinação $R^2 = 0,40$, e NUNES (2003), uma regressão linear com coeficiente de determinação $R^2 = 0,34$.

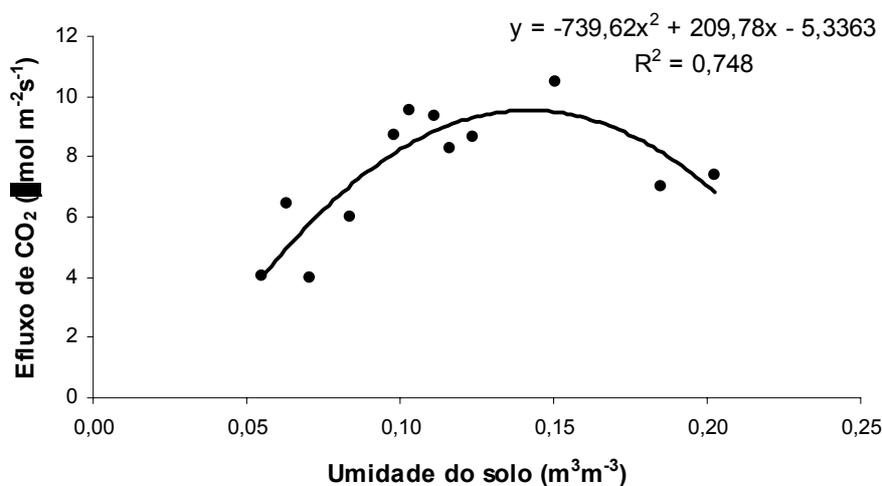


Figura 4.20. Relação entre efluxo de CO₂ e umidade do solo.

Pela curva obtida notou-se que com o aumento da umidade houve também aumento do efluxo de CO₂ do solo, porém o excesso de água no solo causa uma barreira para a troca de O₂ ou CO₂, ou ambos, entre solo e atmosfera, provocando uma queda do efluxo de CO₂ (BUNNELL, 1977).

4.4. VARIAÇÃO TEMPORAL DA PRODUÇÃO DE SERRAPILHEIRA

4.4.1. Variação da Produção de Serrapilheira

A produção média mensal de serrapilheira variou de $0,08 \pm 0,01$ a $1,18 \pm 0,29$ tha.mês⁻¹ (tabela 4.7). Estima-se que no ano de 2003, houve uma produção anual de folhas $5,39 \text{ t.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$. A composição da serrapilheira em seus principais componentes apresentou-se em 53 a 93% de folhas e 2 a 55% de galhos. As folhas são o componente principal da serrapilheira, e sua fração depende principalmente do cultivo formado, da estrutura do local e da idade das árvores (ZIMMERMANN et al., 2002). Apesar da variação sazonal da produção de serrapilheira, não se observou a variação porcentual dos componentes da mesma durante as diferentes estações.

Tabela 4.7. Produção de serrapilheira durante o período estudado.

Mês/Ano	Produção de serrapilheira (t.ha ⁻¹ .mês ⁻¹ ± EP)			
	Folhas	Galhos	Miscelânea (flores+frutos)	Total
Jan/03	0,13 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,21 ± 0,04
Fev/03	0,47 ± 0,04	0,25 ± 0,10	0,13 ± 0,04	0,86 ± 0,12
Mar/03	0,06 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01	0,08 ± 0,01
Abr/03	0,34 ± 0,05	0,10 ± 0,05	0,04 ± 0,02	0,48 ± 0,09
Mai/03	0,45 ± 0,06	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,54 ± 0,08
Jun/03	0,40 ± 0,04	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,46 ± 0,05
Jul/03	0,79 ± 0,12	0,04 ± 0,02	0,01 ± 0,01	0,85 ± 0,12
Ago/03	0,93 ± 0,11	0,06 ± 0,03	0,01 ± 0,01	1,00 ± 0,11
Set/03	0,76 ± 0,14	0,05 ± 0,03	0,37 ± 0,23	1,18 ± 0,29
Out/03	0,57 ± 0,12	0,32 ± 0,14	0,09 ± 0,04	0,98 ± 0,25
Nov/03	0,41 ± 0,06	0,13 ± 0,04	0,16 ± 0,05	0,71 ± 0,09
Dez/03	0,08 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,05 ± 0,03	0,15 ± 0,03
Jan/04	0,35 ± 0,05	0,11 ± 0,06	0,03 ± 0,02	0,49 ± 0,08

O fluxo de CO₂ no solo apresentou uma correlação negativa com a produção de serrapilheira ($r = -0,224$), e a figura 4.21 mostra a variação temporal do efluxo de CO₂ do solo e a produção de serrapilheira, indicando que houve uma maior deposição mensal na estação seca do que na estação úmida. Podemos notar ainda que apesar de ter havido uma maior produção de serrapilheira na estação seca, houve nesta estação uma diminuição do efluxo de CO₂ do solo, pois a umidade é um fator importante para que haja uma maior decomposição da serrapilheira. Notou-se também que com as primeiras chuvas o efluxo de CO₂ do solo começou a se elevar, possivelmente indicando uma atividade intensa dos microorganismos sobre a matéria orgânica. Quando as chuvas já estavam em ritmo intenso, como aconteceu em janeiro e fevereiro tivemos uma diminuição do efluxo de CO₂, pois o excesso de umidade do solo pode causar uma limitação do efluxo de CO₂, ou seja, da troca de gases entre o solo e a atmosfera como afirmaram BUNNELL et al. (1977) e SOTTA et al.(2004).

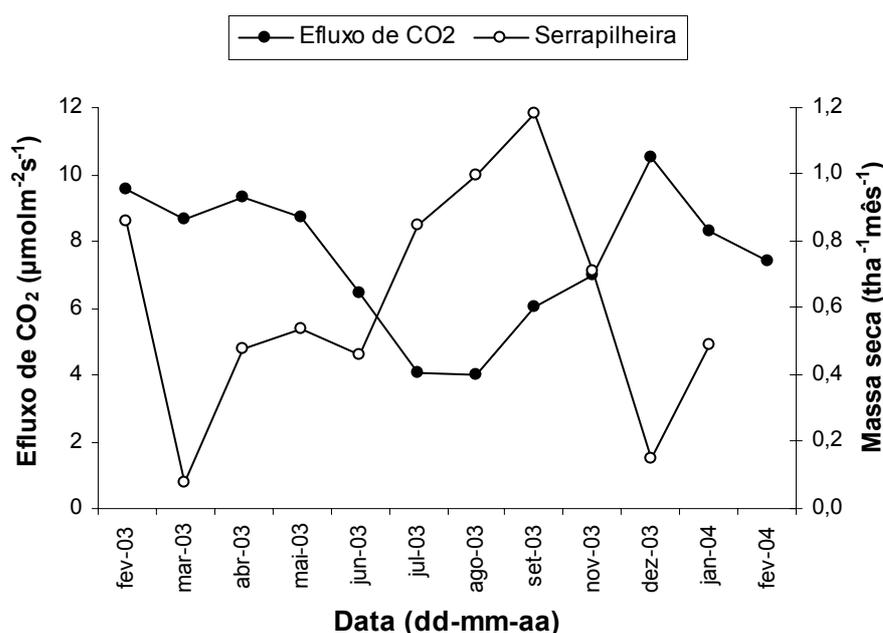


Figura 4.21. Variação temporal do efluxo de CO₂ e da serrapilheira.

Na figura 4.22 é apresentada a relação entre o efluxo de CO₂ do solo e a produção de serrapilheira, que foi linear negativa ao nível de significância de 5%, o que também mostra que sendo o efluxo de CO₂ do solo e a produção de serrapilheira

inversamente proporcionais, há fatores do microclima, como a temperatura e umidade que agem sobre a decomposição da matéria orgânica.

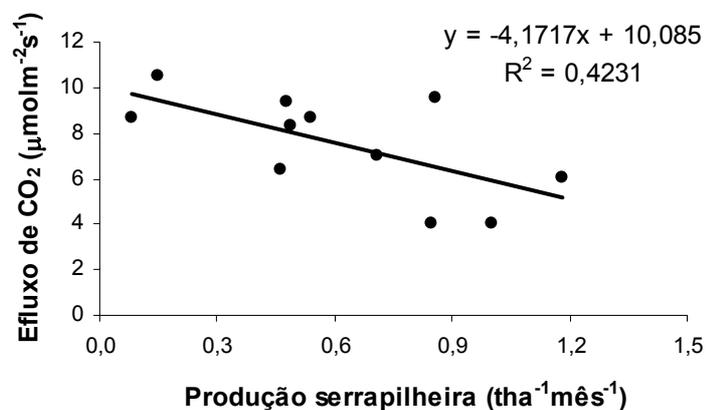


Figura 4.22. Regressão entre efluxo de CO₂ do solo e produção de serrapilheira

Outra possibilidade que deve ser considerada é que pode ter ocorrido um atraso entre a decomposição da serrapilheira (processos biológico e químico) e efluxo de CO₂ do solo (processo físico), devido ao tempo correspondente ao processo de decomposição.

4.5. MODELOS QUE ESTIMAM O CÁLCULO DE EFLUXO DE CO₂

A variação de efluxo de CO₂ do solo não é explicada somente por uma variável, portanto alguns estudos procuraram relacionar em uma equação mais de uma variável para estimar o cálculo do efluxo de CO₂. Alguns autores obtiveram melhores respostas relacionando conjuntamente a temperatura e umidade do solo com o efluxo de CO₂, determinando em seus estudos equações para estimativa do efluxo de CO₂ (BUNNELL et al., 1977; LLOYD & TAYLOR, 1994 e VOURLITIS et al., 2000).

Empregou-se neste trabalho o modelo de BUNNELL et al (1977) mostrado na equação 2.12 (capítulo 2) por ser, como já explicado anteriormente, aplicável a diversos ecossistemas, se adaptando muito bem a florestas.

Na seção 4.2.2. foram apresentadas as figuras que representaram a relação entre o efluxo de CO₂ e a temperatura do solo, as equações obtidas, seus respectivos coeficientes de determinação, assim como o Q10 (tabela 4.4). Essas equações, portanto, consideraram apenas a temperatura influenciando no efluxo de CO₂ do solo. Considerando conjuntamente a temperatura do solo medida em cada ponto e a umidade do solo medida adjacente à torre, e utilizando o modelo de BUNNELL et al. (1977) para os mesmos pontos analisados naquela seção obtivemos os valores de Q10 e os coeficientes de determinação mostrados na tabela 4.8.

Tabela 4.8. Coeficiente de determinação e Q10 obtidos pela equação de Bunnell para os pontos de coleta analisados.

Pontos	Coeficiente de determinação (R ²)	Q10
1	0,50	5,84
2	0,69	13,50
6	0,36	10,46
9	0,78	3,65
10	0,33	4,32
13	0,56	3,25
16	0,71	29,74
17	0,35	12,98
18	0,43	9,94

Comparando-se os valores obtidos a partir da equação de BUNNELL et al. (1977), que levou em conta a temperatura do solo medida em cada ponto analisado, e a umidade do solo, medida adjacente à torre micrometeorológica para todos os pontos, vemos que o ponto 9 teve o melhor coeficiente de determinação e um valor de Q10 igual a 3,65 (tabela 4.8), que diminuiu consideravelmente em relação ao Q10 igual a 13,45 (tabela 4.4), quando a temperatura era a única variável considerada na influência do efluxo de CO₂ do solo.

Notou-se também que para praticamente todos os pontos analisados, quando se usa um modelo que analisa o efluxo de CO₂ dependente da temperatura e umidade do solo, como é o de BUNNELL et al. (1977), e mesmo que a umidade não tenha

vido medida para cada ponto como foi feito com a temperatura do solo, obtêm-se um valor de Q10 menor do que quando usamos equações que avaliam a variação do efluxo de CO₂ apenas com a temperatura do solo.

Foi estimado também através do modelo de BUNNELL et al. (1977) os valores médios mensais de efluxo de CO₂ de todos os pontos a partir dos valores médios da temperatura do solo de todos os pontos e da média da umidade do solo medida adjacente à torre micrometeorológica (tabela 4.9), assim como o Q10 e o coeficiente de determinação. Na figura 4.23 estão apresentadas a curva da média mensal do efluxo de CO₂ do solo medidos, e a curva do efluxo de CO₂ do solo estimado pelo modelo de BUNNELL et al (1977).

Tabela 4.9. Efluxo de CO₂ do solo medido e calculado pelo modelo de Bunnell.

Data	Efluxo de CO ₂ medido ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Efluxo de CO ₂ calculado ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
14-02-03	9,54	7,87
15-03-03	8,67	8,30
11-04-03	9,34	8,88
09-05-03	8,70	7,40
11-06-03	6,42	5,38
04-07-03	4,07	4,05
25-08-03	4,01	6,21
23-09-03	6,02	7,74
29-11-03	6,98	8,60
13-12-03	10,51	9,37
13-01-04	8,30	8,99
22-02-04	7,38	8,62

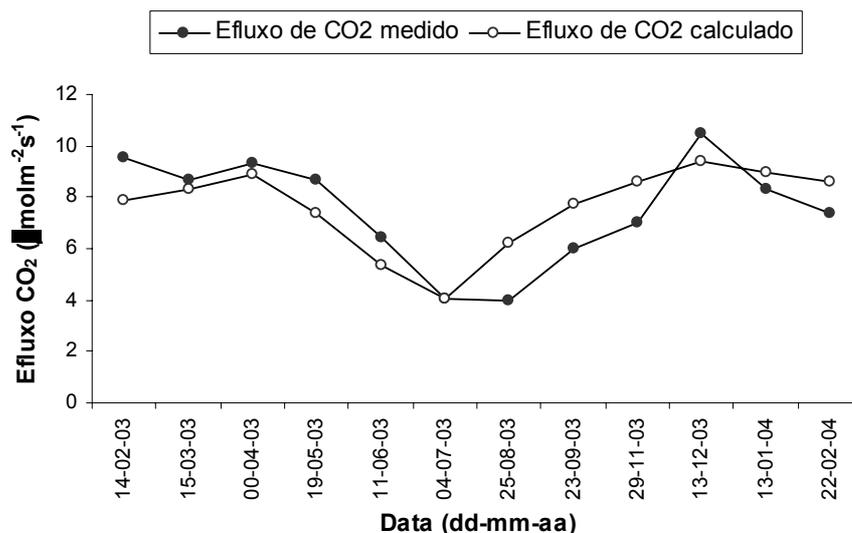


Figura 4.23. Variação temporal do efluxo de CO₂ no solo medido e calculado pelo modelo de Bunnell.

A figura 4.23 mostra que os valores das médias mensais do efluxo de CO₂ estimados pelo modelo de BUNNELL et al.(1977) seguem a mesma tendência dos valores de efluxo de CO₂ medidos. O coeficiente de determinação (R^2) para as médias mensais usando este modelo foi igual 0,6 e o Q10 igual a 5,32.

Através deste modelo e dos resultados obtidos pelo mesmo, vemos que as nossas medidas, apesar das mudanças de metodologias, como a mudança da posição do TDR para medir a umidade do solo, mudança do aparelho de medida do efluxo de CO₂ do solo, e de não termos dados de umidade para cada ponto possibilitaram verificar para esta floresta de transição como se comporta o efluxo de CO₂ do solo com a temperatura e umidade do solo, porém ainda é necessário que se faça mais estudos no local para termos idéias mais conclusivas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir da análise dos resultados obtidos, fez-se as seguintes considerações:

- Houve uma variação sazonal do efluxo de CO₂ do solo no decorrer de fevereiro de 2003 a fevereiro de 2004,
- As equações exponenciais representaram melhor a relação entre o efluxo de CO₂ e a temperatura do solo,
- Nas condições estudadas a umidade do solo foi o fator que mais influenciou o efluxo de CO₂ do solo,
- Houve uma correlação entre efluxo de CO₂ do solo e a produção de serrapilheira que indicou possivelmente um atraso entre o tempo de decomposição da matéria orgânica (processo biológico e químico), e a difusão de CO₂ para a atmosfera (processo físico).
- Os valores de Q10 calculados através de equação que relaciona o efluxo de CO₂ do solo apenas com a temperatura foram elevados, se comparados com valores encontrados em outros estudos para a região de floresta Amazônica.
- Os valores de Q10 calculados através do modelo de Bunnell que relaciona o efluxo de CO₂ do solo com a temperatura e umidade do solo são menores do que os valores obtidos quando se considera o efluxo de CO₂ do solo dependente apenas da temperatura do solo,
- Não é possível concluir para esta região qual é o seu valor de Q10, já que ainda não se tinha outros estudos de medidas de efluxo de CO₂ do solo e nem de Q10 para esta floresta de transição no local estudado.
- O efluxo de CO₂ do solo foi melhor estimado quando se usou a equação de Bunnell que adota conjuntamente a temperatura e a umidade do solo.

A partir dessas considerações finais sugere-se:

- Fazer coleta de solo para a determinação de umidade em cada ponto onde é medido o efluxo de CO₂ e temperatura do solo,
- Estudar a decomposição da serrapilheira no local de modo a buscar sua relação com o efluxo de CO₂ do solo,
- Estudar a respiração das raízes, já que esta contribui consideravelmente para o efluxo de CO₂,
- Utilizar metodologias de medidas de efluxo de CO₂ sem interrupções, numa escala temporal mais curta (dias, meses) para que se possa, através de comparações com os dados de fluxo de CO₂ da torre micrometeorológica, estimar as contribuições dos componentes do ciclo do carbono da região.
- Determinar um Q10 para esta floresta de transição usando-se as mesmas metodologias e modelos de equações que já foram usadas em outros estudos na Floresta Amazônica, para que se possa comparar com valores obtidos.
- Elaborar uma equação que represente a relação do efluxo de CO₂ do solo com a temperatura, umidade do solo, e outras variáveis que puderem ser investigadas para esta floresta de transição.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ADUAN, R. E. **Respiração de solos e ciclagem de carbono em cerrado nativo e pastagem no Brasil Central**. 2003. 149f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

BARLOW, J.; PERES, C. A. Fogo rasteiro - nova ameaça na Amazônia. **Ciência Hoje**. v. 34, n.199, p.24-29, 2003.

BEKKU, Y. S.; NAKATSUBO T.; KUME, A.; ADACHI, M.; KOIZUMI, H. Effect of warming on the temperature dependence of soil respiration rate in artic, temperature and tropical soils. **Applied Soil Ecology**. v.22 , p.205-210, 2003.

BRANCO, S. M. **Energia e Meio Ambiente** (Coleção Polêmica). 12^a ed. São Paulo, SP. Editora Moderna. 1995, 96p.

BUNNELL, F. L., TAIT, D. E. N.; FLANAGAN, P. W.; VAN CLEVE, K. Microbial respiration and substrate weight loss- I. A general model of the influences of abiotic variables. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 9: p.33-40. 1977.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística** (princípios e aplicações). São Paulo-SP. Artmed Editora. 2003. 255p.

CAPOZOLLI, U. Floresta ameniza o aquecimento da Terra. **Scientific American Brasil**. Ano 1, n.6, p.32-35, 2002.

CARPANEZZI, A. A. **Deposição de material orgânico e nutrientes em uma floresta natural e em uma plantação de *Eucaliptus* no interior do estado de São Paulo**. 1980. Dissertação de mestrado. USP, Piracicaba. 1980.

CECCON, E.; MIRAMONTES, O. Mecanismos y actores sociales de la deforestación en la Amazonia brasileña. **Interciência**. México, v.24, n.2, p.112-119, mar -abr. 1999.

CERRI, C. E. P.; COLEMAN, K.; JENKINSON, D. S.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R.; CERRI, C. C. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. **Soil Science Society of America**. v.67, p.1879-1887, nov-dec. 2003.

COSTA, 1985. In LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Freitas Bastos Editora, 2001. 182p.

COÛTEAUX, M. M.; BOTTNER, P.; BERG, B. Litter decomposition, climate and litter quality. **Tree**.v. 10 (2), p. 63-66. 1995.

COUTINHO, L. M. O cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje**. v.12. n.68. p.22-30. 1990 .

CURTIS, H. **Biologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Editora Guanabara, 1977. 964p.

DAVIDSON, E. A.; SAVAGE, K.; VERCHOT, L. V.; NAVARRO, R. Mimimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.113, p.21-37, 2002.

DAVIDSON, E. A.; TRUMBORE, S.; AMUDSON, R. Soil warming and carbon content. **Nature**. n.408, p.789-790, 2000.

DREWITT, G. B.; BLACK, T. A.; NESIC, Z.; HUMPHREYS, E. R.; JORK, E. M.; SWANSON, R.; ETHIER, G. J.; GRIFFIS, T.; MORGENSTERN, K. Measuring forest floor CO₂ fluxes in a Douglas-fir forest. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.110, p.299-317, 2002.

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

FASSBENDER, H.C.M. **Modelos edafológicos de sistemas agroforestales**. 2ª edição. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de de Investigación y Enseñanza. 491p. 1993. In TOLEDO, L.O. de. **Aporte de Serrapilheira, Fauna Edáfica e Taxa de Decomposição em Áreas de Floresta Secundária no Município de Pinheiral, RJ**. 2003. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

FERNANDES, S. A. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C. Seasonal variation of soil chemical properties and CO₂ and CH₄ fluxes in unfertilized and P-fertilized pastures in an Ultisol of Brazilian Amazon. **Geoderma**. v.107, p.227-241, 2002.

HENEGHAN, L.; COLEMAN, D. C.; ZOU, X.; CROSSLEY JR, D. A.; HAINES, B. L. Soil microarthropod community structure and litter decomposition dynamics: A study of tropical and temperate sites. **Applied Soil Ecology**. n. 9, p.33-38, 1998.

IBGE, 1997. In LENTINI, M; VERÍSSIMO, A; SOBRAL, L. **Fatos Florestais da Amazônia 2003**. Belém. Imazon. 2003. 110p.

INPE, 2001. In LENTINI, M; VERÍSSIMO, A; SOBRAL, L. **Fatos Florestais da Amazônia 2003**. Belém. Imazon. 2003. 110p.

INPE, 2002. In LENTINI, M; VERÍSSIMO, A; SOBRAL, L. **Fatos Florestais da Amazônia 2003**. Belém. Imazon. 2003. 110p.

INPE, 2003. In LENTINI, M; VERÍSSIMO, A; SOBRAL, L. **Fatos Florestais da Amazônia 2003**. Belém. Imazon. 2003. 110p.

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

JANSSENS, I. A.; PILEGAARD, K. Large seasonal changes in Q10 of soil respiration in a beech forest. **Global Change Biology**. v.9, p.911-918, 2003.

KANG, S.; SUEYOUNG, D.; LEE, D.; LEE, D.; JIN, V. L.; KIMBALL, J. S. Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperature mixed-hardwood forest slopes, Korea. **Global Change Biology**. v.9, p.1427-1437, 2003.

KÖNIG, F. G; BRUN, E. J.; SCHUMACHER, M. V.; LONGHI, S. J. Devolução de nutrientes via serrapilheira em um fragmento de floresta de Santa Maria, RS. **Brasil Florestal**, n. 74, p.45-52, 2002.

KUCERA AND KIRKHAM (1971) In FANG, C.; MONCCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. **Soil Biology & Biochemistry**. v.33, p.155-165, 2001.

LA SCALA JR., N.; MARQUES JR., J.; PEREIRA, G. T.; CORA, J. E. Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO₂ emissions from a Brazilian bare soil. **Soil Biology & Biochemistry**. v.32, p.1459-1462, 2000.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, SP. Rima Editora. 2000, 531p.

LENTINI, M; VERÍSSIMO, A; SOBRAL, L. **Fatos Florestais da Amazônia 2003**. Belém. Imazon. 2003. 110p.

LLOYD, J.; TAYLOR, J. A. On the temperature dependence of soil respiration. **Functional Ecology**. v.8, p.315-323, jun. 1994.

LUCHESE, E. B; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Freitas Bastos Editora, 2001. 182p.

LUO, Y.; WAN, S.; HUI, D.; WALLACE, L. L. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie. **Nature**. v.413, p.622-625, oct. 2001.

MALHI, Y., NOBRE, A. D., GRACE, J., KRUIJT, B., PEREIRA, M. G. P., CULF, A., SCOTT, S. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain Forest. **Jornal of Geophysical Research.- Atmospheres** v.103. p.31593-31612. 1998.

MEIER, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A.; LLOYD, J. Soil respiration in Amazônia and in cerrado in central Brazil. **Amazonian Deforestation and Climate**. eds. J. C. H. Gash, C. A. Nobre, J. M. Roberts and R. Victória. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 1996. p. 319-330.

MOLION, L. C. (2002). In CAPOZOLLI, U. Floresta ameniza o aquecimento da Terra. **Scientific American Brasil**. Ano 1, n.6, p.32-35, 2002.

MOTA, F. S. **Meteorologia Agrícola**. 7ª ed. São Paulo, SP. Livraria Nobel S. A., 1989. 376p.

NOBRE, C. A. Amazônia e o carbono atmosférico. **Scientific American Brasil**. Ano 1, n.6, p.37-39, 2002.

NOBRE, C. A.; GASH, J. Desmatamento muda o clima da Amazônia. **Ciência Hoje**. v.22, n.128, p.33-41, 1997.

NUNES, P. C. Influência do efluxo de CO₂ do solo na produção de forragem numa pastagem extensiva e num sistema agrosilvopastoril. MT. 2003. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agricultura Tropical;) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá , 2003.

O'CONNEL (1990). In FANG, C.; MONCCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. **Soil Biology & Biochemistry**. v.33, p.155-165, 2001.

ODUM, E. P. **Ecologia**. 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Editora Guanabara. 1988. 434p.

PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S., NOGUEIRA, J. S. de; CAMPELO JR, J. H., NUNES, P. C.; SANCHES, L.; COUTO, E. G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J. L.; MIRANDA, E. J.; PRIANTE, P. C.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M.S.; FRITZEN, C. L.; LACERDA, M.; SULI, G. S.; SHIRAIWA, S.; SILVEIRA, M.; VOURLITIS, G. L. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon basin during the wet-dry season transition. **Global Change Biology**. v.10, p.863-876, 2004.

PRIETO, T. D.; VÁZQUEZ, G. M. M.; RODRÍGUEZ, A. C. Comunidades de la mesofauna edáfica en una selva inundable de la Reserva de la Biosfera de Sian Kaan, Quintana Roo, México. **Rev. Biol. Trop.** n.47, p.489-492. 1999. In XULUC-TOLOSA, F. J.; RAMÍREZ-MARCIAL, N.; CASTELLANOS-ALBORES, J.; LAWRENCE, D. Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases of tropical dry secondary Forest in campeche, México. **Forest Ecology and Management**. v.174, p.401-412. 2003.

PRITCHET, W. L. Properties and management of forest soils. New York, John Wiley 500p. 1979. In MORO, L. Utilização da “Cinza” de biomassa Florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. Piracicaba. Universidade de São Paulo. 53p. 1994.

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

RAICH, J.; EWEL, J.; OLIVEIRA, M. Soil-CO₂ efflux in simple and diverse ecosystems on a volcanic soil in Costa Rica. **Turrialba**. v.35, n.1, p.33-42, 1985.

RAICH, J.W.; POTTER, C.S.; BHAGAWATI, D. Interannual variability in global soil respiration. **Global Change Biology**. v.8, p.800-812, 2002.

REY, A.; PEGORARO, E.; TEDESCHI, V.; PARRI, I.; JARVIS, P. G.; VALENTINI, R. Annual variation in soil respiration and its components in a coppice oak Forest in Central Italy. **Global Change Biology**. v.8, p.851-866, 2002.

REZENDE, M. O. O. A importância da matéria orgânica do solo no ciclo do carbono. (parte I – O ciclo do carbono na natureza e a qualidade do solo do ponto de vista químico). Disponível em: www.unb.br/iq/enqamb/aimportanciadoC.pdf. Acesso em 08 abr. 2004.

SCHLENTNER AND VAN CLEVE (1985). In FANG, C.; MONCCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. **Soil Biology & Biochemistry**. v.33, p.155-165, 2001.

SCHNEIDER et al. In LENTINI, M; VERÍSSIMO, A; SOBRAL, L. **Fatos Florestais da Amazônia 2003**. Belém. Imazon. 2003. 110p.

SCHUMACHER, P. R. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de Eucalyptus camaldulensis Dehnh, Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus torelliana F. Muell.** 1992. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP. Piracicaba. In KÖNIG, F. G.; BRUN, E. J.; SCHUMACHER, M. V.; LONGHI, S. J. Devolução de nutrientes via serrapilheira em um fragmento de floresta estacional decidual no município de Santa Maria, RS. **Brasil Florestal**. n.74, p.45-52, 2002.

SCOTT-DENTON, L. E.; SPARKS, K. L.; MONSON, R. K. Spatial and temporal controls of respiration rate in a high-elevation, subalpine forest. **Soil Biology & Biochemistry**. n.35, p.525-534, 2003.

SHROEDER, P.; WINJUM, J. K. Brazil's carbon budget for 1990. **Interciência**. v.20(2), p.68-75, 1995.

SOTTA, E. D.; MEIER, P.; MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; HODNETT, M.; GRACE, J. Soil CO₂ efflux in a tropical forest in central Amazon. **Global Change Biology** v.10, p.601-617, 2004.

SOUZA, J. R. S.; PINHEIRO, F. M. A.; ARAUJO, R. L. C.; PINHEIRO Jr., H. S.; HODNETT, M. G. Temperature and moisture profiles in soil beneath Forest and pasture areas in eastern Amazonian. **Amazonian Deforestation and Climate**. eds. J. C. H. Gash, C. A. Nobre, J. M. Roberts and R. Victória. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 1996. p. 125-137.

SOUZA, J. S.; LUIZÃO, R. C. C.; LUIZÃO, F. J. Fluxo de CO₂ do solo em gradiente topográfico durante a estação chuvosa na Amazônia central. In: VI CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2003, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza-CE, 2003. p.651-653.

STEVERSON, F. J. Humus chemistry – genesis, composition reactions. New York. John Wiley & Sons.1982. 443 p. In TOLEDO, L.O. de. **Aporte de Serrapilheira, Fauna Edáfica e Taxa de Decomposição em Áreas de Floresta Secundária no Município de Pinheiral, RJ**. 2003. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

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

TANG, J.; BALDOCCHI, D. D.; QI, Y.; XU, L. Assessing soil CO₂ efflux using continuous measurements of CO₂ profiles in soils with small solid-state sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.118, p.207-220, 2003.

TOLEDO, L. O. de. **Aporte de serrapilheira, fauna edáfica e taxa de decomposição em áreas de floresta secundária no município de Pinheiral, RJ**. 2003. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

TOLEDO, L. O. de. **Influência da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes e na fauna edáfica em áreas de floresta secundária no município de Pinheiral – RJ**. 2000. 50p. Monografia submetida como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Florestal. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ. 2000. In TOLEDO, L.O. de. **Aporte de Serrapilheira, Fauna Edáfica e Taxa de Decomposição em Áreas de Floresta Secundária no Município de Pinheiral, RJ**. 2003. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

UNESCO, 1978. **Tropical Forest Ecosystems: Natural resources research XIV**. Paris, 63p. In Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais. Haag, H. P. Fundação Cargill, Campinas –SP.1985, 144p.

VANHALA, P. Seasonal variation in the soil respiration rate in coniferous forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**. v.34, p.1375-1379, 2002.

VOURLITIS G.L.; OECHEL, W. C.; HOPE, A., STOW, D.; BOYNTON, B.; VERFAILLIE Jr., J.; ZULUETA, R.; HASTINGS, S. J . Physiological models for scaling plot-measurements of CO₂ flux across an arctic tundra landscape. **Ecological Applications**, v.10, p.60-72, 2000.

VOURLITIS, G.L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; CASEIRO, F.; CAMPELO JR., J. H. Seasonal variations in evapotranspiration of a transitional tropical Forest of Mato Grosso, Brazil. **Water Resources Research**.v.38, n.6, p.30-1 - 30-11, 2002.

VOURLITIS, G.L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; CASEIRO, F.; CAMPELO Jr., J. H. Seasonal variations in net ecosystem CO₂ exchange of a mature Amazonian transitional tropical Forest (cerradão). **Functional Ecology**. V.15, p.388-395, 2001.

WIEDER, R. K.; WRIGHT, S. J. Tropical forest litter dynamics and dry season irrigation on barro Colorado island, Panamá. **Ecology**. v.76, n.6, p.1971-1979, 1995.

XU, M. ; QI, Y. Spatial and seasonal variations of Q₁₀ determined by soil respiration measurements at a Sierra Nevadan forest. **Global Biogeochemical Cycles**. v.12, n.3, p.687-696, September 2001.

XU, X. N; HIRATA, E. Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchuensis* plantations with and without broad-leaved trees. **Forest Ecology and Management**. v. 157, p.165-173. 2002.

YUSTE, J. C.; JANSSENS, I.A.; CARRARA, A.; CEULEMANS, R. Annual Q₁₀ of soil respirations reflects plant phenological patterns as well as temperature sensitivity. **Global Change Biology**.v.10, p.161-169, 2004.

ZANCHI, F .B.; ROCHA, H. R.; KRUIJT, B.; CARDOSO, F. L.; DEUS, J. A.; AGUIAR, L. J. G. Medição do efluxo de CO₂ do solo: monitoramento com câmaras automáticas sobre floresta e pastagem em Rondônia. In: VI CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2003, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza-CE, 2003. p.631-632.

ZIMMERMANN, S.; BRAUN, S.; CONEDERA, M.; BLASER, P. Macronutrient inputs by litterfall as opposed to atmospheric depotion into two contrasting chestnut

forest stands in southern Switzerland. **Forest Ecology and Management**. n.161, p.289-302. 2002.

6.2. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

LEVINE, D. M; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. **Estatística: Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro-RJ. LTC editora.2000.811p.

MASON, C. F. **Decomposição.Coleção Temas de Biologia**. v18.São Paulo- SP. E.P.U. EDUSP.1980. 63p.

7.ANEXOS