



Universidade Federal do Pará

Centro de Geociências

Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DA CHUVA
E DE THROUGHFALL E FLUXOS DE GASES TRAÇO EM FLORESTA DE
TERRA FIRME NA FLONA TAPAJÓS, BELTERRA-PARÁ.**

TESE APRESENTADA POR

RAIMUNDO COSME DE OLIVEIRA JUNIOR

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: **29 / 06 / 2006**

Comitê de Tese

JOSÉ FRANCISCO DA FONSECA RAMOS (Orientador)

MICHAEL KELLER

CLÁUDIO JOSÉ REIS DE CARVALHO

PLÍNIO BARBOSA DE CAMARGO

WATERLOO NAPOLEÃO DE LIMA

Belém

**QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DA CHUVA E DE
THROUGHFALL E FLUXOS DE GASES TRAÇO EM FLORESTA DE TERRA FIRME
NA FLONA TAPAJÓS, BELTERRA-PARÁ**

FOLHA DE ROSTO

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

Oliveira Junior, Raimundo Cosme

Quantificação e caracterização química da água da chuva e throughfall e fluxos de gases traço em floresta de terra firme na FLONA Tapajós, Belterra - Pará /
Raimundo Cosme Oliveira Junior; Orientador, José Francisco Fonseca Ramos. – 2006

143f. : il

Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) –
Universidade Federal do Pará, CG, Curso de Pós-Graduação
em Geologia e Geoquímica, Belém, 2006.

1.Gases Traço 2.Ciclagem de Nutrientes 3.FLONA
Tapajós 4.Gás Carbônico 5.Metano 6.Óxido Nitroso
I.Borges, Maurício da Silva, Orient. II. Título.

CDD 20. ed.: 551.5112098115

FOLHA DE APROVACAO

DEDICATORIA

A meus pais, que me deram a oportunidade de estar aqui; a minha esposa e meus filhos, que souberam valorizar minhas ausências, com a certeza de estarem colaborando e ajudando no meu aprimoramento profissional e, também, pelo incentivo em adentrar ao programa de pós-graduação. Finalmente, ao Papai do Céu, que nos dá a força espiritual necessária para enfrentar as delicadezas das relações humanas, os imprevistos diários entre os afazeres profissionais e pessoais, dedico.

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que ajudaram a montar, instalar e coletar as informações necessárias ao bom andamento deste projeto, especialmente, Kemeson Oliveira, Cleuton Pereira, Joelma Dezencourt e Francisco Alves. A José Francisco Ramos, meu orientador oficial, pelo companheirismo e pelas palavras de incentivo durante o curso. A Michael Keller, orientador de todas as horas, crítico de todas as minhas sentenças, porém, nunca esquecendo a amizade e o companheirismo, além de financiador destes estudos, através do projeto LBAECO TG-07 (**Biogeoquímica do Carbono no Solo, Nutrientes e Gases Traços na Amazônia Brasileira: Campanhas de Campo e Modelos e Condições Naturais e Gerenciadas**).^{*} apoiado pela NASA.

RESUMO

A Floresta Nacional do Tapajós, FLONA Tapajós, com 600.000 ha de floresta protegida, é situada a 50 quilômetros ao sul de Santarém, Pará, Brasil. Os solos são altamente intemperizados e profundos, bem drenados, caoliníticos, classificados como Latossolo Amarelo e, pela classificação americana, como Oxisol (Haplustox), com pH ácido (4,5) e livre de duripans e concreções lateríticas. Em um ecossistema como a floresta tropical úmida, nutrientes estão sendo ciclados. Esta ciclagem de nutrientes envolve entradas para o sistema vindo da atmosfera e do intemperismo das rochas e minerais presentes no solo, saído através da água de drenagem e a circulação interna dentro do sistema. Esta circulação interna envolve a transferência de nutrientes da vegetação para o solo através da lavagem (throughfall e escorrimento pelo tronco), onde não intervem organismos decompositores. Concentrações dos íons Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} foram analisados através cromatografia líquida utilizando cromatógrafo Dionex DX-120. Para os gases, tubos de aço inoxidável foram instalados nas paredes laterais de três perfis escavados no campo, nas profundidades de 5, 15, 30, 50, 100 e 200 centímetros. As concentrações de N_2O e CO_2 foram analisadas através de cromatografia gasosa usando o método de ECD (electron capture detector), enquanto as concentrações do CH_4 foram medidas através de FID (flame injection detector). Os cromatógrafos foram calibrados com 3 níveis padrões de ar sintético. Como principais conclusões, apresentamos: a estação exerce forte influencia na concentração dos cátions básicos; throughfall é um dos mais importantes caminhos para a entrada de nutrientes na Flona Tapajós; há um aporte significativo de macronutrientes mais cloro e sódio, principalmente, oriundos da agricultura intensiva de grãos; houve maior volume de precipitação do que a média dos últimos vinte anos; a deposição seca é o mais importante processo de enriquecimento da água que alcança o solo da floresta; a duração do período seco antecedente é fator dominante no fluxo de nutrientes na Flona Tapajós; dentro do período seco ocorrem as maiores variações entre os íons analisados; processos de convecção que acumulam os nutrientes sobre a Flona, em virtude da brisa do rio Tapajós, favorecem o aumento nos teores dos elementos estudados; a análise dos componentes principais facilita a interpretação da caracterização da água de precipitação, mostrando, neste estudo, a influencia de fontes antropogênicas (agricultura, queima da biomassa e poeira); o processo de nitrificação exerce um papel fundamental na química da água da chuva, devendo ser mais bem estudada. Quanto aos gases estudados, verificaram-se fluxos, até a profundidade de 15cm, durante os períodos secos, menores do que os fluxos no período úmido, dentro dessas profundidades; nas outras profundidades os fluxos no período seco são sempre maiores do que no período úmido, demonstrando que a umidade, nas profundidades maiores do que 15cm é suficiente para promover a produção e emissão de gases, não restringindo a difusão interna do mesmo. Houve sensível variação sazonal entre os fluxos de óxido nitroso e gás carbônico, com mais baixos fluxos no período seco; Os fluxos, em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, apontaram 182,102, 22,97 e 14,08, respectivamente, para gás carbônico, óxido nitroso e metano; Há elevada variação sazonal na umidade do solo, entre o período seco e úmido; O solo apresenta déficit de água disponível durante o período seco, considerando-se a profundidade de 0-100cm. Na camada de 100-200cm, não foi observado déficit; Há significativa correlação entre a umidade do solo e o fluxo de óxido nitroso; Não evidente variação na temperatura do solo ao longo das

profundidades estudadas; Não há nítida variação sazonal na temperatura do solo, durante o período úmido e seco; Material orgânico degradável e nitrogênio são, juntamente com a umidade e a temperatura do solo, importantes fatores para a produção e emissão de óxido nitroso e gás carbônico.

Palavra-Chave: Gases Traço. Amazonia. Flona Tapajós. Ciclagem de Nutrientes. Gas Carbonico. Metano. Oxido nitroso.

ABSTRACT

The Tapajós National Forest, FLONA Tapajós, with 600.000 ha of protected forest is located at the km 50 south of Santarém, Pará, Brazil. Soils are highly weathered and deep, well drained, kaolinitic, classified as Yellow Latosol and according to north American classification as Oxisol (Haplustox), with a acidic pH (4.5) and free of duripans and lateritic concretions. In a ecosystem like a humid tropical forest, nutrients are being cycled. This cycling involves inputs from atmosphere and from the weathering of rocks and minerals present in the soil, with output through drainage water and internal circulation of the system. This circulation involves the transfer of nutrients from vegetation to the soil through the washing (throughfall and runoff on the bole), where there is no intervention by decomposers. Concentrations of ions Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{+2} and Ca^{+2} were analyzed by liquid chromatography using a Dionex DX - 120. For gas sampling, stainless steel tubings were installed on the lateral walls of three profiles dig on the ground at the following depths of 5, 15, 30, 50, 100 and 200 centimeters. The concentrations of N_2O and CO_2 were analyzed by gas chromatography using electron capture detector (ECD), whereas CH_4 concentrations were measured using a flame ionization detector (FID). The chromatographs were calibrated using 3 different levels of synthetic air standards. As results, we observed: The station has strong influence on the basic cation concentration; throughfall is one of the most important ways for nutrient inputs at the FLONA Tapajós; there is a significant arrival of macronutrients together with Chlorine and sodium coming from the intensive grain agriculture. We observed the greatest volume of precipitation over the last 20 years. Dry deposition is the most important process of water enrichment that reaches the forest soil. The duration of the previous dry period is predominant to determine the input of nutrients into the Tapajós National forest. Within the dry period occur the greatest variations among the ions analyzed. Convection processes that accumulate the nutrients over the FLONA area, due to the breeze of the Tapajós river, favor the increase in the amount of the studied elements; the analyzes of the main components facilitate the interpretation of water characterization from precipitation, showing in this study, the influence of anthropogenic sources (agriculture, biomass burning) and dust; The process of nitrification plays a major role on chemistry of water from precipitation and should be more studied. About the studied gases, we verified fluxes at a 15 cm depth during the dry period lower than the fluxes observed during the wet period at the same depth. For the other depths, the fluxes during the dry period are always greater than the fluxes during wet period, showing that moisture at depths deeper than 15 cm is enough to promote the production and emission of those gases, not constraining the soil diffusion. We observed sensible seasonal variation among the fluxes of N_2O and CO_2 , with the lowest rates taking place during the dry period. The fluxes, in $\text{kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, showed 182.1, 22.97 and 14.08 for CO_2 , N_2O , and CH_4 , respectively. Strong seasonal variation was observed for soil water content between dry and wet seasons. The soil shows a deficit for available water during dry period when we consider the depth down to 100 cm. At the 100 cm layer down to 200 cm, there was observed no deficit. There was significant correlation between soil water content and N_2O flux. No evident variation in soil temperature along the various depths studied. There was no clear seasonal variation in soil temperature between dry and wet periods. Degradable organic material

and nitrogen are, together with moisture and soil temperature major factors determining the production and emission of N_2O and CO_2 .

Key word: Trace Gas. Amazonia. Nutrient Cycling. Flona Tapajós. Carbon Dioxide. Methane. Nitrous oxide.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Média, desvio padrão e erro padrão da média dos valores semanais da precipitação e throughfall, durante todo o período de estudo (104 semanas), na Flona Tapajós.....	31
Figura 2.	Média, desvio padrão e erro padrão da média, da precipitação, durante o período úmido (1) e seco (2), na Flona Tapajós, durante 104 semanas.	32
Figura 3.	Média, desvio padrão e erro padrão da média, do throughfall, durante o período úmido (1) e seco (2), na Flona Tapajós, durante 104 semanas.	32
Figura 4.	Variação mensal do volume de precipitação e throughfall na Flona Tapajós, durante o período de estudo (2004-2005).	33
Figura 5.	Equação de regressão entre precipitação e throughfall na Flona Tapajós.	34
Figura 6.	Comparação entre a precipitação medida no km 67, durante 2004 e 2005, e a média dos últimos 20 anos na cidade de Belterra-PA.	35
Figura 7.	Variação mensal da CE em precipitação e throughfall, na Flona Tapajós.	35
Figura 8.	Correlação entre pH (precipitação) e concentração de nitrato+sulfato, na Flona Tapajós. ..	53
Figura 9.	Percentual de íons medidos na Flona Tapajós, em precipitação e throughfall, durante o período de estudo.	58
Figura 10.	Valores de 15N foliar (média e erro padrão) das espécies leguminosas e não leguminosas em seis locais do Brasil. (Nardotto, 2005)	58
Figura 11.	Preparo de área para plantio, com aplicação de corretivos (A) e, no plantio, fertilizante (B).	70
Figura 12.	Focos de calor, no Estado do Pará, durante o período úmido (A) e seco (B).	71
Figura 13.	Concentração de particulado (Pm>25) em 10/08/2005.	73
Figura 14.	Pressão exercida pelo rio Tapajós, impedindo a passagem de nuvens sobre o mesmo.	76
Figura 15.	Épocas de aplicação de corretivos e fertilizantes e os respectivos fluxos mensais na Flona Tapajós.	79
Figura 16.	Tubos de aço inox para coleta de gás, em profundidade, recém instalados. Observe as torneiras de nylon na ponta dos tubos.	83
Figura 17.	Cromatógrafos gasosos prontos para análise.	83
Figura 18.	Sensores de umidade (FDR) instalados nas profundidades em um dos perfis na Flona Tapajós.	84
Figura 19.	Vista parcial dos sensores de temperatura (termopar), instalados ao lado dos tubos de coleta de gases, na Flona Tapajós.	86
Figura 20.	Variação mensal (média de 4 anos) da umidade do solo ($m^3.m^{-3}$), em seis profundidades, na Flona Tapajós.	91
Figura 21.	Umidade volumétrica do solo ($m^3.m^{-3}$), em seis profundidades, durante o período úmido e o período seco, na Flona Tapajós (barras são erro padrão, considerando n=48 semanas). ..	91

Figura 22.	Umidade do solo média ($m^3.m^{-3}$), em seis profundidades, e os valores da capacidade de campo para Latossolo Amarelo muito argiloso na Flona Tapajós.....	92
Figura 23.	Variação horária da umidade do solo, em seis profundidades, na Flona Tapajós.....	95
Figura 24.	Água disponível no solo, em duas profundidades, na Flona Tapajós. Observe variação temporal entre as duas profundidades.	96
Figura 25.	Variação horária da temperatura do solo, em seis profundidades, durante o mês mais quente e o mês mais frio, na Flona Tapajós.....	97
Figura 26.	Temperatura do solo média mensal (3anos), em seis profundidades, durante o horário de coleta de gases (A) e a variação mensal (B), na Flona Tapajós.....	98
Figura 27.	Variação da temperatura do solo entre o mês mais quente e o mês mais frio (média de três anos), na Flona Tapajós. Médias mensais, com erro padrão considerando $n=3$ anos.....	99
Figura 28.	Concentração dos gases estudados, em três perfis (profundidade de 5cm), durante o período de estudo, na Flona Tapajós. Eixo X reflete semanas de amostragem com 4 repetições cada uma.....	101
Figura 29.	Concentração de óxido nitroso (N_2O), em três perfis, nas profundidades estudadas. Altíssimos picos no perfil 03, em virtude da queda de duas árvores no decorrer das coletas, na Flona Tapajós	102
Figura 30.	Concentração de gás carbônico, em três perfis, no período seco, no período úmido e média anual, na Flona Tapajós.....	103
Figura 31.	Concentração de metano, em três perfis, no período seco, no período úmido e média anual, na Flona Tapajós.....	104
Figura 32.	Distribuição de frequência do óxido nitroso, no período úmido e no período seco, com indicação do percentual acima da concentração na atmosfera, na profundidade 5cm.	105
Figura 33.	Distribuição de frequência do gás carbônico, no período úmido e no período seco, com indicação do percentual acima da concentração na atmosfera, na profundidade de 5cm.	106
Figura 34.	Distribuição de frequência do metano, no período úmido e no período seco, com indicação do percentual acima da concentração na atmosfera, na profundidade de 5cm.....	107
Figura 35.	Correlação exponencial entre umidade do solo (WFPS) e o fluxo de CO_2 considerando-se todas as profundidades.....	111
Figura 36.	Correlação exponencial entre umidade do solo (WFPS) e o fluxo de N_2O , considerando-se todas as profundidades estudadas.....	111
Figura 37.	Correlação polinomial entre umidade do solo (WFPS) e o fluxo de CH_4 , considerando-se todas as profundidades estudadas.....	112
Figura 38.	Fluxo de óxido nitroso e umidade do solo, em seis profundidades, na Flona Tapajós.	113
Figura 39.	Variação semanal do fluxo de metano e da umidade do solo, em seis profundidades, na Flona Tapajós.	118
Figura 40.	Variação semanal do fluxo de CO_2 e da umidade do solo, em seis profundidades, na Flona Tapajós.	122

Figura 41.	Correlação entre o fluxo de CO_2 e o de N_2O , durante o período úmido período seco, considerando-se os dados de todas as profundidades.	123
------------	--	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Estatística descritiva do volume de precipitação e throughfall durante o período de estudo.	32
Tabela 2.	Valores de pH em precipitação e em throughfall na Flona Tapajós, durante o período de estudo.	36
Tabela 3.	Concentração dos elementos, em precipitação, estudados na Flona Tapajós, durante o período de estudo. (continua)	37
Tabela 3.	Concentração dos elementos, em precipitação, estudados na Flona Tapajós, durante o período de estudo. (conclusão)	38
Tabela 4.	Fluxos de nutrientes na Flona Tapajós. (continua)	41
Tabela 4.	Fluxos de nutrientes na Flona Tapajós. (conclusão)	42
Tabela 5.	Fluxo de deposição seca, fator de enriquecimento e throughfall líquido dos nutrientes na Flona Tapajós.	43
Tabela 6.	Fluxo líquido na Flona Tapajós, durante todo o período de estudo.	45
Tabela 7.	Teste t, entre o período seco e úmido, para concentração e fluxo de elementos na Flona Tapajós.	48
Tabela 8.	Coeficiente de variação (106 semanas) dos fluxos dos elementos estudados na Flona Tapajós.	49
Tabela 9.	Análise de componentes principais, com variância e comunalidade.	49
Tabela 10.	Matriz de correlação entre os elementos estudados na Flona Tapajós, em throughfall e precipitação (concentração e fluxo, respectivamente). Valores em vermelho são significantes a $p < 0,05$ ($n = 106$ semanas).	50
Tabela 11.	Valores de pH, em precipitação, em florestas tropicais do mundo.	52
Tabela 12.	Valores médios de concentrações iônicas, em throughfall, em florestas tropicais no mundo.	55
Tabela 13.	Contribuição de origem marinha de alguns íons na Flona Tapajós, segundo a relação Na/X	62
Tabela 14.	Valores da relação X/Na na Amazônia, evidenciando o papel do uso de fertilizantes e corretivos às proximidades.	63
Tabela 15.	Valores de canopy leaching na Flona Tapajós, durante dois anos de estudos.	64
Tabela 16.	Interceptação da precipitação em algumas florestas no mundo.	67
Tabela 17.	Comparação de resultados na concentração de elementos estudados na Flona Tapajós, entre os anos de 2000 e 2004.	68
Tabela 18.	Informações técnicas e concentração de elementos na dosagem recomendada para aplicação, nas culturas instaladas. (continua)	74

Tabela 19. Alguns parâmetros físico-hídricos do Latossolo Amarelo muito argiloso na Flona Tapajós. .	89
Tabela 20. Capacidade de água armazenada e distribuição de poros em Latossolo Amarelo na Flona Tapajós.	89
Tabela 21. Fluxos médios, em profundidade, dos gases estudados, na Flona Tapajós, durante o período seco, período úmido e anual (EP = erro padrão).....	109
Tabela 22. Fluxo médio, em profundidade e anual, dos gases estudados na Flona Tapajós, durante o período de dois anos.	109

SUMÁRIO

RESUMO.....	17
ABSTRACT	17
1. INTRODUÇÃO	17
1.1. PARTE I	17
1.2. PARTE I	19
2. DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA.....	22
2.1. LOCALIZAÇÃO.....	22
2.2. CLIMA	22
2.3. GEOLOGIA	23
2.4. RELEVO	24
2.5. VEGETAÇÃO.....	25
2.6. HIDROGRAFIA.....	26
2.7. SOLOS	27
3. QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DA CHUVA E DE THROUGHFALL EM FLORESTA DE TERRA FIRME NA FLONA TAPAJÓS, BELTERRA-PARÁ.....	28
3.1. METODOLOGIA.....	28
3.1.1 Procedimentos de Amostragem.....	28
3.1.2. Procedimentos Analíticos.....	28
3.2. RESULTADOS	30
3.2.1. Precipitação e Throughfall.....	30
3.2.2. pH e Condutividade Elétrica	34
3.2.3. Concentração e Fluxo de Nutrientes	36
3.2.4. Fluxo Líquido e Fator de Enriquecimento	44
3.2.5. Análise Estatística	46
3.3. DISCUSSÃO	51
3.4. CONCLUSÕES	80
4. CONCENTRAÇÕES E FLUXOS DE GASES TRAÇO EM LATOSSOLO AMARELO MUITO ARGILOSO NA FLONA TAPAJOS, BELTERRA-PARÁ	81

4.1. METODOLOGIA.....	81
4.1.1. Concentração de Gases no Perfil de Solo.....	81
4.1.2. Conteúdo de Água no Solo.....	82
4.1.3. Características Físico-Hídricas e Modelagem da Difusividade do Solo	84
4.1.4. Temperatura do Solo	86
4.1.5. Análises Estatísticas	87
4.2. RESULTADOS	88
4.2.1. Características Físico-Hídricas do Solo	88
4.2.2. Umidade e Temperatura do Solo	90
4.2.3. Concentração de Óxido Nitroso, Metano e Gás Carbônico	99
4.2.4. Fluxos de Gases	108
4.3. DISCUSSÃO	114
4.4. CONCLUSÕES	124
REFERÊNCIAS.....	125

1. INTRODUÇÃO

1.1. PARTE I

A Floresta Nacional do Tapajós, FLONA Tapajós, com 600.000 ha da floresta protegida, está situada a 50 quilômetros ao sul de Santarém (Pará, Brasil), ao longo de uma estrada pavimentada próxima ao limite sul da floresta. Santarém, uma cidade portuária de 250.000 habitantes situada na confluência dos rios Tapajós e Amazonas tem um aeroporto com serviço regular de aviões de pequeno, médio e grande porte. Um campo agrícola em desenvolvimento na vizinhança de Santarém oferece muitas oportunidades para o estudo da mudança do uso de terra. O corte seletivo da floresta é particularmente importante para a economia de Santarém.

Por sua natureza, as florestas tropicais são um ecossistema que possui uma enorme influência sobre os processos hidrológicos (JETEN, 1996). As árvores interceptam muito da precipitação, uma parte da qual evapora, enquanto aquela que alcança o solo florestal é determinada pela intensidade e as características de drenagem da cobertura (JETEN, 1996)

Em um ecossistema como a floresta tropical úmida, nutrientes estão sendo ciclados. Esta ciclagem de nutrientes envolve entradas para o sistema vindo da atmosfera e do intemperismo das rochas e minerais presentes no solo, saído através da água de drenagem e a circulação interna dentro do sistema. Esta circulação interna envolve a transferência de nutrientes da vegetação para o solo através da lavagem (throughfall – definido como a água de precipitação incidente que atravessa a vegetação e alcança a superfície do solo (PARKER, 1983) - e o escoamento pelo tronco), onde não intervêm organismos decompositores, e a liteira, na qual esses organismos estão presentes e desempenham um papel muito importante (MANOKARAN, 1980). Este processo é contínuo e provavelmente envolve a ciclagem de nutrientes um número incontável de vezes através dos anos.

O resultado do processo de condensação que atinge o solo como água da chuva é determinado por pequenas partículas sólidas, denominadas de partículas de Aitken, que servem como núcleo de condensação das nuvens, e pelos gases solúveis que reagem com a água tanto durante a condensação quanto na precipitação. Este processo, no interior das nuvens, é denominado de "rainout"; a lavagem da atmosfera,

quando da precipitação da chuva, chama-se "washout" (¹MOREIRA-NORDEMANN, GIRARD; POPPI, 1997).

Ao interagir com a vegetação, a água da chuva pode sofrer alterações em várias de suas características qualitativas. Este efeito é particularmente importante em florestas, pois ocorre alteração tanto na composição química como em aspectos físicos da água da chuva que penetra através das copas das árvores (LIMA; BARBIN, 1975; LOVETT; LINDBERG, 1993; TOBON MARIN, SEVINK; VERSTRATEN, 2004). Neste trajeto, a água da chuva arrasta quantidades apreciáveis de nutrientes, fenômeno esse referido como *lavagem* (CAMARGO, 1968). A magnitude do fluxo de nutrientes neste processo é determinada, principalmente, pelo tipo da floresta e de seu estoque de nutrientes, os processos bioquímicos internos, os fluxos hidrológicos e a atividade humana (POTTER, RAGSDALE; SWANK, 1991)

Este processo desempenha papel significativo na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais (JORDAN; KLINE, 1972; REVERSAT, 1975), e tem sido quantitativa e qualitativamente estudado em vários países e em vários tipos de florestas (LIMA; BARBIN, 1975; MANOKARAN, 1980; LESACK; MELACK, 1991; FILOSO, WILLIAMS; MELACK, 1999; TOBON MARIN, SEVINK; VERSTRATEN, 2004).

O throughfall pode resultar em grandes transferências de nutrientes e outros solutos para o ecossistema. Os processos envolvidos nas interações entre a cobertura das árvores e a chuva incluem lavagem ou difusão de materiais de tecidos internos das plantas, absorção de íons das folhas e da epífiora, assim como, também, lavagem e dissolução de aerossóis e partículas que acumulam na folhagem durante os períodos sem precipitação (LOVETT; LINDBERG, 1993; SCHAEFER; REINERS, 1989; FILOSO, WILLIAMS; MELACK, 1999).

Entender o fluxo da água dentro do ecossistema é vital para a nossa compreensão de como o ecossistema funciona. Embora numerosos investigadores tenham medido throughfall (GOLLEY et al., 1975; BERNHARD-REVERSAT; HUTTEL; LEMCE, 1978; HERRERA, 1979), os dados disponíveis são limitados e bastante variáveis.

¹ BERNER, E.K.; BERNER, R.A. Global environment. Water, air and, geochemical cycles. Prentice Hall. 1996. 376p.

Por sua natureza, as florestas tropicais são ecossistemas onde a vegetação tem uma enorme influência sobre os processos hidrológicos. As árvores interceptam muito da chuva, de onde uma parte evapora, enquanto o percentual que alcança o solo é determinado tanto pela intensidade como pela característica de drenagem da cobertura vegetal (JETTEN, 1996).

Embora muita pesquisa sobre a química da água da chuva tenha sido executada em regiões temperadas, nestas regiões as florestas são, muitas vezes, plantações de uma única espécie ou florestas em que poucas espécies dominam, inviabilizando a extrapolação dos resultados para florestas com número bastante elevado de espécies (WHITMORE, 1975; LLOYD; MARQUES, 1988)

Na Amazônia, a deposição e composição de solutos na água da chuva são de grande interesse. Da perspectiva de ecossistema, há concordância que a devastação em grande escala ocorre na Amazônia (SALATI; VOSE, 1984), e a deposição atmosférica têm sido colocada como a maior fonte de nutrientes para a renovação da floresta tropical úmida da Amazônia (LESACK; MELACK, 1991).

Estes mesmos autores citam isto como duas das principais interrogações para o estudo da química das águas da chuva na Amazônia devido a recentes evidências de que as florestas continentais são a maior fonte de aerossóis e gases que podem ter um significativo impacto sobre a química da atmosfera remota (ARTAXO et al, 1990; LARA et al, 2001), além de ser uma referência para a acidez da água da chuva natural.

A qualidade química desta água de chuva atravessando a folhagem de uma floresta (throughfall) é controlada, segundo Wilcke et al. (2001), pela intensidade da precipitação e pelas partículas e gases depositados como precipitação seca, opinião compartilhada com outros pesquisadores (PARKER, 1983; SCHAEFER; REINERS, 1990; VENEKLAAS, 1990).

1.2. PARTE I

Três gases, nitrogênio, oxigênio e argônio, compõem mais de 99% da massa da atmosfera da terra. Fosse a atmosfera composta somente destes 3 gases (uma situação improvável do ponto de vista químico ou biológico), o clima global seria decididamente diferente (KELLER, MELLILO; MELLO, 1997). No 1% restante da

composição atmosférica, os gases traço, nós encontramos uma riqueza da atividade física e química que é compreendida somente em parte. Estas atividades incluem a regulação do balanço radioativo da terra e a manutenção da capacidade de oxidação da atmosfera - um sistema químico auto-limpante. Nas duas décadas passadas, começamos a entender muito da composição deste 1% restante da atmosfera que está regulada pelas funções biológicas dos ecossistemas terrestres e aquáticos da Terra (KELLER, MELLILO; MELLO, 1997; MATSON; HARRIS, 1995; SCHLESINGER, 1997).

Os fluxos solo-atmosfera de óxido nitroso (N_2O) e do metano (CH_4) afetam os processos relevantes do aquecimento global e a poluição ambiental (IPCC, 1996). O N_2O é um importante gás de efeito estufa por causa das propriedades espectrais da sua molécula e de sua vida relativamente longa; ele está envolvido, também, na química estratosférica do ozônio (CICERONE, 1987).

Segundo Weitz et al. (1998) os solos são fontes e dissipadores significantes de N_2O , de NO e de CH_4 , e as condições químicas, biológicas e físicas nos solos determinam a troca de gases traço no sistema solo-atmosfera.

As concentrações atmosféricas do óxido nitroso (N_2O) estão elevando-se a uma taxa média de 0,25% a 0,3% por ano (IPCC, 1996; MOSIER et al., 1998). Isto é de interesse global devido o papel do N_2O no balanço radioativo atmosférico e como um interactante na dinâmica estratosférica do ozônio. O metano (CH_4), um outro gás radioativo ativo, tem aumentado na atmosfera desde 1993, em uma taxa anual de aproximadamente 8 ppbv ou 0,8% ao ano (HOUGHTON et al., 1996; MOSIER et al., 1998). Os solos dos trópicos úmidos são uma fonte e um dissipador para CH_4 (KELLER, MITRE; STALLARD, 1990), mas representam a única maior fonte global de N_2O (KELLER, KAPLAN; WOFSEY, 1986; MATSON; VITOUSEK, 1990; BOUWMAN; TAYLOR, 1996). Mais adiante, a taxa de emissão dos solos tropicais parece aumentar, particularmente, onde o uso de terra migrou da vegetação nativa à agricultura e, mais especialmente, onde o fertilizante nitrogenado é aplicado (BOUWMAN et al., 1993; ERICKSON; KELLER, 1997). Por estas razões, a estimativa de N_2O regional flui das regiões tropicais onde os fluxos são tão elevados e se transformam em um objetivo central para melhorar estimativas de balanço globais.

Além de colaborar nos esforços de aumentar os conhecimentos sobre a

química da água da chuva na região amazônica, o objetivo deste estudo foi de quantificar e caracterizar quimicamente a água de precipitação e de throughfall na Floresta Nacional do Tapajós, município de Belterra, Estado do Pará, onde a hipótese foi de que a agricultura mecanizada de grãos aumentava o fluxo de nutrientes na floresta. Também, outro objetivo deste estudo foi determinar a emissão de gases de efeito estufa (CO_2 , N_2O e CH_4), no período seco e úmido, em profundidade, em Latossolo Amarelo e verificar a relação entre a umidade e a temperatura do solo na emissão desses gases durante as estações climáticas na FLONA Tapajós, cuja hipótese testada é de que a entrada de nutrientes, principalmente, nitrogênio, no sistema, aumenta o fluxo de gases.

2. DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA

2.1. LOCALIZAÇÃO

O estudo foi conduzido na Floresta Nacional do Tapajós, km 67 da Rodovia Santarém-Cuiabá, ao sul da cidade de Santarém, fazendo parte do município de Belterra, estado do Pará, Brasil, com coordenadas geográficas de 02° 25' e 03° 00' de latitude sul e 54° 00' e 55° 00' de longitude oeste (Figura 1). Atualmente, Belterra está se tornando um centro agrícola de expressão na região oeste do Pará, com a chegada de produtores de outras regiões do país, principalmente, mato-grossenses e gaúchos, em busca de terras baratas para plantio de grãos.

O local de estudo consistiu de uma área de 100m x 100m, dividida em linhas de 10m por 10m, localizada ao lado de uma torre meteorológica de 65m de altura onde vários parâmetros climáticos são armazenados (precipitação, velocidade e direção do vento, insolação, umidade do ar, temperatura do ar), com coordenadas geográficas no ponto central de 02° 51' 17" S e 54° 33' 34" W:

Esta área recebe influência da cidade de Santarém, sede do município, e das rodovias Santarém/Cuiabá (BR-163) e Santarém/Curuá-Una (PA-370). Corresponde aos ecossistemas que sofreram ação antrópica, pelo uso com agricultura itinerante de derruba e queima e para implantação de pastagem.

Os principais meios de transporte e de comunicação são: o fluvial, através dos rios Amazonas e Tapajós, com embarcações de pequeno e grande calado; o aéreo, com aeronaves de pequeno e grande porte e o rodoviário. A cidade de Santarém é um dos principais centros de desenvolvimento do Estado do Pará e o de maior importância econômica da região do Baixo Amazonas.

2.2. CLIMA

A região encontra-se sob características gerais de clima quente úmido. As temperaturas médias, máximas e mínimas anuais oscilam, respectivamente, entre 25 e 26°C, 30 e 31°C e 21 e 23°C, enquanto que a precipitação pluviométrica apresenta valores anuais oscilantes em torno de 2.000 mm, com distribuição irregular durante os meses, mostrando a ocorrência de dois períodos nítidos de chuvas, com o mais

chuvoso abrangendo o período de dezembro a junho, concentrando em mais de 70% a precipitação anual (BASTOS, 1972; EMBRAPA, 1983).

A precipitação pluviométrica é o elemento climático que proporciona maior variabilidade durante os anos e meses, sendo que dentro de cada mês, as maiores flutuações verificam-se, em geral, no início e final dos períodos mais e menos chuvosos (BASTOS, 1972; EMBRAPA, 1983).

Analisando-se os balanços hídricos, verifica-se expressiva variação nos resultados apresentados dentro dos elementos essencialmente hídricos num mesmo local, mostrando assim, o efeito do tempo sobre o regime das chuvas. Também, verifica-se uma pequena oscilação entre estes elementos, e acentuadas variações entre os valores de evapotranspiração, que é um elemento também condicionado pelo fator térmico, exemplificando que, em termos de variações climática espacial e temporal na região, a temperatura apresenta oscilação mais nítida em espaço, e a precipitação pluviométrica maior variabilidade, em função do tempo.

Em termos de classificação climática, a região encontra-se sob o tipo climático Am da classificação de Köppen. O tipo Am pertence ao domínio de clima tropical, caracterizado por apresentar total pluviométrico anual elevado e moderado período de estiagem. Segundo o sistema de Thornthwaite os tipos B3ra 'a' e B2ra 'a' caracterizam-se nos elevados índices de umidade, sendo o B3 na ordem de 67% e o B2 na ordem de 52%, com pequena deficiência hídrica (r). A' simboliza clima megatérmico e a' baixa concentração de verão estacional (BASTOS 1972; EMBRAPA 1983).

2.3. GEOLOGIA

Geologicamente, o município de Santarém está situado na porção central da Bacia Sedimentar do Amazonas, aflorando, na maior parte do seu território, a seção superior da Formação Alter do Chão (Cretáceo/Terciário).

Essa unidade está constituída, predominantemente, por arenitos finos a grossos, esbranquiçados a avermelhados, friáveis, caoliníticos, com freqüentes estratificações cruzadas: apresentam intercalações de argilas avermelhadas a mosqueadas, estratificadas em bancos. A Formação Alter do Chão tem ampla ocorrência nas porções leste, sul e oeste do município, com boas exposições no rio

Tapajós e ao longo da BR-163, notadamente no flanco norte da serra do Piquiatuba, próximo à cidade de Santarém. No topo da unidade, é comum a presença de crosta ferruginosa, laterítica, responsável pela preservação dos platôs que caracterizam a Formação. Localmente, a crosta ferruginosa encontra-se desmantelada, constituindo um nível concrecionário.

Acima dos clásticos da Formação Alter do Chão ocorre, em determinadas regiões, um pacote argilo-arenoso, avermelhado a amarelado, às vezes mosqueado; segundo alguns autores, são comuns as lentes de arenitos finos, coloração bege-clara, caoliníticos e friáveis, apresentando estratificações plano-paralelas e cruzadas, intercaladas no pacote argilo-arenoso. No local, essas coberturas evoluem para Latossolos bastante espessos.

Complementando o quadro geológico do município, destacam-se os depósitos inconsolidados atuais e subatuais, que ocorrem ao longo dos principais cursos d'água, formando as planícies aluviais e representadas por cascalhos, areias, siltes e argilas.

2.4. RELEVO

Pelos estudos realizados foi possível constatar a presença de várias formas de relevo, com seus respectivos graus de dissecação, solos e cobertura vegetal (BRASIL, 1976; EMBRAPA, 1983):

Define-se como Planície Aluvial, a região que fica temporariamente inundada, apresentando formação de inúmeros lagos. Esta unidade é representada pelas várzeas e restingas do rio Amazonas e os solos nela encontrados são os hidromórficos, de origem sedimentar, e ocorrem em áreas de relevo plano de várzea. São aproveitados na época de estiagem, principalmente, os extensos campos naturais chamados campos de várzea, excelentes para criação de gado.

Outra formação de relevo que abrange grande parte da área é o Planalto Tapajós-Xingu (BRASIL, 1976). Esta formação é separada pelo rio Tapajós, apresentando uma grande superfície tabular, de relevo plano, denominada "Planalto de Belterra", de bordos erosivos, onde são encontrados os Latossolos de textura muito argilosa, desenvolvidos sobre os clásticos da Formação Alter do Chão, que possui uma cobertura de floresta equatorial subperenifólia com babaçu e com bastante uso intensivo.

Estas formações tabulares (ação antrópica) erosivas terminam em alguns trechos com fraça declividade, dando origem às áreas de relevo suave ondulado com pouca dissecação, onde ocorrem os Latossolos Amarelos, com diferentes graus texturais formados a partir das litologias da Formação Alter do Chão, sob floresta equatorial subperenifólia com palmeiras e com grande quantidade de seringueiras.

Nestas formações aparecem áreas com relevos dissecados em interflúvios tubulares, com drenagem densa e, em menores proporções, áreas em colinas e ravinas localizadas em faixas alongadas, entre Belterra e o rio Curuá-Una, com relevo suave ondulado a ondulado.

O processo de erosão que sofreu a superfície tabular originou o pediplano Plio-Pleistocênico, onde são encontradas áreas de relevo forte ondulado, em diferentes níveis de dissecamentos; nelas, são encontrados Argissolos Vermelho-Amarelo e Latossolos Amarelos, com textura variando de média a muito argilosa; os Neossolos Quartzarênicos são freqüentes nas áreas de terraço e têm vegetação de floresta equatorial subperenifólia.

2.5. VEGETAÇÃO

A cobertura vegetal é composta por quatro formações florestais bem distintas que são: floresta equatorial subperenifólia e cerrado equatorial subperenifólio, na terra firme, floresta equatorial higrófila de várzea e campos equatoriais higrófilos de várzeas, nas áreas sujeitas a inundação (EMBRAPA, 1983).

Na região norte é onde situam-se as maiores formações florestais do continente, dominadas pela floresta equatorial subperenifólia de terra firme. Nessas áreas de clima quente, com pluviosidade elevada, evidencia-se o aparecimento dessa floresta densa, bastante estratificada, possuindo espécies bem heterogêneas, sendo o vale amazônico, o principal local de ocorrência dessas formações (EMBRAPA, 1983).

A floresta equatorial subperenifólia é representada, principalmente, por tipos florístico onde predominam espécies sempre-verde, porém, com folhagens um pouco reduzidas, devido a perda de folhas no período de estiagem. Nela, são encontradas árvores que alcançam até 50 metros de altura ou mais (LEFSKY et al, 2005), com um sub-bosque rico em palmáceas.

Espécies mais comuns encontradas: aquariquara (**Minguarita guianensis**), açacu (**Hura creptans**), andiroba (**Carapa guianensis**), angelim-pedra (**Dinizia excelsa** Duque), babaçu (**Orbignia martiana**), bacaba (**Oenocarpus bacaba**), breu (**Protium** spp), buriti (**Mauritia flexuosa**), carapanaúba (**Aspidosperma carapanaúba**), casca-preciosa (**Aniba canelilla**), castanha-sapucaia (**Lecythis paraensis**), castanheira (**Bertholletia excelsa** H.B.K), copaiba (**Copaifera Ducke**), cumaru (**Coumarouma odorata**), envira (**Xilopia** spp), faveira (**Vatairea paraensis**), freijó (**Cordia goeldiana**), inajá (**Maximiliana regia**), ipê (**Macrolopium campestre**), itaúba (**Mezilaurus itaúba**), e outras de menor expressão econômica (BRASIL, 1976; EMBRAPA, 1983).

Na área de mata, as espécies florestais de maior valor econômico estão deixando de existir, em consequência de constantes derrubadas, encontrando-se nas áreas de vegetação secundária o aparecimento de grande quantidade de babaçu.

2.6. HIDROGRAFIA

Os rios Amazonas e Tapajós são as vias de maior importância para o desenvolvimento econômico da região, através do escoamento de produtos nela gerados, pela utilização de pequenas, médias e até grandes embarcações.

O rio Tapajós, nos seus 60km finais até sua foz é muito largo, como acontece em frente à cidade de Belterra, onde o mesmo tem 20 km de largura. Quando se fala em sua navegabilidade, deve-se acentuar que o mesmo possui sérios problemas nos meses de outubro, novembro e dezembro, quando em seu leito expõem-se extensos lajeiros de pedras e bancos de areia, formando verdadeiras ilhas, o que torna bastante perigosa a navegação.

O rio Amazonas é navegável durante todo o ano por navios de grande calado. Já existe um posto graneleiro para exportação de soja, produzida na região e no norte do Estado do Mato Grosso.

Um outro rio de grande importância na economia da região é o Curuá-Una, não por sua navegabilidade, em virtude de ser um rio bastante encachoeirado, mas, por seu potencial energético, onde se encontra a hidrelétrica de Curuá-Una, com um potencial de energia capaz de abastecer parte da cidade de Santarém.

Existem outros rios de menor volume d'água, formando os de grande importância no tocante à pecuária e ao abastecimento da população rural da região, dentre eles o rio Moju e seus afluentes.

Todos estes rios drenam suas águas para o rio Amazonas, sendo o rio Tapajós o maior e o mais importante afluente.

2.7. SOLOS

Os solos são altamente intemperizados e profundos, bem drenados, caoliníticos, classificados pela Embrapa (1999) como Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos, e, pela classificação americana, como Oxisol (Haplustox) e Ultisol. A profundidade do lençol freático é de aproximadamente 120m.

3. QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DA CHUVA E DE THROUGHFALL EM FLORESTA DE TERRA FIRME NA FLONA TAPAJÓS, BELTERRA-PARÁ

3.1. METODOLOGIA

3.1.1 Procedimentos de Amostragem

Os coletores de throughfall e precipitação consistiram de garrafas de polietileno, com capacidade de 2000ml, e um funil com diâmetro de 115mm. A abertura do funil estava a 100cm acima da superfície do solo. Cada garrafa de amostragem estava protegida com papel alumínio (para evitar a entrada de luz e, assim, diminuir a proliferação de microorganismos) e nos furos internos dos funis foram colocadas telas de nylon (0,5mm de malha) para evitar a entrada de insetos e restos de folhagem. Pela grande variabilidade do throughfall (LLOYD; MARQUES, 1988; TOBÓN MARIN, BOUTEN; SEVINK, 2000), devido à estrutura da copa das árvores (JETTEN, 1996), muitas leituras são necessárias para estudar interceptação pela floresta. Para minimizar este fato, os coletores foram aleatoriamente dispersos dentro da área de estudo, semanalmente, pelo efeito positivo de reduzir o desvio padrão das amostragens realizadas (LLOYD; MARQUES, 1988; TOBÓN MARIN, BOUTEN; SEVINK, 2000).

Amostras da solução armazenadas nos frascos foram coletadas semanalmente, no período entre abril de 2003 a março de 2004. Os volumes de água foram anotados individualmente para cada coletor (25 coletores para throughfall e 4 coletores para água da chuva). Após cada coleta, os coletores eram lavados com água deionizada.

3.1.2. Procedimentos Analíticos

As amostras, em seguida à coleta, eram transportadas para o laboratório em Santarém, 70km ao norte do local de estudo, onde, no mesmo dia, eram feitas as medidas de pH e condutividade elétrica. Após esse procedimento, as amostras foram filtradas utilizando-se membranas de acetato de celulose (Millipore Corporation, Bedford, MA), com 0,22 μm de diâmetro do poro, o qual foi escolhido para eliminar a entrada de bactérias e fungos nas amostras.

As 25 amostras de throughfall e as 4 amostras de água de chuva foram juntadas para formar duas amostras compostas, separando-se cinco alíquotas dessa

amostra composta em frascos de polietileno com capacidade de 100ml (marca Nalgene) para armazenamento em freezer e posterior envio ao laboratório em Belém, distando 800km de Santarém, para análise química.

O pH foi determinado em amostras não filtradas, através de pHmetro digital modelo pH-pHTestr 3, marca COLE-PARMER 59000-30 (COLE-PARMER INSTRUMENT COMPANY), utilizando-se eletrodo de vidro, o qual foi semanalmente calibrado com soluções padrão de pH 4.0, 7.0 e 10.0. As calibrações nunca diferiram mais do que 0.02 unidades de pH; as medidas foram realizadas em sala com temperatura ambiente e após lavagem dos eletrodos em água deionizada.

A condutividade elétrica, também, em amostras não filtradas, foi realizada em equipamento da marca COLE-PARMER (COLE-PARMER INSTRUMENT COMPANY), modelo Basic Conductivity Meter, com prévia calibração em soluções de concentrações conhecidas (Oakton Inc., USA), seguindo os mesmos procedimentos anteriormente descritos para o pH.

Os íons dissolvidos (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{-3} e SO_4^{-2}) foram analisados por cromatografia iônica líquida, utilizando-se um equipamento Dionex DX-120 (Dionex Inc., USA). Para cátions foi utilizada coluna Dionex CS12 com ácido metanosulfônico como eluente, enquanto para ânions foi utilizada coluna Dionex AS14 e carbonato/bicarbonato como eluente. A precisão destas análises (aqui definida como os valores maiores ou iguais a 10^{-4}mg/L) foram menores que 10% e a acurácia foi testada comparando os padrões utilizados com os padrões da Dionex Inc.

Todas as amostras cujos valores de precipitação foram inferiores a 1mm, foram descartadas (mantendo-se os valores para a contagem do volume de precipitação), em virtude da capacidade de saturação da vegetação florestal estar situada na faixa de 0,8-1,2mm (JETEN, 1996; LLOYD; MARQUES, 1998). Por isso, foram descartadas 16% das amostras coletadas.

O cálculo do fluxo líquido foi efetuado pela equação $\text{FL} = \text{fluxo throughfall} - \text{fluxo precipitação}$; também, o fator de enriquecimento foi calculado segundo a equação proposta por Gordon et al. (2000). A deposição seca foi determinada através da equação $\text{DS} = \text{DDF} * \text{concentração precipitação}$ (ZENG et al., 2004), onde DDF é fator de deposição seca, tomando-se como traçador o sódio.

Análises foram realizadas utilizando o software Statistica (STATSOFT, INC.). Concentrações médias dos elementos estudados foram comparadas usando-se teste t. Com o intuito de analisar as relações entre as concentrações dos diferentes íons estudados, a análise dos componentes principais (ACP) foi utilizada, o que poderia apresentar muito da variabilidade dos dados (HOPKE, 1985). A ACP é uma técnica da Análise Multivariada com relação às relações internas de um grupo de variáveis que substituem um determinado número de variáveis, por um número menor de “Fatores”, que podem ou não ser correlacionados (MIGLIAVACCA et al., 2004). Esta técnica consiste dos seguintes passos: preparação da matriz de correlação, extração dos fatores e rotação dos dados. Aqui a rotação utilizada foi a Varimax.

3.2. RESULTADOS

3.2.1. Precipitação e Throughfall

Houve maior quantidade de chuvas nos primeiros doze meses do estudo, totalizando 2.618mm de precipitação e 2.251mm de throughfall, indicando uma interceptação de 14%. Os valores semanais encontrados, entre os anos analisados, não diferem estatisticamente, pelo teste t, porém, foram observadas diferenças significativas ($P < 0,01$), também, pelo teste t, entre as estações secas e úmidas, considerando-se o período de estudo (104 semanas).

Na Figura 1 observam-se as diferenças entre a precipitação e throughfall, durante todo o período de estudo (104 semanas).

Nas Figuras 2 e 3, mostram a variação ocorrida na precipitação e em throughfall, comparando-se o período seco e úmido. Como era de se esperar, o período seco apresenta uma diminuição acentuada no volume de água, propiciando uma maior concentração dos íons presentes.

A variabilidade da precipitação e de throughfall (medido através do coeficiente de variação – CV) dentro da área de estudo oscilou bastante (Tabela 1). O coeficiente de variação (considerando 104 semanas de coleta de dados) da precipitação e do throughfall situou-se em 100% e 101%, respectivamente.

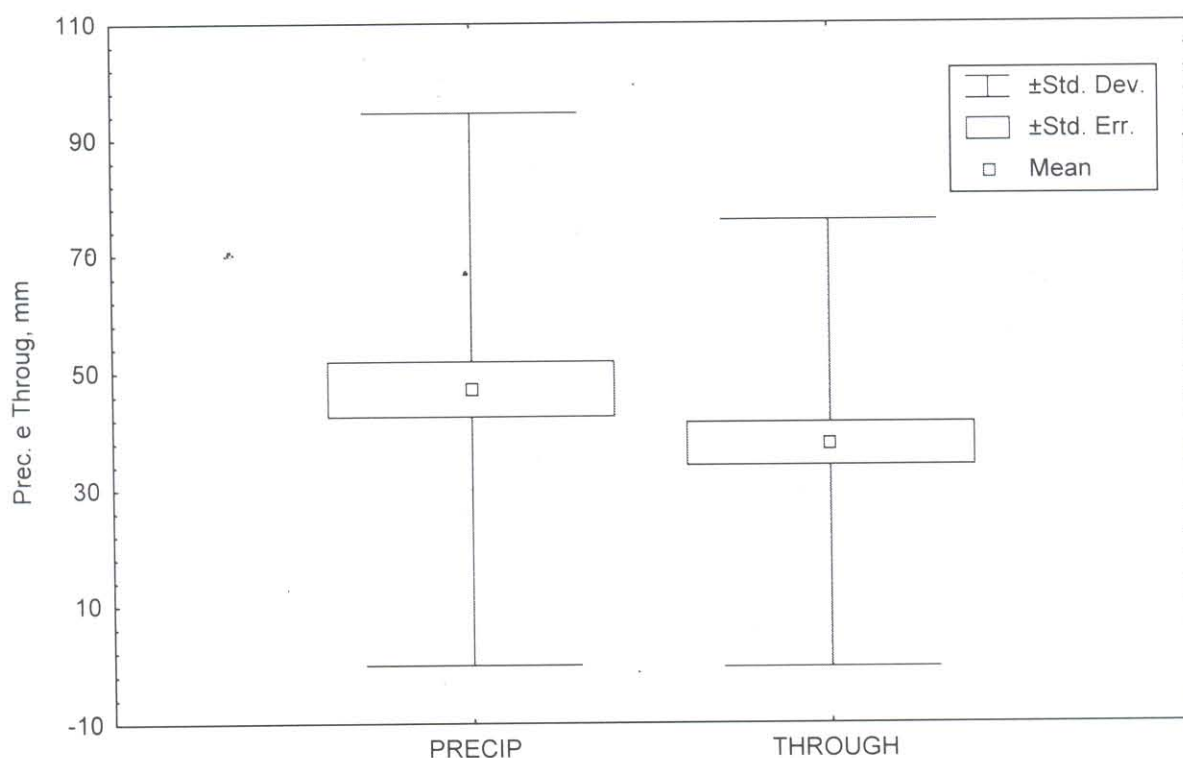


Figura 1. Média, desvio padrão e erro padrão da média dos valores semanais da precipitação e throughfall, durante todo o período de estudo (104 semanas), na Flona Tapajós.

Durante o período de estudo (104 semanas), aproximadamente 80% da precipitação anual aconteceu durante o período úmido e, partindo do princípio da variabilidade do volume e da duração do período chuvoso, neste trabalho este período é definido pelos meses consecutivos que recebem mais de 100mm de chuva.

Pela análise da Figura 4, verifica-se a distinção de um período seco bem definido, iniciando-se no final de junho e com término no mês de dezembro, acompanhando a tendência da normal climatológica (30 anos) do município de Belterra (INMET, 1984).

Throughfall e precipitação foram altamente correlacionadas, conforme verificamos na Figura 5, mesmo considerando as estações existentes, com coeficiente de determinação (r^2) acima de 0,95. Throughfall pode ser predito, para esta floresta, baseado em dados de quantidade de precipitação, embora para a predição de interceptação, outros parâmetros, tais como a estrutura da floresta, deva ser incluído.

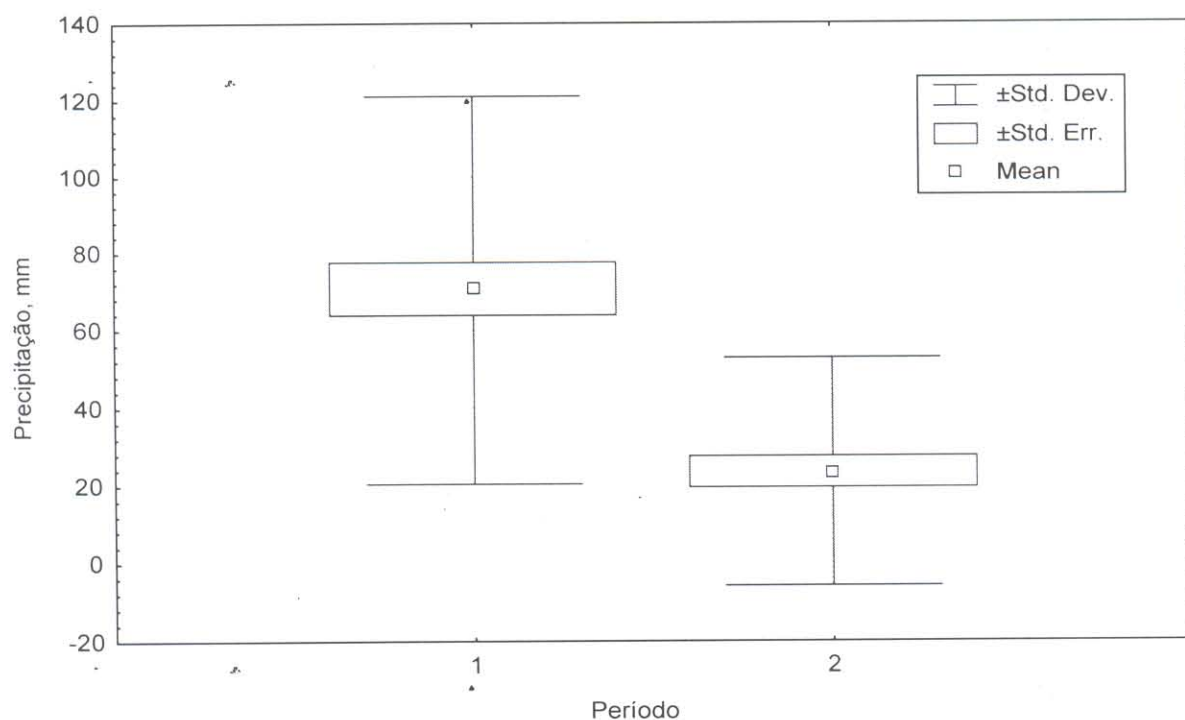


Figura 2. Média, desvio padrão e erro padrão da média, da precipitação, durante o período úmido (1) e seco (2), na Flona Tapajós, durante 104 semanas.

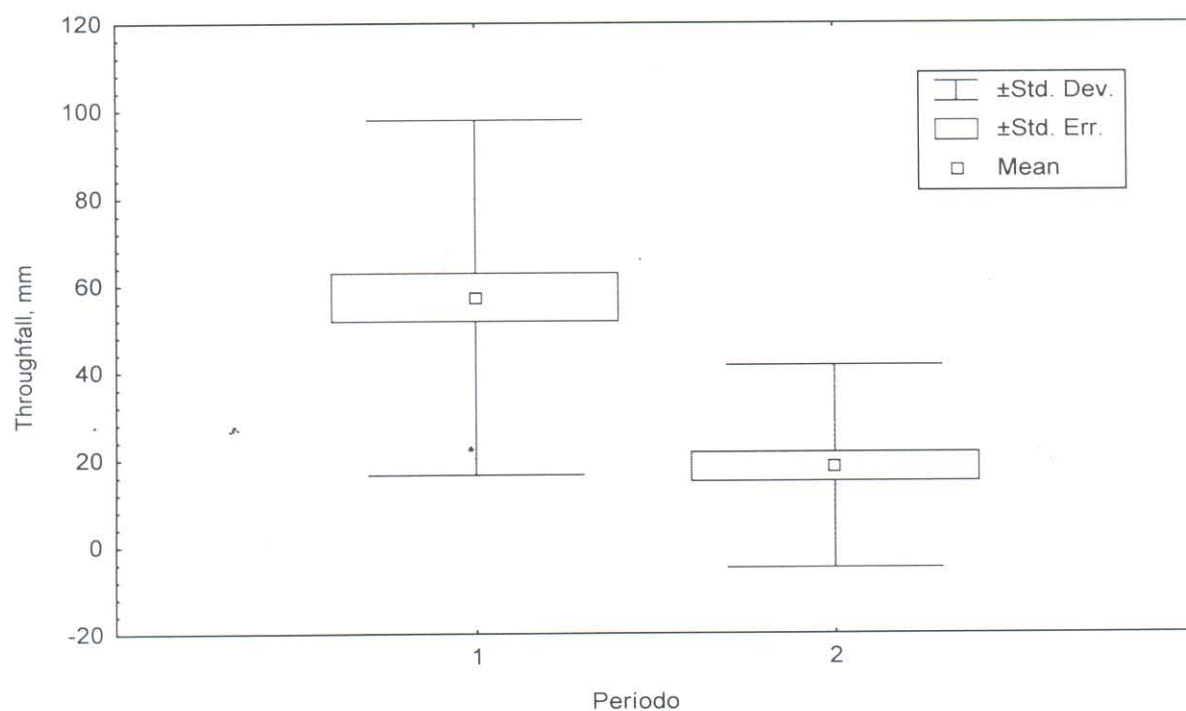


Figura 3. Média, desvio padrão e erro padrão da média, do throughfall, durante o período úmido (1) e seco (2), na Flona Tapajós, durante 104 semanas.

Tabela 1. Estatística descritiva do volume de precipitação e throughfall durante o período de estudo.

Semanas	Precipitação	Throughfall
Média (mm)	47,2	37,7
Intervalo de confiança (95%) (mm)	38,0 – 56,4	30,3 – 45,2
Mediana (mm)	32,7	23,0
Mínimo (mm)	0	0
Máximo (mm)	179,2	147,2
Desvio Padrão (mm)	47,37	38,30
Coef. Assimetria	1,22	1,23
Curtose	0,69	0,77
Coef. Variação (%)	100,40	101,46

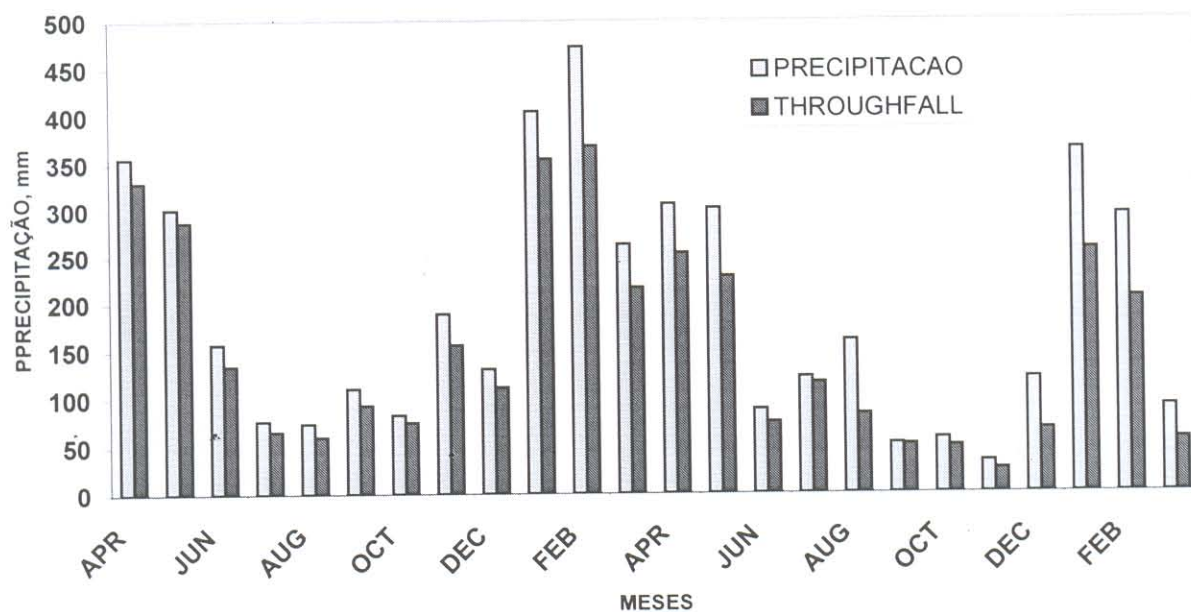


Figura 4. Variação mensal do volume de precipitação e throughfall na Flona Tapajós, durante o período de estudo (2004-2005).

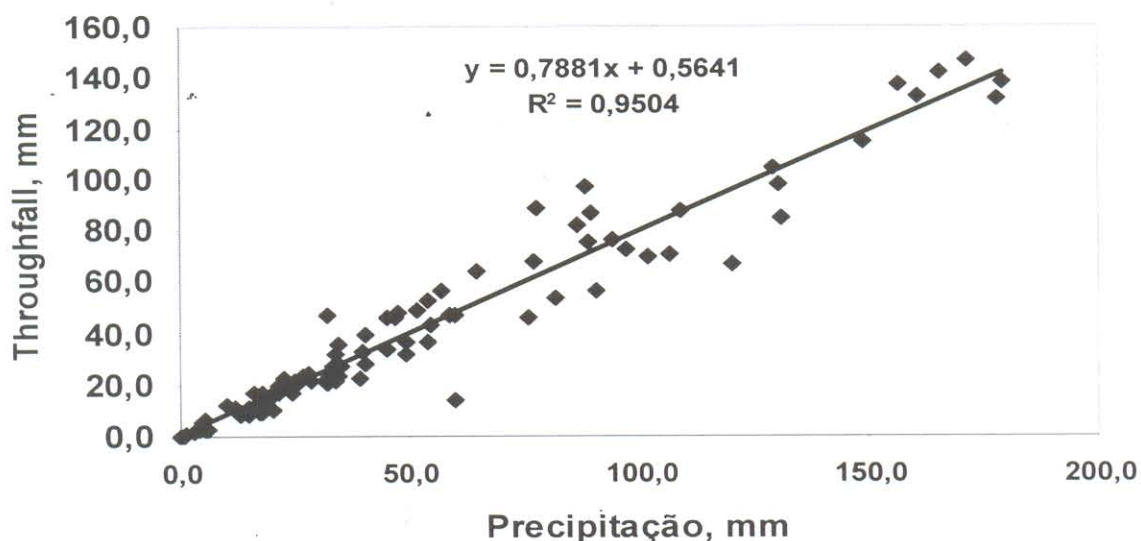


Figura 5. Equação de regressão entre precipitação e throughfall na Flona Tapajós.

A Figura 6 apresenta os valores médios mensais da precipitação durante o período de estudo comparado com os valores médios mensais dos últimos 20 anos. Observa-se que, com exceção dos meses de julho e dezembro, considerados o início e final do período seco na região, todos os demais meses apresentam valores mais elevados do que a média duodecendial.

3.2.2. pH e Condutividade Elétrica

Pela análise da Tabela 2, verifica-se que o pH da água da chuva sofreu ligeiro aumento quando se inicia o período de estiagem, enquanto o inverso ocorre em throughfall, com aumento de pH durante o período úmido.

Os valores da condutividade elétrica (CE) apresentaram uma grande flutuação (variação) durante o período de estudo (Figura 7). Os valores mais elevados ocorrem sempre nas semanas de menor precipitação, pois, logicamente, neste período, há um aumento na concentração total dos íons analisados em throughfall; o contrário acontece no período chuvoso.

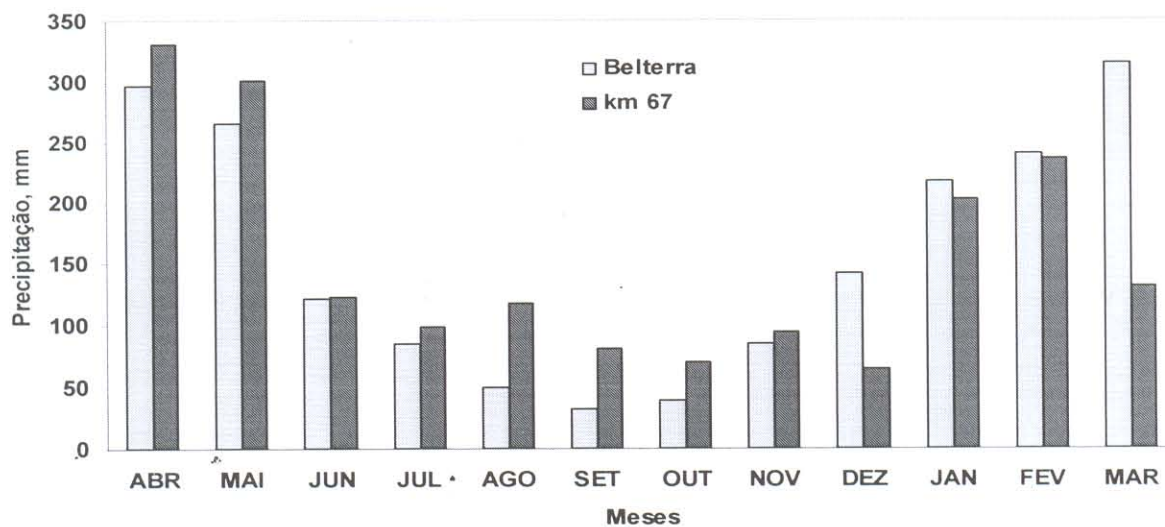


Figura 6. Comparação entre a precipitação medida no km 67, durante 2004 e 2005, e a média dos últimos 20 anos na cidade de Belterra-PA.
Fonte: Inemet, 1984

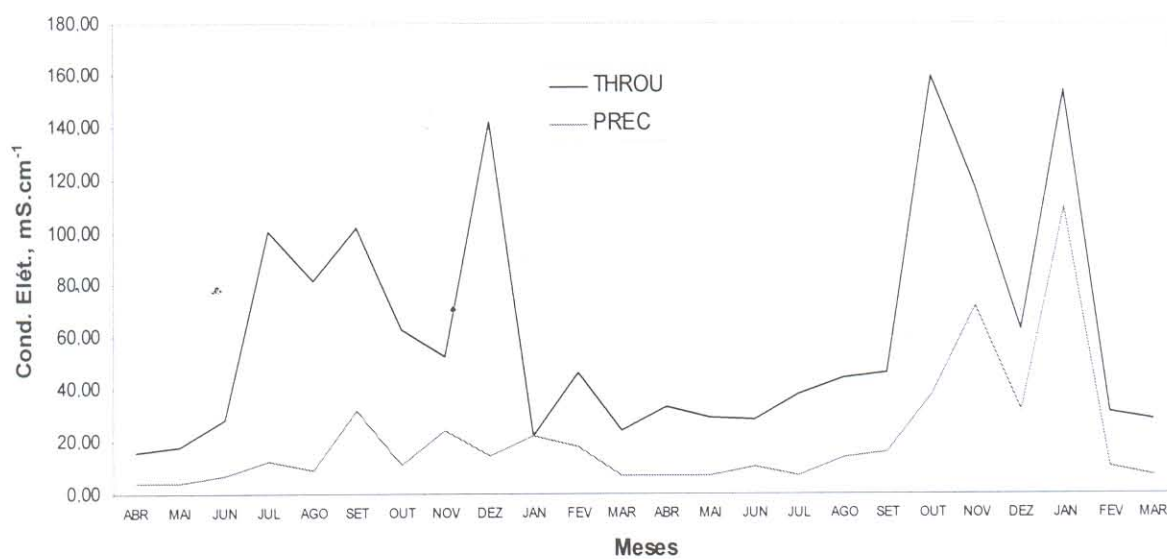


Figura 7. Variação mensal da CE em precipitação e throughfall, na Flona Tapajós.

Tabela 2. Valores de pH em precipitação e em throughfall na Flona Tapajós, durante o período de estudo.

MESES	THROUGHFALL (pH)		PRECIPITAÇÃO (pH)	
	ANO 1	ANO 2	ANO 1	ANO 2
Abril	6,1	6,2	5,48	6,91
Maio	6,8	6,9	6,04	6,72
Junho	6,8	6,8	6,00	7,28
Julho	7,0	7,1	6,86	7,37
Agosto	6,5	6,6	6,60	6,92
Setembro	7,1	5,0	6,59	6,60
Outubro	6,4	6,4	6,23	6,32
Novembro	6,7	6,5	6,29	6,69
Dezembro	6,6	6,0	6,36	5,89
Janeiro	6,6	5,8	6,76	6,50
Fevereiro	6,9	6,6	6,67	6,71
Março	6,8	6,0	6,96	5,64
MEDIA	6.68	6.33	6.40	6.63

O pH em throughfall variou entre 5 e 7.1, com média de 6.5, para todo o período de estudo. Também, separando-se por estação, verificamos valores médios de 6,6 e 6,7, para a estação chuvosa e seca, respectivamente (Tabela 2).

Tomando como base o período de estudo, a relação entre os valores de CE em precipitação e throughfall com os respectivos valores do total da concentração dos íons, respectivamente em precipitação e throughfall pode ser expressa através das seguintes equações de regressão:

$$\text{PRE-TOTAL} = 0,3482\text{CE} + 1,94 \quad (r^2 = 0,51)$$

$$\text{THROU-TOTAL} = 0,6804\text{CE} - 3,9548 \quad (r^2 = 0,80)$$

3.2.3. Concentração e Fluxo de Nutrientes

A Tabela 3 apresenta os valores médios das concentrações dos diferentes elementos analisados em precipitação e em throughfall.

Verifica-se que a concentração de cloro foi elevada nos meses de outubro e dezembro e julho e agosto (Ano I), com valores entre 0,66 e 0,77mg/L, respectivamente, e em novembro do Ano II (2,70mg/L), em precipitação. Em throughfall, os altos valores se apresentam durante o período seco (julho a dezembro).

Tabela 3. Concentração dos elementos, em precipitação, estudados na Flona Tapajós, durante o período de estudo. (continua)

MESES	PRECIPITAÇÃO								
	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²
ANO I - mg/L									
ABR	0,15	0,05	0,07	0,08	0,59	0,05	0,10	0,03	0,16
MAI	0,16	0,04	0,08	0,29	0,40	0,05	0,17	0,03	0,12
JUN	0,20	0,04	0,02	0,96	0,28	0,23	0,07	0,02	0,45
JUL	0,68	0,06	0,11	0,08	0,53	0,77	0,33	0,09	2,17
AGO	0,71	0,08	0,02	0,30	0,50	0,66	0,22	0,09	1,48
SET	0,21	0,10	0,05	0,21	0,59	0,16	0,14	0,06	1,34
OUT	0,66	0,00	0,00	0,00	0,53	1,19	0,55	0,17	0,87
NOV	0,36	0,06	0,06	0,28	0,48	0,71	0,29	0,07	0,83
DEZ	0,77	0,24	0,54	0,04	1,95	2,87	1,39	0,37	1,22
JAN	0,00	1,25	0,00	0,00	0,16	0,00	0,62	2,82	0,86
FEV	0,00	3,26	0,00	0,91	0,24	4,81	4,56	0,16	0,08
MAR	0,07	0,32	2,89	0,70	0,00	0,94	1,35	0,20	0,06
ANO II - mg/L									
ABR	0,00	0,48	1,13	0,71	0,00	0,95	3,85	0,58	0,18
MAI	0,00	0,56	0,30	0,00	0,00	0,49	0,19	0,05	0,12
JUN	0,32	0,03	0,05	0,00	0,32	0,23	0,09	0,05	1,93
JUL	0,30	0,01	0,00	0,00	0,35	0,03	0,03	0,05	2,32
AGO	0,43	0,03	0,01	0,01	0,38	0,11	0,07	0,07	1,94
SET	0,52	0,75	0,00	0,00	0,61	1,35	0,38	0,12	2,36
OUT	0,06	5,55	0,00	0,00	1,09	7,77	2,21	0,42	2,15
NOV	2,70	2,98	0,46	2,35	2,31	9,26	3,73	0,69	1,64
DEZ	0,05	0,00	0,72	2,39	0,75	7,28	2,50	0,26	0,67
JAN	0,33	0,22	0,21	0,52	0,32	7,72	1,31	0,09	0,22
FEV	0,00	1,19	0,36	0,04	0,64	5,73	1,30	0,19	0,21
MAR	0,00	0,26	0,24	0,24	0,21	0,82	0,20	0,07	0,38
ANO 1	0,33	0,46	0,32	0,32	0,52	1,04	0,81	0,34	0,80
ANO 2	0,39	1,01	0,29	0,52	0,58	3,48	1,32	0,22	1,18
MÉDIA	0,36	0,73	0,31	0,42	0,55	2,26	1,07	0,28	0,99

Tabela 3. Concentração dos elementos, em precipitação, estudados na Flona Tapajós, durante o período de estudo. (conclusão)

MESES	THROUGHFALL						
	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁻²	NA ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺
	ANO I - mg/L						
ABR	1,10	0,53	0,57	0,87	1,58	0,30	1,04
MAI	0,56	0,28	0,40	0,70	0,86	1,06	1,12
JUN	0,93	0,49	0,10	1,27	1,11	2,11	1,82
JUL	2,91	5,53	0,51	2,93	1,69	3,43	4,43
AGO	3,76	5,33	0,13	3,83	1,94	4,15	4,91
SET	2,24	4,14	0,77	0,95	1,52	2,63	3,64
OUT	4,53	7,04	3,20	0,08	3,16	4,56	5,59
NOV	1,95	2,91	1,04	1,40	1,56	2,56	3,01
DEZ	0,01	23,50	4,52	1,17	2,42	5,73	6,65
JAN	0,00	14,22	0,62	0,62	0,26	0,19	1,02
*FEV	0,00	10,34	2,04	6,77	0,00	7,72	3,66
MAR	0,00	5,22	1,54	0,00	0,00	3,02	1,29
ANO II - mg/L							
ABR	0,00	1,42	0,20	0,56	0,00	1,81	0,72
MAI	0,00	0,01	2,43	0,04	0,00	4,73	2,95
JUN	0,03	3,41	0,24	1,29	1,10	2,42	3,21
JUL	0,00	3,40	0,00	0,55	1,22	1,52	2,18
AGO	2,54	5,70	0,21	2,50	1,59	2,47	3,59
SET	1,34	6,76	0,00	0,53	1,48	1,77	3,57
OUT	0,00	12,08	0,35	10,48	2,64	2,09	7,37
NOV	0,01	35,95	0,38	11,84	3,12	5,10	8,69
DEZ	5,94	11,21	0,00	0,00	3,33	5,65	12,21
JAN	0,76	5,08	0,00	1,72	0,58	1,23	1,41
FEV	0,03	5,36	0,72	0,68	1,01	1,17	1,84
MAR	0,00	4,57	0,04	1,59	0,83	0,59	1,89
ANO 1	1,50	6,63	1,29	1,72	1,34	3,12	3,18
ANO 2	0,89	7,91	0,38	2,65	1,41	2,55	4,14
MÉDIA	1,19	7,27	0,83	2,18	1,37	2,83	3,66
							1,34
							1,96

A concentração de nitrato, nos meses de dezembro a maio do Ano I e outubro, novembro e fevereiro do Ano II, também alcançou valores excepcionais na precipitação, com máximo de 5,55mg/L. Em throughfall, esse íon alcançou números elevados nos meses de dezembro a fevereiro (Ano I), com máximo de 23,50mg/L, enquanto no Ano II altos valores foram medidos nos meses de outubro e novembro, reforçando a hipótese de excesso e inadequação da aplicação de fertilizantes na região.

As concentrações de fósforo e sulfato, também, apresentaram valores muito elevados nos meses de dezembro e março (Ano I), respectivamente, para precipitação (com 0,54 e 2,89mg/l, para PO_4^{-3}), e para sulfato os meses de junho (Ano I) e novembro (Ano II), apresentaram valores entre 0,96 e 2,35mg/L; em throughfall, os meses em que ocorreram maiores concentrações foi dezembro, para fosfato, com valor de 4,52mg/L, e, para sulfato, nos meses de fevereiro (Ano I) e outubro e novembro, com valores entre 6,77 e 11,84mg/L.

Quanto aos cátions (Tabela 3), o sódio apresentou maiores valores em precipitação, nos meses de dezembro (Ano I), com 1,94mg/L, enquanto no Ano II, os meses de outubro e novembro apresentaram valores de 1,09 e 2,31mg/L, respectivamente. Em throughfall, os valores encontrados elevados variaram de 0,86 a 3,16mg/L, compreendidos nos meses de junho a dezembro, nos dois anos de estudos.

Para o íon amônia (NH_4^+), as concentrações elevadas, em precipitação, ocorreram nos meses de outubro a fevereiro, com valores entre 1,82 a 9,26mg/L, respectivamente. Em throughfall, os valores encontrados foram extremamente elevados nos meses de julho a dezembro, com valores entre 2,74mg/l e 8,08mg/L.

Para o íon K^+ , em throughfall, houve uma normalidade de altos valores durante todo o período de estudo, com valores entre 0,72 a 9,74mg/L. Em precipitação, os meses de altas concentrações foram fevereiro (Ano I), com 4,56mg/L e abril (Ano II), com 3,85mg/L.

Os cátions Mg^{+2} e Ca^{+2} , apresentaram valores considerados elevados; em precipitação, os valores variaram de 0,03 a 2,82mg/L (Mg^{+2}) e 0,06 a 2,36mg/L (Ca^{+2}). Em throughfall, estes cátions apresentaram valores da ordem de 4,09mg/L (Mg^{+2}) e 3,93mg/L (Ca^{+2}), durante o período de estudo.

Dos dados apresentados pode-se dizer que as concentrações médias das espécies iônicas, em precipitação, apresentaram a seguinte seqüência: $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{NO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{PO}_4^{-3} > \text{Mg}^{+2}$. Entre os ânions, o de menor concentração média foi o fosfato (0,31mg/L). O íon NH_4^+ , entre os cátions, oferece a maior contribuição ao balanço de massa, com concentração média de 2,26mg/L; enquanto o Mg^{+2} contribuiu com apenas 0,28mg/L. Juntos, NH_4^+ , K^+ e Ca^{+2} contribuem com aproximadamente 62% do total da massa iônica, enquanto Mg^{+2} colabora com 4%.

A variabilidade temporal do fluxo iônico em precipitação e em throughfall é similar para muitos dos íons, embora o coeficiente de variação (CV) para throughfall seja menor do que para precipitação. O CV (a nível semanal) para throughfall cátions varia de 76% para Na^+ até 122% para K^+ , enquanto em precipitação o menor CV é apresentado pelo Ca^{+2} e o mais elevado, 273%, pelo Mg^{+2} .

Quanto aos ânions, o íon que apresenta maior CV, em throughfall, é o NO_3^- (212%), enquanto o íon Cl^- apresenta menor valor de CV (87%). Em precipitação, os padrões dos ânions foram semelhantes.

Os fluxos dos diferentes nutrientes estudados são apresentados na Tabela 4. Verifica-se que o fluxo, em precipitação, do íon cloreto, apresenta valor elevado no mês de dezembro do Ano I (0,56kg.ha⁻¹, com precipitação igual a 130,9mm). Na precipitação, este íon não apresenta variações sazonais definidas. Contudo, em throughfall, há uma relação direta inversa entre a precipitação e o fluxo deste íon, com valores mais elevados nos meses de menos precipitação.

O íon nitrato apresentou fluxos elevados nos meses do período úmido, durante o estudo, com valores variando de 0,10 a 5,52 kg.ha⁻¹.mês⁻¹. Para outros ânions estudados, verificam-se altos valores nos fluxos, em precipitação, no mês de abril.

A deposição de N inorgânico como NO_3^- e NH_4^+ em throughfall e na água de chuva foram de 82,04 e 74,09 Kg.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4. Fluxos de nutrientes na Flona Tapajós. (continua)

PREC		PRECIPITAÇÃO, kg.ha ⁻¹								
MESES	mm	Cl ⁻¹	NO ₃ ⁻¹	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁻²	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²
ANO I										
ABRIL	355,7	0,44	0,16	0,24	0,28	1,99	0,15	0,33	0,11	0,55
MAIO	301,6	0,46	0,13	0,31	0,93	1,32	0,16	0,63	0,08	0,35
JUNHO	157,3	0,25	0,07	0,04	1,05	0,38	0,21	0,09	0,03	0,58
JULHO	76,8	0,36	0,04	0,04	0,08	0,26	0,22	0,16	0,06	1,09
AGOSTO	73,9	0,52	0,05	0,02	0,24	0,36	0,41	0,15	0,07	1,12
SETEMBRO	110,5	0,30	0,09	0,06	0,31	0,58	0,12	0,13	0,06	1,42
OUTUBRO	82,9	0,32	0,00	0,00	0,00	0,25	1,07	0,44	0,15	0,45
NOVEMBRO	188,7	0,36	0,21	0,10	0,06	0,33	2,43	1,92	0,30	0,24
DEZEMBRO	130,9	0,56	0,10	0,20	0,13	1,27	2,24	0,43	0,12	0,41
JANEIRO	404,8	0,00	1,45	0,00	0,00	0,30	0,00	0,60	2,97	1,01
FEVEREIRO	472,6	0,01	3,59	0,00	1,31	0,97	8,12	4,52	0,15	0,07
MARÇO	262,6	0,03	0,15	0,98	0,28	0,00	2,47	3,54	0,52	0,16
ANO II										
ABRIL	305,8	0,01	0,70	4,88	3,09	0,00	3,81	16,54	2,49	0,73
MAIO	301,7	0,00	4,75	0,47	0,00	0,00	0,84	0,51	0,10	0,16
JUNHO	88,0	0,22	0,02	0,04	0,00	0,23	0,25	0,08	0,04	1,52
JULHO	121,7	0,14	0,01	0,00	0,01	0,24	0,02	0,02	0,05	2,04
AGOSTO	160,3	0,53	0,03	0,02	0,01	0,59	0,18	0,11	0,10	2,98
SETEMBRO	52,1	0,31	0,64	0,00	0,00	0,42	1,06	0,28	0,09	1,70
OUTUBRO	57,6	0,05	2,29	0,00	0,00	0,47	2,86	0,82	0,18	1,14
NOVEMBRO	33,00	0,53	1,12	0,08	0,47	0,59	2,56	1,01	0,17	0,43
DEZEMBRO	120,60	0,06	0,00	0,87	2,88	0,90	8,78	3,01	0,32	0,81
JANEIRO	363,80	1,23	0,73	0,80	2,06	1,04	26,92	4,40	0,36	0,90
FEVEREIRO	294,10	0,00	5,52	1,64	0,08	1,76	21,62	0,04	0,71	0,60
MARÇO	375,20	0,00	0,83	0,08	0,86	0,66	2,49	0,49	0,25	1,49

Tabela 4. Fluxos de nutrientes na Flona Tapajós. (conclusão)

Tabela 4. Fluxos de nutrientes na Flona Tapajós. (conclusão)											
MESES	THRO	THROUGHFALL, kg.ha ⁻¹							K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²
		Cl ⁻¹	NO ₃ ⁻¹	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁻²	Na ⁺	NH ₄ ⁺				
ANO I											
ABRIL	330,1	3,45	1,17	1,97	2,84	5,09	0,83	3,46	1,34	2,16	
MAIO	287,4	1,23	0,85	1,20	1,97	2,42	2,68	2,99	1,38	2,02	
JUNHO	134,3	0,64	0,83	0,13	1,38	1,35	2,07	2,04	0,86	1,21	
JULHO	65,7	1,56	2,08	0,31	1,41	1,08	2,10	2,71	0,88	1,02	
AGOSTO	59,9	2,21	2,85	0,07	2,14	1,14	2,42	2,88	0,89	0,90	
SETEMBRO	93,0	2,00	3,33	0,47	1,06	1,31	2,16	2,98	0,91	1,10	
OUTUBRO	75,0	3,31	4,71	2,26	0,07	2,18	3,17	4,05	1,41	1,46	
NOVEMBRO	155,9	0,01	3,49	2,87	1,35	1,93	4,87	4,28	1,66	1,95	
DEZEMBRO	111,3	0,00	12,00	1,39	3,22	0,83	5,01	1,94	1,73	1,02	
JANEIRO	354,3	0,00	14,45	0,61	0,61	0,47	0,09	1,05	0,34	0,68	
FEVEREIRO	368,1	0,00	6,96	0,96	5,67	0,00	10,58	2,49	0,42	0,64	
MARÇO	216,2	0,00	2,02	0,55	0,00	0,00	6,53	2,79	1,88	3,04	
ANO II											
ABRIL	253,2	0,00	2,70	0,63	1,02	0,00	4,82	1,71	1,37	2,35	
MAIO	228,1	0,00	0,01	4,91	0,06	0,00	7,69	1,72	1,88	3,58	
JUNHO	74,5	0,02	2,27	0,21	0,86	0,72	1,62	2,14	0,74	0,94	
JULHO	115,9	0,00	2,83	0,00	0,18	1,11	1,54	1,98	0,81	1,32	
AGOSTO	82,9	1,87	4,03	0,20	1,75	1,20	1,83	2,58	1,02	1,49	
SETEMBRO	51,1	0,62	3,48	0,00	0,34	0,80	1,05	1,95	0,59	0,94	
OUTUBRO	49,3	0,00	3,56	0,28	2,64	0,92	0,52	2,20	0,70	1,03	
NOVEMBRO	25,0	0,00	4,43	0,11	1,37	0,53	1,13	1,38	0,41	0,70	
DEZEMBRO	66,8	3,97	7,49	0,00	0,00	2,22	3,77	8,15	3,75	7,35	
JANEIRO	257,1	2,00	11,26	0,01	5,19	1,44	3,27	3,58	1,13	1,97	
FEVEREIRO	204,7	0,14	8,60	1,64	0,60	1,65	2,62	3,03	1,20	2,14	
MARÇO	56,2	0,00	6,08	0,02	3,28	1,71	1,00	3,16	1,34	2,41	

Tabela 5. Fluxo de deposição seca, fator de enriquecimento e throughfall líquido dos nutrientes na Flona Tapajós.

Fluxo de deposição seca, fator de enriquecimento e throughfall líquido dos nutrientes na montanha repense.															
Nutrientes	DEPOSICAO SECA					PERCENTUAL	FATOR					Throughfall líquido médio			Throughfall
					Dep.Total	%	ENRIQUECIMENTO								Líquido
	KG/HA				TOTAL		TOTAL					P. Total			
	P. UMIDO	P. SECO	TOTAL				P. UMIDO	P. SECO	TOTAL	P. UMIDO	P. SECO	P. Total			
CLORO	2,64	8,05	10,69		23,03	46,39	2,87	2,89	2,74	0,09	0,22	0,15		10,80	
NITRATO	-0,9	4,04	3,13		111,48	2,81	1,91	9,93	3,03	1,63	0,96	1,33		48,69	
FOSFATO	1,14	1,95	3,1		20,8	14,9	0,41	4,40	0,62	0,11	0,13	0,10		10,82	
SULFATO	4,69	5,61	10,3		39,02	26,39	0,96	2,72	1,25	0,40	0,22	0,32		17,04	
SODIO	6,2	8,98	15,18		30,09	50,45	0,71	1,41	1,40	0,12	0,17	0,17		9,79	
AMONIA	6,36	37,37	43,73		73,36	59,61	-0,18	0,35	0,18	-0,31	0,15	0,16		24,91	
POTASSIO	-0,27	19,08	18,81		67,25	27,97	-0,20	3,35	0,47	-0,20	0,55	0,24		20,73	
MAGNESIO	2,54	3,96	6,5		28,65	22,69	-0,06	7,59	0,64	-0,02	0,25	0,12		9,08	
CALCIO	9,14	26,31	35,46		43,4	81,7	1,36	0,46	1,18	0,30	0,12	0,24		9,73	

P. Úmido = período úmido; P. Seco = período seco; Dep. Total = deposição total (deposição úmida + deposição seca); percentual = deposição seca total * 100 / deposição total; throughfall líquido total = (fluxo throughfall - fluxo precipitação); Fator de enriquecimento = (fluxo líquido / fluxo precipitação).

3.2.4. Fluxo Líquido e Fator de Enriquecimento

O fator de enriquecimento (FE), dos elementos analisados (Tabela 5), apresenta a seqüência $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{-2} > \text{Ca}^{+2} > \text{K}^+ > \text{PO}_4^{-3} > \text{Mg}^{+2} > \text{NH}_4^+$. Novamente, chama atenção o fato de o amônio apresentar menor valor do fator de enriquecimento, confirmando os dados apresentados pelo fluxo líquido de throughfall.

Este fator proporciona uma medida da quantidade relativa de material que têm sido apanhada da vegetação e incorporado à água da chuva quando esta atravessa a vegetação (Forti et al, 2000). Entre as diferentes espécies iônicas estudadas, o íon que apresentou mais elevado FE foi o NO_3^- (FE=3,03) e o de mais baixo FE foi o NH_4^+ (0,18).

Na Tabela 5 verifica-se, também, que a deposição seca é o principal processo pelo qual os nutrientes entram no sistema florestal. Utilizando a equação $\text{DS} = (\text{TL}/\text{DU})_{\text{Na}} \cdot \text{DU}$ (DS = deposição seca; TL = throughfall líquido; DU = deposição úmida), conforme Beier, Gundersen e Rasmussen (1992) e Zeng et al (2004), foi estimado a deposição seca de particulado para os elementos potássio, magnésio e cálcio, analisados neste estudo (Tabela 5); esta equação é largamente utilizada para estimar deposição seca de particulados de muitas substâncias (BREDEMEIER, 1988; GODT; WEYER, 1989; IVENS, 1990; ZENG et al, 2004). Como pressupostos, devemos lembrar que a equação acima prediz que não há troca entre a vegetação e a água de precipitação percolando através da cobertura vegetal

O fluxo líquido dos nutrientes na Flona Tapajós (Tabela 6), mostra que, durante o período úmido, os íons nitrato, sulfato, sódio, magnésio e cálcio apresentam valores elevados, indicando o efeito da quantidade de precipitação na ciclagem destes elementos na área de estudo. Fato interessante é com respeito ao íon amônia, que apresenta fluxo negativo durante a estação úmida ($-23\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{estação}^{-1}$), mostrando que o mesmo deve ser oriundo de processos que independem da umidade, ou que a vegetação da floresta utiliza este elemento como fonte de nitrogênio para nitrificação, haja vista o elevado valor do throughfall líquido do nitrato durante este período.

Ainda na Tabela 6 verifica-se que no período chuvoso não ocorre absorção, pela vegetação, de nenhum dos íons estudados (exceção de NH_4^+ e K^+), enquanto que, no período seco (julho a dezembro) este processo acontece para o íon Ca^{+2} . Para este

elemento em particular, os valores negativos ocorrem entre julho-setembro, época em que as lavouras são colhidas e o solo ainda não foi preparado para o próximo cultivo, sem ter recebido, neste período, a aplicação de calcário (normalmente, 3-4t/ha de calcário dolomítico).

Tabela 6. Fluxo líquido na Flona Tapajós, durante todo o período de estudo.

MESES	Cl ⁻¹	NO ₃ ⁻¹	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁻²	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²
	kg.ha ⁻¹								
ABRIL	3,02	1,01	1,73	2,56	3,10	0,68	3,13	1,23	1,61
MAIO	0,77	0,72	0,89	1,03	1,10	2,52	2,36	1,30	1,67
JUNHO	0,39	0,76	0,10	0,33	0,96	1,86	1,96	0,83	0,64
JULHO	1,20	2,04	0,27	1,33	0,82	1,88	2,55	0,82	-0,07
AGOSTO	1,69	2,79	0,05	1,90	0,78	2,01	2,74	0,83	-0,22
SETEMBRO	1,70	3,24	0,41	0,75	0,73	2,04	2,85	0,85	-0,33
OUTUBRO	2,99	4,71	2,26	0,07	1,92	2,10	3,61	1,26	1,01
NOVEMBRO	-0,35	3,28	2,77	1,29	1,61	2,45	2,35	1,35	1,71
DEZEMBRO	-0,56	11,90	1,19	3,09	-0,43	2,77	1,51	1,61	0,61
JANEIRO	0,00	13,00	0,61	0,61	0,18	0,09	0,45	-2,63	-0,33
FEVEREIRO	-0,01	3,36	0,96	4,37	-0,97	2,46	-2,03	0,27	0,57
MARÇO	-0,03	1,87	-0,43	-0,28	0,00	4,06	-0,75	1,35	2,87
ABRIL	-0,01	2,00	-4,25	-2,07	0,00	1,01	-14,84	-1,12	1,62
MAIO	0,00	-4,74	4,44	0,05	0,00	6,85	1,21	1,78	3,43
JUNHO	-0,19	2,25	0,17	0,86	0,50	1,37	2,06	0,69	-0,58
JULHO	-0,14	2,82	0,00	0,17	0,87	1,52	1,96	0,76	-0,72
AGOSTO	1,34	4,00	0,18	1,74	0,60	1,65	2,47	0,92	-1,49
SETEMBRO	0,32	2,84	0,00	0,34	0,38	-0,01	1,67	0,50	-0,76
OUTUBRO	-0,05	1,27	0,27	2,64	0,44	-2,34	1,38	0,52	-0,11
NOVEMBRO	-0,53	3,31	0,03	0,90	-0,06	-1,42	0,37	0,24	0,26
DEZEMBRO	3,91	7,48	-0,87	-2,88	1,32	-5,00	5,14	3,43	6,54
JANEIRO	0,77	10,54	-0,79	3,13	0,40	-23,66	-0,82	0,77	1,07
FEVEREIRO	0,14	3,09	-0,01	0,53	-0,11	-19,00	2,99	0,50	1,53
MARÇO	0,00	5,26	-0,06	2,43	1,05	-1,48	2,68	1,09	0,92
P.UMIDO	4,84	39,10	3,36	13,54	6,20	-23,25	-1,59	6,06	15,01
P.SECO									
TOTAL	10,80	48,69	10,82	17,04	9,79	24,91	20,73	9,08	9,73

Pode-se observar que os inputs durante o período seco (Tabela 6) estão na seqüência NH₄⁺ > K⁺ > NO₃⁻ > PO₄⁻³ > Cl⁻ > Na⁺ > SO₄⁻² > Mg⁺² > Ca⁺², com valores entre 48,2 e -5,3 para amônia e cálcio, respectivamente, enquanto os íons nitrato e amônia apresentaram valores entre 39,1 e -23,2 kg.ha⁻¹, respectivamente, no período úmido.

O retorno iônico em throughfall, para o período úmido, segue a seqüência Mg⁺² > NH₄⁺ > K⁺ > NO₃⁻² > PO₄⁻³ > Cl⁻ > Ca⁺² > SO₄⁻² > Na⁺, enquanto para o período seco esta seqüência é SO₄⁺² > Cl⁻ > NO₃⁻ > K⁺ > Mg⁺² > PO₄⁻³ > NH₄⁺ > Na⁺ > Ca⁺².

O íon nitrato apresentou valores muito mais elevados para o throughfall líquido do que em precipitação. Padrão semelhante também foi observado para todos os elementos estudados. A seqüência de ânions que obtiveram maiores valores percentuais sobre a deposição úmida foi Cloreto (6,7)> Sulfato (4,4)> Nitrato (3,4)> Fosfato (2,8).

3.2.5. Análise Estatística

A análise das diferenças, pelo teste t (Tabela 7), das concentrações dos elementos estudados, em throughfall, na Flona Tapajós, não mostrou significância entre o período seco e o período úmido, para os íons fosfato e amônia e, com exceção do íon sulfato, todos os outros íons apresentaram coeficientes significativos a 1%. Em precipitação, somente os íons cloro, sódio e cálcio mostraram diferença significativa ($p<0,01$). Quando analisamos os fluxos dos elementos, verifica-se que, em throughfall, somente o anion cloreto ($p<0,05$) apresentou significância entre os períodos analisados; em precipitação, o mesmo acontece, porém, com maior significância ($p<0,01$).

O íon cloreto foi o único que apresentou diferença significativa entre os anos estudados ($p<0,05$), em concentração (throughfall e precipitação). Para os fluxos, somente cloreto e fosfato apresentaram significância ($p<0,05$).

O coeficiente de variação (CV) dos períodos úmidos, secos e de todo o período do estudo (Tabela 8), mostra que durante a época seca há menor variação no fluxo dos elementos, indicando que a precipitação tem fator decisivo na variabilidade dos elementos estudados. Também, em throughfall, há menor variação nos fluxos dos elementos, com exceção dos íons cloro, sódio e cálcio.

Quando se compara o efeito da estação do ano no fluxo dos elementos, verifica-se que os íons cloro e sódio (throughfall) apresentam maiores valores no período seco, enquanto cloro e cálcio (precipitação) mostram maiores fluxos neste período.

Utilizando-se a técnica estatística de análise de componentes principais, com rotação varimax normalizada (fatores com eigenvalues $>1,0$), três fatores foram identificados como fontes potenciais dos elementos químicos medidos na Flona Tapajós (Tabela 9), além dos valores de eigenvalues e comunalidade.

Esses três fatores explicam mais de 75% de toda a variância observada durante o período de estudo, com o fator fertilizantes/corretivos (Fator 1) sendo responsável por 40% da variância

Com respeito à comunalidade, todos os fatores apresentam valores significativos, exceto nitrato e fosfato que apresentam valores baixos.

Na Tabela 10 verificam-se os coeficientes de correlação entre os elementos estudados em throughfall (concentração e fluxo). Chama atenção a correlação significativa ($P < 0.05$) do nitrato com todos os outros elementos (exceção do cloro) e entre os cátions entre si, provavelmente indicando uma fonte similar, a qual sugerimos seja a deposição-seca. Interessante, também, é verificar a ausência de correlação entre alguns elementos (NO_3^- x NH_4^+ , por exemplo), em fluxo, sugerindo o papel diferencial da precipitação no processo de intervenção destes dois íons.

Tabela 7. Teste t, entre o período seco e úmido, para concentração e fluxo de elementos na Flona Tapajós.

CONCENTRAÇÃO - mg/L									
THROUGHFALL									
Elementos	P.SECO	P.UMIDO	SECO/UMIDO	p	Elementos	P.SECO	P.UMIDO	ECO/UMID	p
Cloro	0,52	0,11	4,73	<0,01	Cloro	1,78	0,23	7,74	<0,01
Nitrato	1,27	2,68	0,47	NS	Nitrato	10,85	4,15	2,61	<0,01
Fosfato	0,21	0,39	0,54	NS	Fosfato	1,30	0,80	1,63	NS
Sulfato	0,33	0,97	0,34	<0,05	Sulfato	3,05	1,44	2,12	<0,05
Sodio	0,41	0,28	1,46	NS	Sodio	2,06	0,57	3,61	<0,01
Amonia	0,69	1,61	0,43	NS	Amonia	3,49	2,42	1,44	NS
Potassio	1,00	0,80	1,25	NS	Potassio	5,19	1,86	2,79	<0,01
Magnesio	0,37	0,33	1,12	NS	Magnesio	1,81	0,76	2,38	<0,01
Calcio	0,55	0,52	1,06	NS	Calcio	2,44	1,12	2,18	<0,01

PRECIPITAÇÃO									
mg/L									
Elementos	P.SECO	P.UMIDO	SECO/UMIDO	p	Elementos	P.SECO	P.UMIDO	ECO/UMID	p
Cloro	0,11	0,03	3,67	<0,01	Cloro	0,71	0,08	8,88	<0,01
Nitrato	0,12	0,83	0,14	NS	Nitrato	0,74	0,79	0,94	NS
Fosfato	0,03	0,31	0,10	NS	Fosfato	0,15	0,48	0,31	NS
Sulfato	0,11	0,46	0,24	NS	Sulfato	0,38	0,50	0,76	NS
Sodio	0,15	0,13	1,15	NS	Sodio	0,87	0,23	3,78	<0,01
Amonia	0,59	1,35	0,44	NS	Amonia	2,63	1,11	2,37	NS
Potassio	0,23	0,9	0,26	NS	Potassio	0,98	1,04	0,94	NS
Magnesio	0,04	0,35	0,11	NS	Magnesio	0,22	0,35	0,63	NS
Calcio	0,37	0,14	2,64	<0,01	Calcio	1,63	0,39	4,18	<0,01

NS = Não significativo

Tabela 8. Coeficiente de variação (106 semanas) dos fluxos dos elementos estudados na Flona Tapajós.

Elementos	Coeficiente de Variação					
	precipitacao			throughfall		
	TUDO	UMIDO	SECO	tudo	umido	seco
cloro	132,74	169,12	94,45	236,40	374,34	171,60
nitrato	407,69	336,87	265,00	215,20	214,79	101,50
fosfato	410,53	326,11	421,24	184,35	170,61	196,90
sulfato	363,81	307,83	429,55	202,13	184,55	124,61
sodio	171,71	227,08	98,33	145,71	195,18	101,90
amonia	344,95	333,83	254,73	270,17	266,93	108,06
potassio	416,20	368,99	235,91	138,21	145,11	132,58
magnesio	527,62	421,03	133,75	126,97	81,91	160,84
calcio	110,43	138,14	81,65	153,96	78,38	213,33

Tabela 9. Análise de componentes principais, com variância e comunalidade.

Elementos	Fator 1	Fator 2	Fator 3	comunalidade
	Fert/Corret	Queim/Fert.	Transf./Fert.	
Cloro	0,89	-0,08	-0,14	0,71
Nitrato	0,1	0,2	0,77	0,42
Fosfato	-0,04	-0,06	0,76	0,22
Sulfato	-0,02	0,9	0,24	0,85
Sodio	0,8	-0,08	-0,23	0,61
Amonio	0,07	0,93	-0,07	0,82
Potassio	0,67	0,16	0,58	0,85
Magnesio	0,83	0,18	0,32	0,91
Calcio	0,85	0,08	0,35	0,92
Variancia	40,80	22,10	14,63	

Tabela 10. Matriz de correlação entre os elementos estudados na Flona Tapajós, em throughfall e precipitação (concentração e fluxo, respectivamente). Valores em vermelho são significantes a $p < 0,05$ ($n = 106$ semanas).

Nutrientes	Precipitacao - concentracao									Precipitacao - fluxo								
	Cl ⁻¹	NO ₃ ⁻¹	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁻²	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Cl ⁻¹	NO ₃ ⁻¹	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁻²	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²
Cl ⁻¹	1									1								
NO ₃ ⁻¹	0,05	1								-0,16	1							
PO ₄ ⁻³	-0,04	-0,04	1							-0,17	0,34	1						
SO ₄ ⁻²	0,4	0,34	0,05	1						-0,11	0,41	0,3	1					
Na ⁺	0,59	0,24	0,03	0,27	1					0,05	0,31	0,15	0,17	1				
NH ₄ ⁺	0,35	0,22	0,06	0,46	0,39	1				-0,11	0,14	0,11	0,75	0,14	1			
K ⁺	0,14	0,66	0,2	0,5	0,29	0,31	1			-0,11	0,64	0,73	0,46	0,29	0,17	1		
Mg ⁺²	0,05	0,16	0,05	0,11	0,07	0,07	0,23	1		-0,11	0,16	0,13	0,07	-0,07	0,02	0,15	1	
Ca ⁺²	0,42	0,05	-0,08	-0,05	0,45	0,05	-0,01	0,21	1	0,18	-0,11	0,05	0,04	0,21	0,05	0,11	0,53	1

Nutrientes	Throughfall - concentracao									Throughfall - fluxos								
	Cl ⁻¹	NO ₃ ⁻¹	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁻²	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Cl ⁻¹	NO ₃ ⁻¹	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁻²	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²
Cl ⁻¹	1									1								
NO ₃ ⁻¹	-0,05	1								0,01	1							
PO ₄ ⁻³	-0,05	0,38	1							-0,06	0,32	1						
SO ₄ ⁻²	-0,03	0,62	-0,12	1						-0,09	0,36	0,13	1					
Na ⁺	0,48	0,59	0,22	0,4	1					0,75	-0,06	-0,08	-0,03	1				
NH ₄ ⁺	0,1	0,28	0,37	0,22	0,24	1				0,01	0,07	0,01	0,72	-0,05	1			
K ⁺	0,27	0,74	0,46	0,52	0,74	0,43	1			0,5	0,5	0,33	0,36	0,4	0,05	1		
Mg ⁺²	0,28	0,59	0,52	0,28	0,64	0,54	0,88	1		0,59	0,32	0,16	0,11	0,44	0,26	0,69	1	
Ca ⁺²	0,28	0,55	0,35	0,32	0,58	0,4	0,82	0,92	1	0,61	0,31	0,19	0,04	0,45	0,16	0,73	0,95	1

3.3. DISCUSSAO

A estimativa do valor médio de throughfall (% da precipitação) de 84+/-10% (período seco) e 90+/-10% (período úmido), não difere muito dos encontrados por Lloyd e Marques (1988) e Forti e Neal (1992), ao nível de significância de 95%.

Throughfall e precipitação foram altamente correlacionadas, conforme verificamos na Figura 3, mesmo considerando as estações existentes, com coeficiente de determinação (r^2) acima de 0,95. Em outras palavras, podemos dizer que throughfall pode ser predito, baseado em dados de quantidade de precipitação, embora que, para a predição de interceptação, outros parâmetros, tais como a estrutura da floresta, deva ser incluído.

O coeficiente de variação – CV (Tabela 8), apresentou valores muito superiores aos encontrados por Tobón Marin, Bouten e Sevink (2000), na Colômbia, em quatro diferentes tipos de florestas.

Os volumes de precipitação e de throughfall, durante o período úmido e seco, seguem o padrão normal, com throughfall sendo menor na grande maioria das semanas coletadas, sendo que a variação entre precipitação e throughfall pode ser de 10 a 50 mm, semelhante aos valores encontrados por Satterlund (1972).

A relação throughfall-precipitação mostrou correlação linear e significativa ($r^2 = 0,96^{**}$ e $r^2 = 0,98^{**}$), para período úmido e período seco, respectivamente. Segundo Forti e Neal (1992), isto significa que a perda pela interceptação é suficientemente regular para o sinal de precipitação ser ainda observado no throughfall.

Ligeiros aumentos nos valores de pH foram observados, em throughfall, durante o período seco, provavelmente devido ao acréscimo de substâncias que favoreçam essa elevação, através da queima da vegetação, prática comum de agricultura migratória, ainda em execução nas proximidades da área de estudo.

Para várias florestas tropicais no mundo, os valores de pH da água da chuva são, em sua quase totalidade, menores de 5,6, embora haja algumas exceções (Tabela 11). Visser (1961) explica que os altos valores de pH em Kampala, são excepcionalmente elevados devido à presença de "wind blown" e poeiras suspensas ricas em compostos básicos.

Tabela 11. Valores de pH, em precipitação, em florestas tropicais do mundo.

<i>LOCAL</i>	<i>pH</i>	<i>Faixa</i>	<i>Referência</i>
AMAZONIA	5,1	4,7 - 5,7	Stallard e Edmond (1981)
AMAZONIA	4,7	4,0 - 5,3	Forti e Moreira-Nordemann (1991b)
VENEZUELA	4,6	3,8 - 6,2	Steinhardt e Fassbender (1979)
MALASIA			Manokaran (1981)
VENEZUELA	4,8	4,4 - 5,2	Galloway et al (1982)
TURRIALBA	5,3	4,8 - 6,3	Hendry, Berish e Edgerton (1984)
TRINIDAD	5,8	5,3 - 6,4	McDowell (1988)
KAMPALA	7,9	5,7 - 9,8	Visser (1961)
AUSTRALIA	4,8	4,2 - 5,4	Galloway et al (1982)
AMAZONIA	6,4	5,5 - 7,3	Oliveira Junior (este estudo)

Fonte: Modificado de Forti & Neal (1992)

Os valores de pH em throughfall apresentam-se ligeiramente mais alcalinos do que o pH em precipitação (Tabela 2). Convém salientar que, durante o período chuvoso e logo após seu final, há ligeira acidificação na água de precipitação, o que não ocorre em nenhuma amostra no período seco, o que discorda dos valores encontrados por Houbao et al. (1999). Provável explicação é a intensa e inadequada utilização de fertilizantes na região lançando cátions básicos para a atmosfera.

As variações no pH, em throughfall, durante as semanas de amostragem refletem, provavelmente, as variações nas quantidades de sulfatos, ácidos carbônico, nitratos e etc na atmosfera e de resíduos ácidos de matéria orgânica em decomposição sobre as folhas e troncos das árvores. Apesar de não terem sido medidos os ácidos orgânicos, isto era esperado durante a realização do estudo, pois dependia das condições do tempo, tais como precipitação, quantidade de partículas atmosféricas e movimento de ventos, tanto quanto fatores vegetativos, como quantidade de exsudatos dos tecidos e das condições de desenvolvimento das plantas (MANOKARAN, 1980).

Segundo Forti e Neal (1992), a acidez da água da chuva em florestas tropicais pode ser relacionada a contribuições não marinhas de nitrato e sulfato. Como exemplo, esses autores citam que Stallard e Edmond (1981) consideram que o nitrogênio reduzido de fontes terrestres e o enxofre de fontes terrestres e marinhas são responsáveis pelas concentrações elevadas de nitrato e sulfato observados em deposição na bacia amazônica. Estas altas concentrações, também, são encontradas neste estudo.

O valor de referência geralmente utilizado para comparar precipitação ácida com precipitação normal é pH 5.6, que é o pH resultante do equilíbrio do CO₂ atmosférico com a água da chuva (LIMA; BARBIN, 1975; PRAKASA RAO et al., 1995). Verificaram-se valores em precipitação entre 5.2 e 7.8 e média de 6.4 para o total dos eventos amostrados. Porém, analisando os valores médios entre as estações (úmida e seca), verifica-se que o pH é de 5.8 e 6.6, para os períodos úmido e seco, respectivamente, em precipitação, mostrando a importância do particulado básico na atmosfera durante este período, resultante das sobras deixadas pelas culturas de arroz e soja (Tabela 12). Neste aspecto, o incremento de íons básicos durante o período seco é da ordem de 50% em relação período úmido, principalmente, para cálcio, que contribui com 4x mais durante este período, devido, principalmente, à correção dos solos durante esta época do ano (vide Figura 11A).

Segundo alguns autores (FORTI; MOREIRA-NORDEMANN, 1991a, FORTI; NEAL, 1992; PRAKASA RAO et al., 1995), esta variação observada nas duas estações pode ser devido à variação na concentração de ácidos orgânicos (fórmicos e acéticos), que não foram medidos neste estudo.

Yu e Park (2004) relatam pobre correlação entre o pH e a soma das concentrações de nitrato e sulfato (Figura 8), devido, principalmente, à neutralização efetuada por radicais hidroxilas liberadas pela reação de produção do íon amônio:

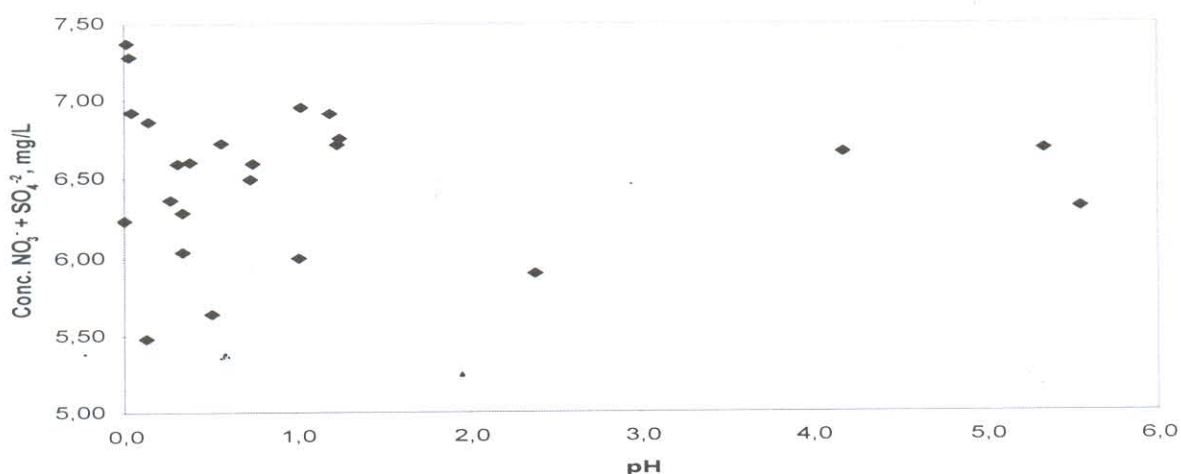


Figura 8. Correlação entre pH (precipitação) e concentração de nitrato+sulfato, na Flona Tapajós.

Como não houve correlação, ousamos dizer que na Flona Tapajós, os principais elementos responsáveis pela neutralização da acidez são os cátions cálcio e magnésio, concordando com os resultados encontrados por Tanner e Fai (2000), além do amônio.

Significativos coeficientes foram encontrados entre condutividade elétrica e precipitação e throughfall. Resultados semelhantes foram encontrados por Houbao et al. (1999) em floresta, no período chuvoso; e os significativos coeficientes de regressão demonstram que a CE é altamente dependente dos íons presentes.

Fatores de neutralização foram utilizados para avaliar a contribuição relativa da neutralização da precipitação (ou o aumento do pH), de acordo com a equação de Possanzini, Buttini e Di Paolo (1988):

$$NF_x = X / (SO_4^{2-} + NO_3^-) \quad (2),$$

onde X é a concentração do íon de interesse, com todos os íons expressos em mg/l (HU, BALASUBRAMANIAN; WU, 2003). Os fatores encontrados foram: 0,26, 0,18 e 0,04, para NH_4^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} , indicando que NH_4^+ e Ca^{+2} foram as substâncias dominantes no processo de elevação do pH, concordando com os dados obtidos por Hu, Balasubramanian e Wu (2003) em Singapura.

Na Amazônia, segundo Talbot et al. (1990), as concentrações iônicas na água da chuva são grandemente associadas com as condições meteorológicas prevalentes durante o período de amostragem. O período de amostragem deste estudo (104 semanas) deve minimizar o efeito deste processo.

Altos valores de sódio, em concentração, foram observados (Tabela 3). Estes valores estão acima dos encontrados na região amazônica (Tabela 12) e em florestas tropicais (FRANKEN, LEOPOLDO; BERGAMIN, 1985; FORTI; NEAL, 1992; CORNU et al, 1998). Os autores deste estudo sugerem que parte considerável deste sódio pode estar sendo trazido por ventos leste-oeste das superfícies dos solos salinos encontrados na região do Médio Amazonas, a leste da área de estudo, nos meses de estiagem, que se iniciam em julho e finalizam em dezembro.

Geralmente, Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ são sujeitos à lavagem da cobertura vegetal (PARKER, 1983). Isto pode contribuir significativamente para o fluxo de Ca^{+2} e Mg^{+2} em throughfall, especialmente em áreas onde o ingresso (input) de NH_4^+ é substancial,

levando à troca entre os cátions básicos e o NH_4^+ (ROELOFS et al, 1985). Esta situação parece ocorrer, em alguma extensão, na Flona Tapajós.

A positiva e forte correlação entre magnésio e cálcio ($r^2 = 0,86$), em throughfall, reforça a hipótese de que os fluxos destes elementos são provenientes de uma mesma fonte (corretivos – calcário dolomítico), além do processo de deposição seca ser o fator preponderante no acúmulo desses nutrientes. Também, forte e significativa relação entre sulfato e amônio, tanto em precipitação como em throughfall, reforçam a idéia de mesma origem destes nutrientes (sulfato de amônio) o qual divide com a uréia a primazia junto aos agricultores locais para suprir as necessidades de nitrogênio das culturas.

Para o potássio, é normalmente assumido que a concentração deste elemento em throughfall é quase inteiramente devido à lavagem da cobertura vegetal, o que significa, segundo Parker (1983), que a deposição seca é praticamente nula, porém, o autor deste estudo sugere também a hipótese de que substancial quantidade de potássio alcança a floresta via deposição seca, por excesso de aplicação de adubos potássicos (cloreto de potássio - KCl, principalmente) nas lavouras de soja e arroz situadas a nordeste, leste e norte da Flona Tapajós. Resultados positivos e significativos de r^2 mostrados neste estudo (em precipitação e throughfall) permitem inferir que a agricultura contribuiu com a deposição deste elemento na Flona Tapajós.

Tabela 12. Valores médios de concentrações iônicas, em throughfall, em florestas tropicais no mundo.

LOCAL (Referência)	CL	SO ₄	NA	NH ₄ mg/L	K	MG	CA
Panamá ¹	ND	ND	1,5	ND	3,2	0,6	2,4
Ivory Coast ²	ND	ND	ND	ND	3,7	2,1	1,4
Nova Guiné ³	ND	ND	3,9	ND	1,6	0,3	1,1
Australia (floresta 1) ⁴	ND	ND	1,3	ND	12,5	2,5	5
Australia (floresta 2) ⁴	ND	ND	3,1	ND	9,7	2,1	5,6
Amazonia Central ⁵	ND	ND	18,3	ND	34	8,3	0,32
Amazonia Central ⁶	2,88	2,49	0,54	1,14	1,46	0,31	0,06
Amaz. Cent. Per. seco ⁷	0,74	1,1	0,68	0,11	0,98	0,27	0,41
Amaz. Cent. per. umido ⁷	0,37	0,46	0,24	0,08	0,26	0,08	0,2
Este Estudo ⁸	3,01	3,19	2,17	4,48	6,41	1,79	1,79

¹ Golley et al (1975); Bernhardt-Reversat (1975); ³ Turvey (1974); ⁴ Brassel e Sinclair (1983); ⁵ Nortclif e Thornes (1978); ⁶ Franken e Leopoldo (1984); ⁷ Forti e Moreira-Nordemann (1991b); ⁸ Oliveira Junior (este estudo)

Em throughfall, nitrato, potássio e amônia contribuem com aproximadamente 58% do balanço de massa. A título de comparação, Xiao e Liu (2002) encontraram, no sudoeste da China, valores extremamente elevados para sulfato, em duas épocas distintas, com valores de 42,9 e 22,63mg/L, respectivamente, para o ano de 1984 e 2001.

O íon cloro apresentou, em precipitação valores muito inferiores aos medidos por Cornu et al (1998) na região de Manaus (5,47kg.ha, no mês de abril/94, com precipitação de 455mm). Em throughfall, Franken e Leopoldo (1984) mediram fluxos de até 21,1kg.ha.ano, na reserva Ducke, em Manaus, com precipitação de 2070mm. Neste estudo na Flona Tapajós, foram medidos fluxos de cloro de até 23kg.ha⁻¹.ano⁻¹, com precipitação de 3716mm (período total).

O cátion Na⁺, em precipitação, não apresentou fluxo muito elevado (7kg.ha⁻¹.ano⁻¹), porém, este valor é superior aos encontrados por Cornu et al (1998) na região de Manaus e, também, superiores aos encontrados por Forti e Moreira-Nordemann (1991a) e Forti e Neal (1992). Também, não foram observadas diferenças entre os fluxos médios nos períodos seco e úmido. Em throughfall, este cátion alcançou o expressivo valor de 30kg.ha⁻¹.ano⁻¹. Foram observadas diferenças entre os períodos secos e úmidos, com valores médios de 9,5 e 13,0kg.ha⁻¹.estação⁻¹, diferenças essas devidas, principalmente, à maior quantidade de precipitação no período chuvoso, sugerindo que o transporte deste cátion seja por via úmida.

Vários autores documentam que a deposição de nitrogênio é uma das principais fontes deste nutriente para o ecossistema (LINDBERG et al, 1986; PARAMÉE et al., 2005). As maiores espécies de nitrogênio na atmosfera existem como gás amônia (NH₃), óxidos de nitrogênio, íon amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) e nitrogênio orgânico dissolvido – DON (PARAMÉE et al., 2005). O íon amônio está presente na precipitação como o resultado da dissolução da amônia atmosférica e lavagem de NH₄⁺ particulado (ERISMAN et al., 2001). Este mesmo autor menciona que a principal fonte de amônia atmosférica é a emissão de atividades agrícolas (fertilização com uréia, principalmente, e excrementos animais) e, por isso, altos fluxos de NH₄⁺ em precipitação foram medidos, sugerindo que altas taxas de emissão de NH₃ foram lançadas na atmosfera.

A proximidade da floresta estudada a atividades agrícolas intensivas, com altos níveis de fertilização e correção dos solos, o que, com altas temperaturas durante todo o período de cultivo, pode promover a emissão de NH_3 (ASMAN, 1992), através da hidrólise da uréia. Em grande extensão isto ocorre, também, na Europa (DEVCLAEMINCK, SCHRIJVER; HERMY, 2004)

Compostos de nitrogênio lavados da folhagem da floresta são, normalmente, na forma orgânica (CARLISLE, BROWN; WHITE, 1966; ALENAS; SKARBY, 1988; DRAAIJERS et al, 1989) e, por isso, não era esperada influência no fluxo de nitrogênio inorgânico (NH_4^+ ; NO_3^-) em throughfall. Porém, à vista dos valores obtidos neste estudo, onde foram medidos fluxos de nitrogênio da ordem de $41\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, esta hipótese é afastada. Lovett et al. (1985) relatam retenção de nitrogênio pela vegetação de floresta decídua da ordem de 2.7 a $4.6\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, o que representa aproximadamente 10% do fluxo líquido neste estudo. Sobre a luz desses resultados e comparando o fluxo líquido em várias florestas tropicais do mundo, verifica-se que os compostos nitrogenados inorgânicos são depositados a taxas maiores e/ou muito maiores do que a possível ciclagem interna, concordando com os dados de Bredemeier (1988).

A alta relação $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ (3,92), em precipitação, em comparação com os valores em throughfall (0,66), indica que está havendo nitrificação e/ou preferência na absorção, pelas folhas das espécies florestais (Figura 9), pelo NH_4^+ (CHEN et al., 1983; WILSON, 1992; TOBON MARIN, SEVINK; VERSTRATEN, 2004). Também, aumentos de nitrogênio, em throughfall, em algumas florestas da Amazônia (EDWARDS 1982; BROUWER, 1996) tem sido atribuído ao grande estoque desse nutriente nos tecidos vegetais e seu lançamento por decomposição das folhas que ainda estão anexadas às árvores, e que ainda não sofreram abscisão (DUIVENVOORDEN; LIPS, 1995). Os altos valores encontrados em precipitação, para o íon NH_4^+ , podem ser o resultado de gás amônio liberado durante a hidrólise da uréia aplicada na agricultura intensiva praticada a leste da área de estudo, assim como a transferência de partículas contendo NH_4^+ .

Embora os autores acreditem que ocorre o processo acima descrito, deposição seca e úmida de nitrato pode, também, ser regulada pela oxidação de NO e NO_2^- produzidos na atmosfera por raios (LINDBERG et al., 1986; WARNECK, 1988).

Nardotto (2005) encontrou que a floresta localizada na Flona Tapajos possui elevado fracionamento de ^{15}N . Sabe-se que os fertilizantes possuem altos valores deste elemento, sugerindo que a aplicação de altas quantidades de fertilizantes nitrogenados possa estar “enriquecendo” a vegetação florestal deste isótopo. Não se tem notícia na literatura de medições anteriores efetuadas na Flona Tapajós, porém, quando se compara com outras florestas similares fica evidente este enriquecimento (Figura 10).



Figura 9. Percentual de íons medidos na Flona Tapajos, em precipitação e throughfall, durante o período de estudo.

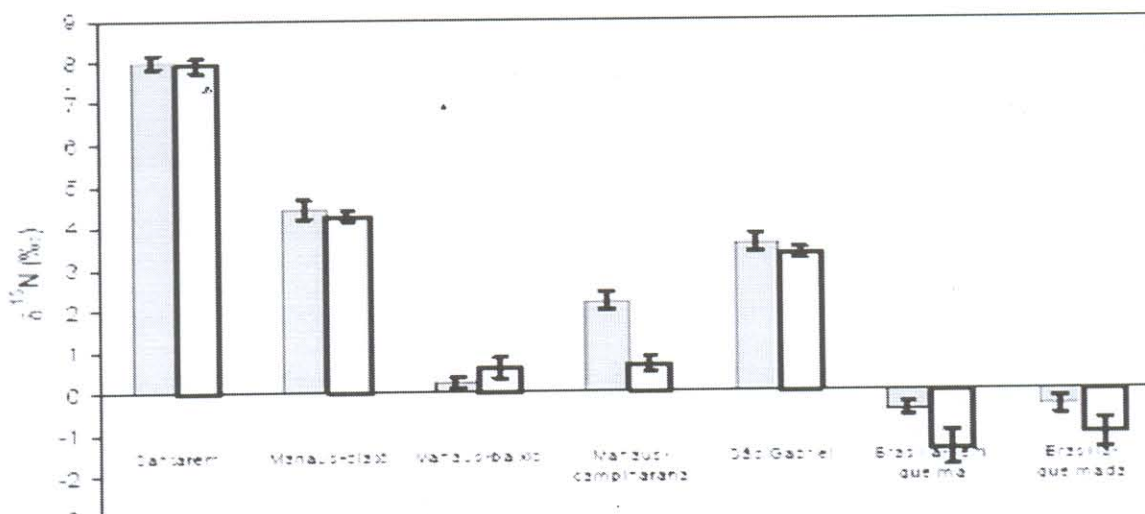


Figura 10. Valores de ^{15}N foliar (média e erro padrão) das espécies leguminosas e não leguminosas em seis locais do Brasil. (Nardotto, 2005)

Altas taxas de nitrificação parecem estar ocorrendo na Flona Tapajos, especialmente, na vegetação, haja vista os elevados valores de NH_4^+ que são transformados para NO_3^- quando a água de precipitação atravessa o dossel (Tabela 5 e 8). Ainda não temos estudos específicos para elucidar e apresentar uma explicação

científica sustentável para a questão, sendo esta uma das questões que o presente estudo mostra para futuras ações de pesquisa. Porém, Vitousek et al. (1982) e Tietema et al. (1992) dizem que quando a disponibilidade de NH_4^+ excede a demanda das plantas e da biomassa microbiana, este íon pode ser oxidado para a forma nítrica (nitrificação).

Cornu et al. (1998) estudaram cloro e sódio na região de Manaus e encontraram valores considerados por eles como muito alto (0,53mg/l, média anual), demonstrando, assim que, na região da Flona Tapajós, há alta deposição de íon Cl^- (0,36mg/L) pela utilização exagerada e inadequada de adubos (cloreto de potássio) contendo este íon. Em throughfall, a concentração de cloreto, nos meses de julho-dezembro, alcançou valores excepcionalmente elevados para florestas tropicais, especialmente na região continental da Amazônia, distando 800km do mar e expressiva queda no número e tamanho das queimadas, o que poderia contribuir (e contribui) para estes valores medidos na Flona. Na região de Manaus, Cornu et al. (1998), associaram os altos valores medidos de Cl^- à poeira vinda do Saara por altos eventos climáticos ocorridos durante o período de estudo (ARTAXO et al, 1990; TALBOT et al, 1990).

A alta razão Na^+/Cl^- (2,1) sugere, também, um aporte extraordinário de Na, provavelmente vindo dos solos salinos existentes à leste da área de estudo e, de acordo com Moller (1990) não deve ter origem marinha, onde a razão entre os elementos situa-se na faixa de 0,86. Análises efetuadas em amostras dos fertilizantes adicionados na agricultura local apresentaram valores elevados de sódio em misturas de adubos (NPK, principalmente) e em cloreto de potássio, algumas vezes alcançando valores 3x maiores aos medidos neste estudo, precipitação.

Manokaram (1980) disse que a atividade agrícola pode constituir uma grande fonte de Na^+ na bacia hidrográfica. Neste estudo, altas concentrações de Na^+ foram medidas (Tabela 5), o que sugere que algum material salino proveniente das atividades agrícolas da cultura de grãos a leste da área de estudo, pode estar, significativamente, adicionando sódio para a floresta, em detrimento da contribuição de origem marinha, distante cerca de 800km à leste, juntamente com os solos salinos encontrados a leste da área de estudo, os quais deixam aflorar sais durante a vazante dos rios. A título de exemplo, Falesi e Silva (1999), estudando esses solos, encontraram valores de até

1000ppm de sódio (Ilha de Ituqui, solo Solonetz Solodizado) e, em Solonchak, valores médios quase o dobro (2055ppm de sódio).

Também, com respeito ao fósforo e ao potássio, os solos localizados às margens do rio Amazonas possuem, em média, 28ppm de fósforo e 124ppm de potássio (FALESI; SIVA, 1999), os quais podem estar contribuindo para os altos valores de deposição na Flona Tapajós.

Stallard e Edmond (1981) estudaram na bacia amazônica e encontraram que a relação $\text{Cl}^- / \text{Na}^+$ permanecia constante por aproximadamente 2000km longe do oceano e, hoje, a adição antropogênica de cloro, assim como o processo de mistura de ar vertical sobre a calha do rio Amazonas, elevando sais dos solos salinos existentes nesta região, os quais podem se estender por milhares de metros (WARBURTON, 2003), devem estar causando mudanças nesta relação.

Segundo Kaupenjohann (1997) o requerimento anual de Mg para as florestas produzirem biomassa e lavagem da vegetação é na faixa de $3\text{-}30\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Em nosso estudo, o fluxo de Mg^{+2} é de $14\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ e, muitas vezes, o estoque na biomassa aérea excede o estoque trocável da massa do solo (como na Flona Tapajós) e, dada esta situação, a entrada daquela quantidade de Mg^{+2} , via throughfall, é de fundamental importância para a ciclagem deste cátion no sistema florestal (AMBRUSTER et al, 2002).

Como as maiores fontes de Mg^{+2} , para solos florestais não fertilizados (florestas naturais) são devidas à deposição atmosférica e ao intemperismo de rochas (FEGGER, 1997) e, como sabemos, na região da Flona Tapajós as rochas são pobres neste elemento (BRASIL, 1976), a deposição atmosférica torna-se a única e importante fonte de aquisição de Mg^{+2} pela floresta. Também aqui, após análises dos fertilizantes, foram encontradas concentrações elevadas deste elemento nas misturas de fertilizantes NPK, com média 2x maiores do que as medidas durante o estudo.

Assumindo que o aporte de Na^+ é provavelmente proveniente do mar, originado da água do mar, um elemento X originado também da água do mar, deverá possuir a mesma razão Na/X na deposição seca. Se outras fontes são importantes, esta razão será menor do que nos sais marinhos (BEIER; GUNDERSEN; RASMUSSEN, 1992).

Segundo este raciocínio, a razão Na/X, em sais marinhos, segundo Franzén (1990), é: Na/K= 27.02; Na/Ca= 26.17; Na/Mg= 8.4, e SO_4^{2-} = 3.97 sob bases equivalentes.

A quantidade do aporte dos elementos de fontes marinhas, sob o pressuposto mencionado no parágrafo anterior, no fluxo de throughfall, é mostrada na Tabela 14. Neste aspecto, esta tabela apresenta valores percentuais de 3,70%; 11,90%; 3,82% e 25,19%, para K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} e SO_4^{2-} , respectivamente, que podem ser explicados através de fontes marinhas, o que fortalece a hipótese de grande influência de adição destes elementos, provenientes de fertilizantes e corretivos utilizados na agricultura intensiva de grãos na região.

A deposição atmosférica possui duas principais fontes: sais marinhos e partículas minerais originadas de poeiras do solo ou de minas, combustão e outros processos industriais. Pela tabela anterior, verificamos a pequena contribuição de origem marinha, calculada através da relação Na/X, e os processos industriais são nulos na região; restando a combustão de produtos vegetais e a deposição de partículas originadas em corretivos utilizados na agricultura de grãos, via deposição seca, como as principais fontes de SO_4^{2-} , Mg^{+2} , Ca^{+2} e K^+ na Flona Tapajós. Também, o resultado da razão Mg/Na (0,64), três vezes superior ao encontrado em águas marinhas (0,227), sugere o aporte de magnésio resultante da aplicação excessiva de corretivos na agricultura intensiva de grãos na região.

Assumindo a sugestão de Sverdrup, Vries e Henriksen (1990), que formularam uma equação para predizer a contribuição de deposição seca para o input atmosférico de cátions básicos, a qual se escreve como segue:

$$F_{\text{Na}} = \text{TH}_{\text{Na}} / \text{DU}_{\text{Na}} \quad (3),$$

onde F_{Na} = fator de deposição seca, TH_{Na} é a concentração de Na em throughfall e DU_{Na} é a deposição úmida do sódio. Este método assume que o sódio não é afetado pela cobertura vegetal. Assim, o input de cátions básicos totais (CBT) pode ser escrito:

$$\text{CBT} = F_{\text{Na}} (\text{DU}_{\text{Ca}} + \text{DU}_{\text{Mg}} + \text{DU}_{\text{K}}) \quad (4),$$

onde DU_{Ca} , DU_{Mg} e DU_{K} são as deposições úmidas para os cátions Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ , respectivamente. Neste estudo, os valores mensais do F_{Na} foram calculados, e a CBT apresentou, com base na equação acima, valores de 51,6 e 56,1 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, durante os dois anos de estudos, com contribuição média de 21,9% para cálcio, 14,6% para

potássio e apenas 7,0% para o magnésio. Como comparação, os agricultores disponibilizam para as culturas de arroz e soja, aproximadamente 400kg.ha⁻¹ de fertilizantes, na formulação 5-25-20, correspondendo, somente para potássio, 20kg.ha⁻¹. Também, como comparação, são pulverizados sobre o solo 2000 kg.ha⁻¹ de calcário dolomítico, com percentual de 28% de óxido de cálcio e 16% de óxido de magnésio (correspondendo 400kg.ha⁻¹ de cálcio e 192kg.ha⁻¹ de magnésio).

Tabela 13. Contribuição de origem marinha de alguns íons na Flona Tapajós, segundo a relação Na/X

MESES	SO4	K	MG	CA	TL(Na)
	kg.ha ⁻¹				
ABR	0,781	0,115	0,369	0,119	3,10
MAI	0,277	0,041	0,131	0,042	1,10
JUN	0,243	0,036	0,115	0,037	0,96
JUL	0,206	0,030	0,097	0,031	0,82
AGO	0,196	0,029	0,093	0,030	0,78
SET	0,183	0,027	0,086	0,028	0,73
OUT	0,484	0,071	0,229	0,073	1,92
NOV	0,405	0,059	0,191	0,061	1,61
DEZ	-0,109	-0,016	-0,052	-0,017	-0,43
JAN	0,045	0,007	0,021	0,007	0,18
FEV	-0,245	-0,036	-0,116	-0,037	-0,97
MAR	ND	ND	ND	ND	ND
ABR	ND	ND	ND	ND	ND
MAI	ND	ND	ND	ND	ND
JUN	0,125	0,018	0,059	0,019	0,50
JUL	0,220	0,032	0,104	0,033	0,87
AGO	0,152	0,022	0,072	0,023	0,60
SET	0,096	0,014	0,045	0,015	0,38
OUT	0,111	0,016	0,053	0,017	0,44
NOV	-0,016	-0,002	-0,007	-0,002	-0,06
DEZ	0,332	0,049	0,157	0,050	1,32
JAN	0,101	0,015	0,048	0,015	0,40
FEV	-0,027	-0,004	-0,013	-0,004	-0,11
MAR	0,263	0,039	0,125	0,040	1,05

A Tabela 14 apresenta a relação de alguns íons estudados em relação ao Na⁺, como forma de comparar o potencial papel de íons de origem marinha na composição

da precipitação na Flora Tapajós e os correspondentes valores na água do mar. As razões dos íons K^+ e Ca^{+2} são 73 e 39 vezes mais altos do que na água do mar, enquanto a relação SO_4^{-2}/Na^+ apresenta-se 4 vezes acima da razão marinha. Verifica-se, também, que os valores são mais elevados durante o período seco, o que discorda de Lesack e Melack (1991) e StaHard e Edmond (1981). Neste trabalho, diferentemente de Lesack e Melack (1991), os autores sugerem o papel de emissão de excessos de fertilizantes e corretivos mal aplicados (na forma, na quantidade e na época de aplicação) na agricultura de grãos, mais do que a queima de vegetação, como a principal fonte de origem para estes altos valores nas relações analisadas.

Tabela 14. Valores da relação X/Na na Amazônia, evidenciando o papel do uso de fertilizantes e corretivos às proximidades.

Razão molar	Flona – km 67		Flona km 67	Amazônia Central ¹	Água do mar ²
	Úmido	Seco			
Cl^-/Na^+	0.32	0.65	0.45	1.1	1.80
SO_4^{-2}/Na^+	1.22	0.66	0.95	0.82	0.25
K^+/Na^+	3.98	1.35	2.70	0.08	0.12
Mg^{+2}/Na^+	0.93	0.27	0.64	0.20	0.12
Ca^{+2}/Na^+	1.01	2.19	1.47	0.18	0.04

Fonte: ¹ – Lesack e Melack, 1991; ² – Schlesinger, 1997

Vários modelos têm sido desenvolvidos para estimar troca da vegetação e deposição atmosférica tendo como base as medidas de throughfall e precipitação. Neste estudo utilizamos o método de Ulrich (1983) (Tabela 15), o qual é baseado em algumas assunções. A deposição seca e troca da vegetação de Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ são calculados com o (a) o uso de deposição total, em vez de somente úmida; (b) as partículas contendo estes nutrientes são depositadas com a mesma eficiência daquelas contendo Na^+ , e (c) a relação entre a deposição seca e úmida destas partículas (DEVLAEMINCK, SCHRIJVER; HERMY, 2004).

O fator de deposição seca da Flona Tapajós (km 67) foi mais elevado durante o período seco (2.70). Diferenças sazonais em deposição seca sob dossel de florestas são influenciadas por diferenças nas características da vegetação que, em grande extensão, estão ligadas na presença maior ou menor de vegetação (IVENS, 1990).

A lixiviação de nutrientes da vegetação (canopy leaching) de alguns cátions básicos (K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}), demonstra o papel de absorção e de emissão destes nutrientes (Tabela 15). Utilizando-se da equação de Ulrich (1983), verifica-se que o cálcio, durante o período seco, é fortemente absorvido pela vegetação ($20kg.ha^{-1}.ano^{-1}$), enquanto o potássio é absorvido durante o período úmido ($6kg.ha^{-1}.ano^{-1}$); o magnésio mostra emissão durante todos os períodos. Isto pode ser devido ao pequeno papel desempenhado por este elemento e, também, às altas concentrações medidas na Flona Tapajós, ultrapassando a capacidade de absorção da vegetação.

Tabela 15. Valores de canopy leaching na Flona Tapajós, durante dois anos de estudos.

MESES	K	Mg	Ca
ANO I	5,37	3,95	-5,65
ANO II	-1,94	8,44	-8,65
P.UMIDO (2 anos)	-5,85	3,33	5,76
P.SECO (2 anos)	9,28	9,07	-20,06
MEDIA	0,14	0,52	-0,60
TOTAL	3,43	12,40	-14,30

A deposição seca na cobertura de uma floresta difere, dependendo sobre as características dos elementos (tamanho de partículas, vapor etc.) e são, geralmente, mais elevados do que os inputs atmosféricos medidos por coletores de deposição total (LINDBERG et al., 1986; HANSEN, 1995; STOOVOGEL; VAN BREEMEN; JANSEN, 1997).

Por isso, é difícil acessar (medir) a proporção de “troca com a cobertura” e deposição seca em throughfall (LACLAU et al., 2003). Utilizando o método qualitativo empregado por estes autores, a mudança nos coeficientes de correlação entre cátions e ânions, durante suas passagens pela cobertura florestal, sugere que pelo menos um íon sofrerá troca com a cobertura. Na Flona Tapajós todos os cátions foram menos correlacionados com Cl^- , NO_3^- e SO_4^{-2} , em precipitação, enquanto em throughfall houve fortes e significativos coeficientes de correlação sugerindo altos níveis de troca com a cobertura.

Considerando-se a variação entre o período úmido e o período seco, verifica-se que, durante o período seco, o fator de enriquecimento - FE, foi sempre mais elevado do que no período úmido, demonstrando a importância da deposição seca no aumento da concentração dos elementos em throughfall. Estes valores do FE ultrapassam os encontrados por outros autores em florestas tropicais úmidas no mundo (MANOKARAN, 1980).

Também, o período seco antecedente exerce papel crucial no fluxo de nutrientes na Flona Tapajós, tanto em precipitação como em throughfall, concordando com resultados encontrados por Tobon Marin, Bouten e Sevink (2004), na Colômbia. Por exemplo, dois eventos com quantidade de precipitação similares, 34 e 34,9mm, com diferentes semanas antecedentes secas (0 e 3 semanas, respectivamente), apresentaram valores de fluxo diferenciados de até 50% para aquele evento com 3 semanas de período seco.

Em relação ao input atmosférico de cada íon (Tabela 5), verifica-se que a precipitação foi o mais importante processo de deposição para o íon amônia, enquanto a deposição seca, para os outros íons estudados, foi o processo principal, concordando com os resultados obtidos por Lindberg et al. (1986).

O throughfall líquido de SO_4^{-2} resulta da combinação da lavagem da deposição seca mais a deposição oculta, além de qualquer interação foliar que pode ocorrer com a vegetação (LOVETT; LINDBERG, 1993). Interações foliares podem ocorrer como inputs (lavagem + escoamento das folhas) ou como perdas (absorção pela cobertura). Sob a assunção de que a interação foliar é relativamente pequena (GARTEM et al., 1988; CAPE et al., 1990; GARTEN, 1990), a Tabela 8 indica que a deposição seca é a maior fonte de enxofre na Flona Tapajós.

O anion sulfato apresenta ciclagem interna da ordem de $17\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (Tabela 8), valor este 8 vezes mais elevado aos encontrados para áreas muito poluídas da Europa, com média de $2,2\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (MEIWES; KHANNA, 1981) e, para áreas medianamente poluídas dos EUA, em florestas de hardwood, Lindberg et al. (1986) encontraram $0,9\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de SO_4^{-2} (aqui, 20 vezes maiores).

Comparando-se as concentrações encontradas de deposição úmida total desse elemento em florestas tropicais no mundo, verifica-se que os valores médios

encontrados neste estudo situam-se entre os mais altos, com 0,42mg/L, denotando influência de alguma fonte antropogênica às proximidades. Vale salientar que todas as amostras coletadas não apresentaram problemas de contaminação, com os frascos sendo lavados com água deionizada juntamente com as garrafas de coleta. Também, vários autores comentam sobre a acurácia de usar coletores de deposição total (MOREIRA-NORDEMANN; GIRARD; POPPI, 1997)

Pela Tabela 8, verifica-se que o resultado apresentado pelo íon Mg^{+2} , no período úmido, concorda com os encontrado por Forti e Moreira-Nordemann (1991). Também nesta Tabela, fica demonstrado o importante papel da deposição seca, principalmente, com a contribuição de lixiviação e lavagem da vegetação florestal, além de ser mais um fator favorável à hipótese de excesso da aplicação de fertilizantes e corretivos na agricultura de grãos na região.

No que diz respeito à interceptação, Asdak et al (1998) trabalhando com interceptação da precipitação em floresta tropical úmida (prec.=3.566mm, alt.=100-300m) na Indonésia, encontraram valor médio de interceptação de 11.4% bastante similar aos calculados neste estudo (Tabela 16), com número de 580 árvores/ha, com altura até 48m, bastante similar à Flona Tapajós.

Para tentar agrupar os diferentes fatores, foi realizada a análise de componentes principais – ACP. Seu resultado mostrou que as correlações são altas entre componentes do mesmo grupo, variando de 0,58 a 0.89, e apontam mais de 77% da variação encontrada. O fator 1, englobando cloreto, sódio, potássio, magnésio e cálcio, é, claramente, o sinal dos processos de calagem e fertilização (Figuras 9 e 10) promovida na área de agricultura mecanizada, localizada às proximidades do local de estudo, utilizando-se cloreto de potássio e calcário dolomítico, nas proporções de 400 e 2000kg/ha, respectivamente.

O fator 2, composto de sulfato e amônio, restabelece as correlações advindas da queima da vegetação e, também, da aplicação de adubos contendo sulfato (superfosfato triplo) e a transformação da uréia em amônia e posterior hidrólise desta na atmosfera. Pode ser questionado o fato de que o solo é ácido por natureza, porém, toda a uréia é incorporada ao solo após sua correção com calcário, elevando seu pH para aproximadamente 6,5, permitindo que o processo de amonificação aconteça.

O fator 3, com nitrato, fosfato e potássio, este mais uma vez aparecendo para compor um fator, exemplifica o papel da deposição seca de particulado oriundo da aplicação de fertilizante e emissão, pela vegetação, de aerossóis contendo estes elementos, concordando com os dados de Artaxo et al. (1990), Forti e Moreira-Nordeman (1991a) e Lesack e Melack (1997).

Tabela 16. Intercepção da precipitação em algumas florestas no mundo.

LOCAL	TIPO DE FLORESTA	THROUGHFALL %	REFERÊNCIA
BRASIL - FLONA TAPAJOS	OMBROFILA DENSA	91	OLIVEIRA JUNIOR (este trabalho)
BRASIL	OMBROFILA DENSA	80,2	FRANKEN ET AL. (1992)
BRASIL	OMBROFILA DENSA	87 - 91	LLOYD & MARQUES (1988)
BRASIL	OMBROFILA DENSA	86 - 87	UBARANA (1996)
COLOMBIA	OMBROFILA DENSA	82 - 87	TOBON MARIN (2000)
COSTA RICA	OMBROFILA DENSA	84	ZAMBRANA (1975)
EL SALVADOR	MONTANA	53	PRICE (1977)
GANÁ	TROPICAL UMIDA SAZONAL	84	NYE (1961)
IVORY COAST	OMBROFILA DENSA	90	BERNHARD-REVERSAT et al. (1978)
MALÁSIA	OMBROFILA DENSA	81	KENWORTHY (1971)
NIGERIA	SEMI DECIDUA	97	HOPKINS (1965)
PANAMA	OMBROFILA DENSA	81	GOLLEY et al. (1975)
PORTO RICO	SUBTROPICAL UMIDA	67	CLEMENTS & COLON (1975)
VENEZUELA	CAATINGA	91	HERRERA (1979)

Os valores da comunalidade, com exceção daqueles de fosfato e nitrato, foram elevados e significativos. A comunalidade expressa a percentagem total da variância original explicada pelos três fatores, para cada elemento. Assim sendo, fosfato e nitrato devem possuir outras fontes não determinadas pela análise de componentes principais.

A fraca correlação (em concentração, tanto em precipitação como em throughfall) entre nitrato e amônio, sugere, segundo Allen, Cardoso e Rocha (2004), a

formação de nitrato *in situ*, em aerossóis, o que pode corroborar os dados de altos fluxos de nitrato em throughfall, encontrados neste estudo.

Também, a correlação entre potássio e cloro é indicativa da origem comum destas espécies iônicas, em fluxos de throughfall, haja vista a intensa aplicação do fertilizante cloreto de potássio na agricultura de grãos localizada nas proximidades da Flona Tapajós.

Comparando resultados de McGroddy² et al. (dados não publicados), que estudaram, na rodovia BR-163, km 83, distante 17km do local deste estudo, a química da água de precipitação, throughfall e solução aquosa de solos argilosos e arenosos durante os anos de 1999 e 2000 (utilizando a mesma metodologia deste trabalho), verifica-se que há marcantes diferenças (Tabela 17) entre os elementos estudados, com valores mais elevados neste estudo, em throughfall, para os íons fosfato (37x), nitrato (18x), amônia (8x), sulfato (2x), cálcio (2x) e potássio, durante o período úmido, enquanto valores menores foram encontrados para Na⁺, Mg⁺² e Cl⁻. Em precipitação, os valores mais elevados encontrados para este estudo foram para fosfato (22x), amônia (18x), nitrato (5x), magnésio (3x), potássio (3x) e cálcio (2x).

Tabela 17. Comparação de resultados na concentração de elementos estudados na Flona Tapajós, entre os anos de 2000 e 2004.

Nutrientes	McGroddy et al.				Oliveira Junior (este estudo)			
	período úmido		período seco		período úmido		período seco	
	prec	throu	prec	throu	prec	throu	prec	throu
cloreto	1,09	2,09	0,76	4,11	0,10	0,28	0,62	2,10
nitrato	0,13	0,24			0,64	4,24	0,82	10,3
fosfato	0,02	0,02	0,44	2,01	0,44	0,74	0,17	0,92
sulfato	0,27	0,7	0,44	2,01	0,37	1,34	0,47	3,02
sódio	4,37	4,7	0,46	2,41	0,26	0,61	0,84	2,14
amônio	0,1	0,28	0,63	3,68	1,83	2,2	2,68	3,47
potássio	0,39	1,66	0,1	0,44	1,15	1,83	0,99	5,49
magnésio	0,11	0,82	0,48	2,42	0,36	0,7	0,21	1,98
cálcio	0,2	0,59	0,15	1,51	0,4	1,09	1,58	2,83

prec = precipitação; throu = throughfall

² McGroddy, Neff, J.C.; de Mello, W.Z.; Keller, M. Effect of soil texture on retention of cations and anions in a lowland forest on highly weathered soils in the Amazon.

Durante o período seco, em throughfall, os altos valores encontrados neste estudo (potássio e cálcio), e no período úmido para cálcio, potássio e amônia, em relação aos resultados encontrados no km 83, correspondem a um acréscimo que varia de 2 a 20 vezes aos valores medidos naquele local, corroborando a hipótese de que a deposição desses elementos, via deposição seca, advindos de fertilizantes e corretivos utilizados na agricultura intensiva de grãos na região. Vale ressaltar que, na época das medidas realizadas no km 83, a área plantada possuía somente 1000ha e, hoje se situa no patamar de 110.000ha de área mecanizada intensivamente fertilizada e calcareada.

A aplicação de 400kg/ha de fertilizantes, principalmente na formulação 02-20-20, utilizando-se uréia (45% de nitrogênio), superfosfato triplo (60% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de potássio) para o plantio da cultura da soja (24.000ha, no ano agrícola 2004-2005), além da vegetação deixada pela cultura, estimada na região em 15t/ha de massa seca, com conteúdo de até 350kg de nitrogênio, pode estar emitindo para a atmosfera quantidades apreciáveis de nutrientes.

Na cultura do arroz de sequeiro, 85.000ha foram plantados na última safra (2005), com aplicação de fertilizantes semelhante à cultura da soja, porém com formulação mais nitrogenada (04-20-20), além da aplicação de 60kg/ha de uréia, em cobertura, após 40dias da emergência das plantas, favorece ainda mais a hipótese deste estudo, de que a agricultura mecanizada intensiva libera e emite nutrientes ao ecossistema adjacente.

Na figura 10, a imensa nuvem de poeira levantada durante o preparo de área e aplicação de calcário, por si só, já pressupõe a grande quantidade de material particulado que os ventos leste-oeste carregam e depositam sobre a vegetação da floresta. Esta é, provavelmente, a principal fonte de cátions básicos (sódio, potássio, magnésio e cálcio), além de cloro, fosfato e sulfato.



Figura 11. Preparo de área para plantio, com aplicação de corretivos (A) e, no plantio, fertilizante (B).

Cornell et al. (1998) relatam em seus estudos que a uréia pode ser levada pelos ventos, em associação com partículas do solo (Figura 11B). Além da aplicação de fertilizantes e corretivos, todos os produtos utilizados como herbicida, inseticida e fungicida (Tabela 18), possuem, em sua composição, nutrientes que, quando aplicados, no início dos trabalhos de preparo de área (herbicidas), e como preventivo de pragas e doenças (inseticidas e fungicidas), liberam quantidades consideráveis desses elementos para atmosfera, sendo estimada algo como 28% do total aplicado (JAMBERT; SERCA; DELMAS, 2003).

Junte-se a isto, a nuvem de fumaça oriundas de queimadas realizadas na parte leste, nordeste e sudeste do estado, trazidas por ventos com direção leste-oeste desde o limite do estado do Pará com o Maranhão, com números de focos de calor muito elevados no período seco, período no qual os fluxos de amônia e sulfato são mais elevados (Figura 12).

Estes focos de calor são fontes de material particulado que é depositado, via úmida e seca (Figura 12), sobre a vegetação florestal, sendo este fenômeno/processo uma das mais importantes trilhas para o alto fluxo de nutrientes encontrados na Flona Tapajós. Segundo Kauffman et al. (1995), a perda de nitrogênio ocasionada por queimadas na floresta tropical brasileira alcança valores de $1604\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

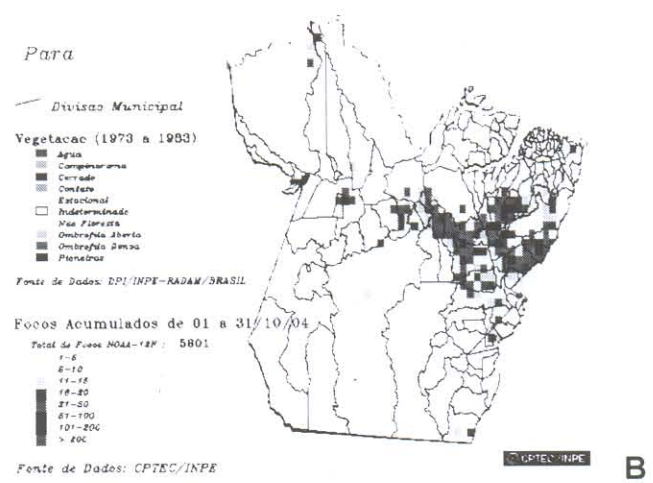
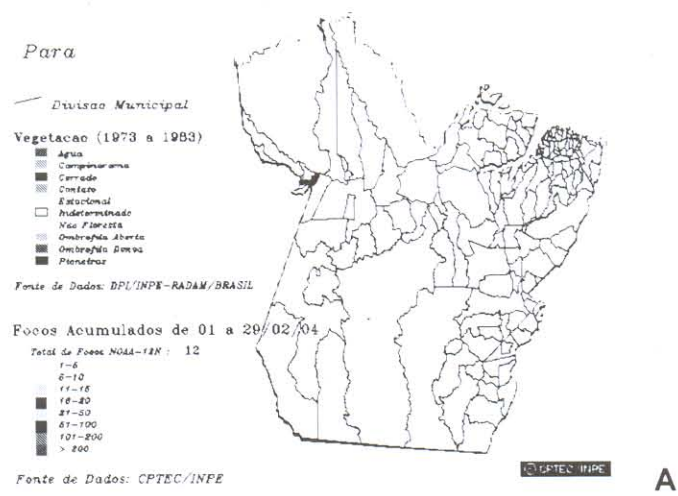


Figura 12. Focos de calor, no Estado do Pará, durante o período úmido (A) e seco (B).

Vários autores, citados por Allen, Cardoso e Rocha (2004), têm mostrado a importância da queima da vegetação sobre a composição da baixa troposfera, com grandes aumentos na concentração de CO e O₃ (KIRCHHOFF et al., 1991). Urquiaga et al (1998), por exemplo, estimam a bagatela de 40kg.ha⁻¹ de nitrogênio e 20kg.ha⁻¹ de enxofre durante a estação de queima da cana de açúcar, no estado de São Paulo e, como visto na Figura 13, podem alcançar valores semelhantes nestes elementos, além de fósforo e potássio, em virtude de seu longo alcance como particulado (VITOUSEK; SANFORD, 1986; ALLEN; CARDOSO; ROCHA, 2004)

Além do mais, a brisa oriunda do rio Tapajós, com aproximadamente 15km de largura, situado a oeste da área de estudo, proporciona uma barreira formidável ao livre trânsito dessa poeira oriunda dos campos de cultivo, promovendo a estagnação acima das copas das árvores deste material enriquecido, o qual é depositado (Figura 14).

Não temos idéia de quantas vezes esta mesma massa de ar, que deveria ter passado para oeste, fica circulando sobre a floresta e, a cada vez, depositando mais material particulado.

Lu et al (2005), usaram o modelo RAMS (Regional Atmospheric Modeling System), o qual tem sido largamente usado em estudos que investigam o papel de variabilidade de paisagem e mudanças em circulações de meso-escale (PIELKE et al., 1991; STOHLGREN et al., 1998; LU et al., 2001; LU; SHUTTLEWORTH, 2002), para simular vetores de direção (horizontal) e velocidade do vento (vertical), sobre a Flona Tapajós, no dia 11/08/2001, às 16:00hs locais. Eles encontraram que aquelas nuvens alcançam a camada limite, aproximadamente entre 1,5 e 2,0km de altura, retornando a altitudes mais baixas, aumentando as nuvens cumulus e, algumas vezes, também, a precipitação. Porém, mesmo que não ocorra a precipitação, a deposição seca continua a ocorrer, enquanto estas nuvens permanecem no local

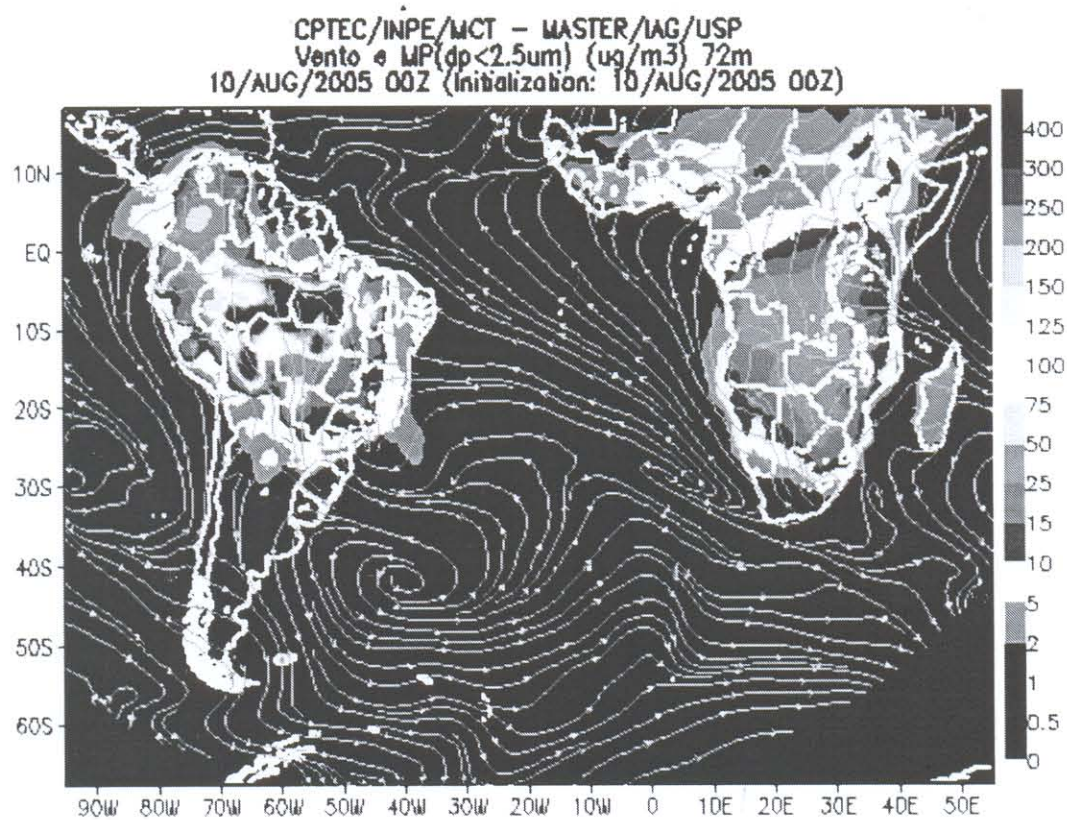


Figura 13. Concentração de particulado (Pm>25) em 10/08/2005.

Tabela 18. Informações técnicas e concentração de elementos na dosagem recomendada para aplicação, nas culturas instaladas. (continua)

NOME COMERCIAL	PRINCÍPIO ATIVO	CLASSE	FORMULA QUÍMICA	MASSA MOLECULAR	CONCENT I.A.	DOSAGEM
					g/L	L/ha
SPHERE	TRIFLOXISTROBINA CIPROCONAZOL	FUNGICIDA	C20H19F3N2O4	408,371	187,5	0,3
			C15H18ClN3O	291,776	80	
FOLICUR		FUNGICIDA	C16H22ClN3O	307,818		
OPERA	PIRACLOSTROBINA EPOXICONAZOL	FUNGICIDA	C19H18ClN3O4	387,82	133	0,5
			C17H13ClFN3O	329,756	50	
FLEX	FOMESAFEN	HERBICIDA	C15H10ClF3N2O6S	438,764	250	
FUSILADE 250	FLUAZIPORE-P-BUTILÍO	HERBICIDA	C19H20F3NO4	383,362	250	1,0
GRAMOCIL	PARAQUAT DIURON	DIMETILUREIA	C12H14N2	186,253	200	1,0
			C9H10Cl2N2O	233,094	100	
ENGEO	TIAMETOXAM CIPERMETRINA	INSETICIDA	C8H10ClN5O3S	291,716	110	0,2
			C22H19Cl2NO3	416,297	220	
IMAZETAPIR PLUS	IMAZETAPIR-SAL NH4 IMAZETHAPYR		C15H19N3O3	289,33	106	1,0
			C15H19N3O3	289,33	100	
TRIFLURALINA	TRIFLURALIN	HERBICIDA	C13H16F3N3O4	335,279	450	1,0
ENDOSULFAN FERSOL 350CE	ENDOSULFAN	INSETICIDA	C9H6Cl6O3S	406,924	350	0,9
GLIFOSATO	GLIFOSATO EQUIV. ACID GLIFOSATO	HERBICIDA	C3H8NO5P	169,073	480	3,0
				360		
ZAPP QI	GLIFOSATO sal potássico	HERBICIDA	C3H8NO5P	169,073	620	2,0
STRON	METAMIDOFÓS	INSETICIDA	C2H8NO2PS	141,13	600	0,75
NOMOLT 150	TEFLUBENZURON	INSETICIDA	C14H6Cl2F4N2O2	381,109	150	0,005
KARATE ZEON 50CS	LAMBDA CIALOTRINA	INSETICIDA	C23H19ClF3NO3	449,85	50	0,15
GLIZ 480CS	GLIFOSATO	HERBICIDA	C3H8NO5P	169,073	480	3,5

Tabela 18. Informações técnicas e concentração de elementos na dosagem recomendada para aplicação, nas culturas instaladas.
(conclusão).

CONCENTRACAO					DOSAGEM NO CAMPO				
NITROGENIO	CLORO	FOSFORO	ENXOFRE	POTASSIO	NITROGENIO	CLORO	FOSFORO	ENXOFRE	POTASSIO
g/L					g/ha				
12,86					3,86				
11,52	9,68								
0,00	0,00								
14,40	12,11				7,20	6,05			
6,37	5,35				3,18	2,68			
15,95	20,11		18,29						
9,13					9,13				
30,07					30,07				
12,01	30,29				12,01	30,29			
26,40	13,31		12,10		5,28	2,66		2,42	
7,40	37,31				1,48	7,46			
15,39					15,39				
14,52					14,52				
56,37					56,37				
	182,17		27,61			163,95		24,85	
39,75		88,01			119,24		264,03		
51,34		113,68		117,01	102,68		227,36		234,02
59,52		131,79	136,47		44,64		98,85	102,35	
11,02	27,79				0,06	0,14			
1,56	3,92				0,23	0,59			
39,75		88,01			139,11		308,03		

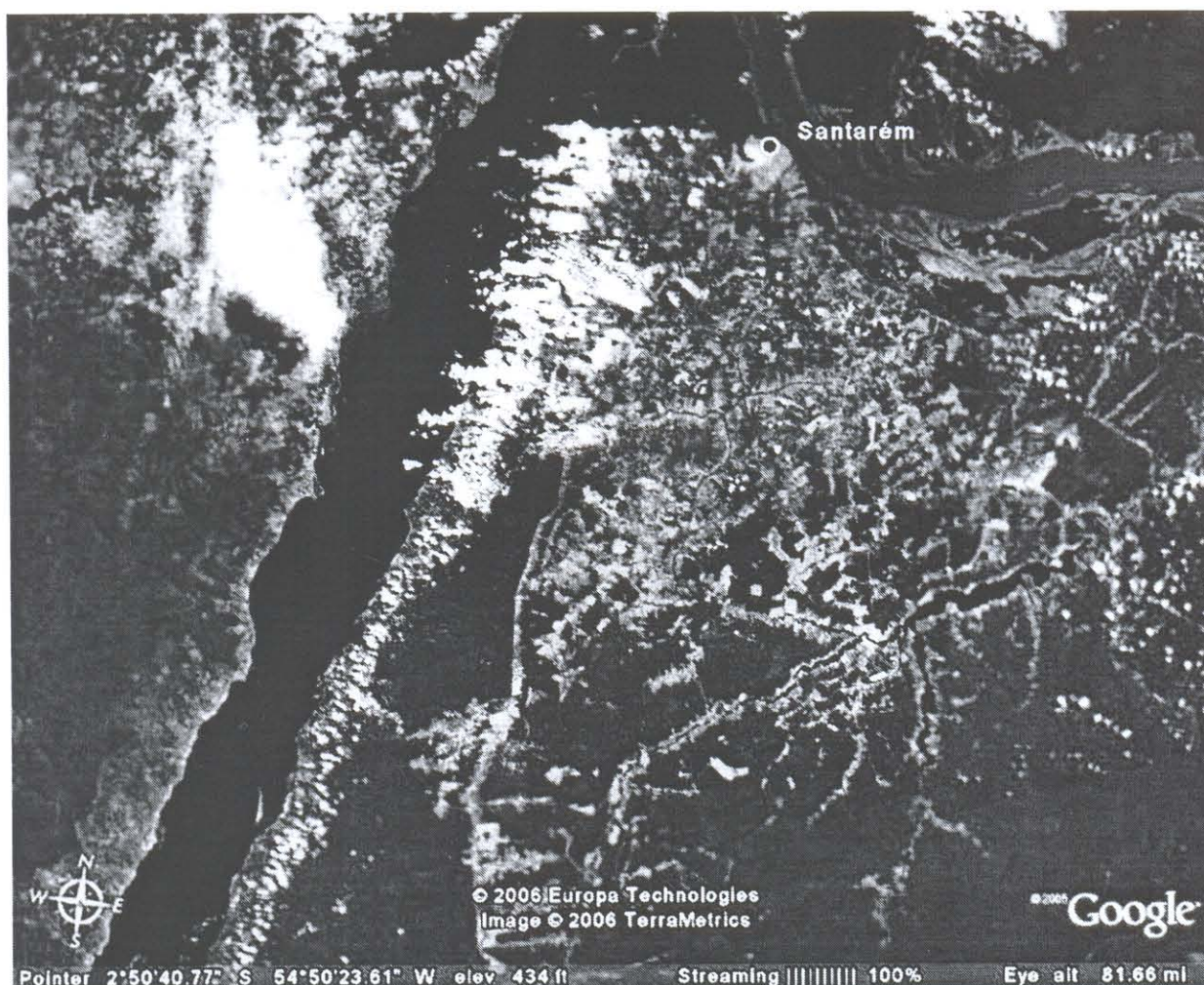


Figura 14. Pressão exercida pelo rio Tapajós, impedindo a passagem de nuvens sobre o mesmo.

Como comparação, Lara et al. (2001) mediram fluxos de até $60\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrogênio, na bacia do rio Piracicaba, oriundos de fontes antropogênicas. Nossos estudos relatam fluxo máximo de $74\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrogênio, comparáveis a áreas poluídas dos EUA, com até $71\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (FURINESS et al., 1998; MUNGER; ENSENREICH, 1983), enquanto Abas, Alunad-Shah e NOR (1992), mediram na Malásia fluxos de nitrato de $93\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ (21kg de nitrogênio). Esta alta taxa foi, principalmente, devido ao íon amônio e, no segundo ano, com maior área de aplicação de fertilizante, defensivos e herbicidas, com 110.000ha (24.000ha com soja e o restante com arroz). Com esta dimensão, uma quantidade de aproximadamente 1568 toneladas de nitrogênio é distribuída anualmente na área de plantio. Jambert, Serca e Delmas (2003) sugerem

que 28% de todo o nitrogênio aplicado é perdido para a atmosfera, o que nos daria algo em torno de 40 toneladas de nitrogênio.

Também, Macedo e Miranda (2001) mediram o nitrogênio total da biomassa da soja e encontraram valores de 5.35t.ha^{-1} de massa seca, com 63kg.ha^{-1} de nitrogênio. Se assumirmos que 24.000ha podem estar liberando parte deste nitrogênio imobilizado durante o ciclo vegetativo da cultura da soja, podemos ter, aproximadamente, 45.000kg de nitrogênio circulando na atmosfera.

Todas as medidas neste estudo foram realizadas através de coletores de deposição total e muita controvérsia há na comparação com coletores de deposição apenas úmida. McDowell et al. (1990) e Campos, Costa e Tavares (1998), estudando deposição química na Costa Rica e no estado da Bahia, respectivamente, encontraram que os íons nitrato e amônio apresentaram valores mais elevados em deposição somente úmida, o que é surpreendente, haja visto que o esperado era o contrário. Neste estudo na Flona Tapajos, isto se torna importante, pois reforça o papel da contribuição de fonte antropogênicas próximas e rejeita as críticas de que os coletores de deposição total superestimam as deposições desses elementos.

Finalmente, embora a quantidade de precipitação seja fator importante no fluxo de nutrientes, especialmente na faixa até 10mm de chuva (TANNER; WONG, 2000), ela não é responsável pela grande variação medida neste estudo, demonstrando que fatores locais (TANNER; FAI, 2000) são, também, de suma importância na composição da água de precipitação na Flona Tapajós.

A Figura 15 apresenta os fluxos em throughfall relacionados com os períodos de aplicação de corretivos e fertilizantes, os quais são relacionados aos altos valores medidos dos nutrientes estudados.

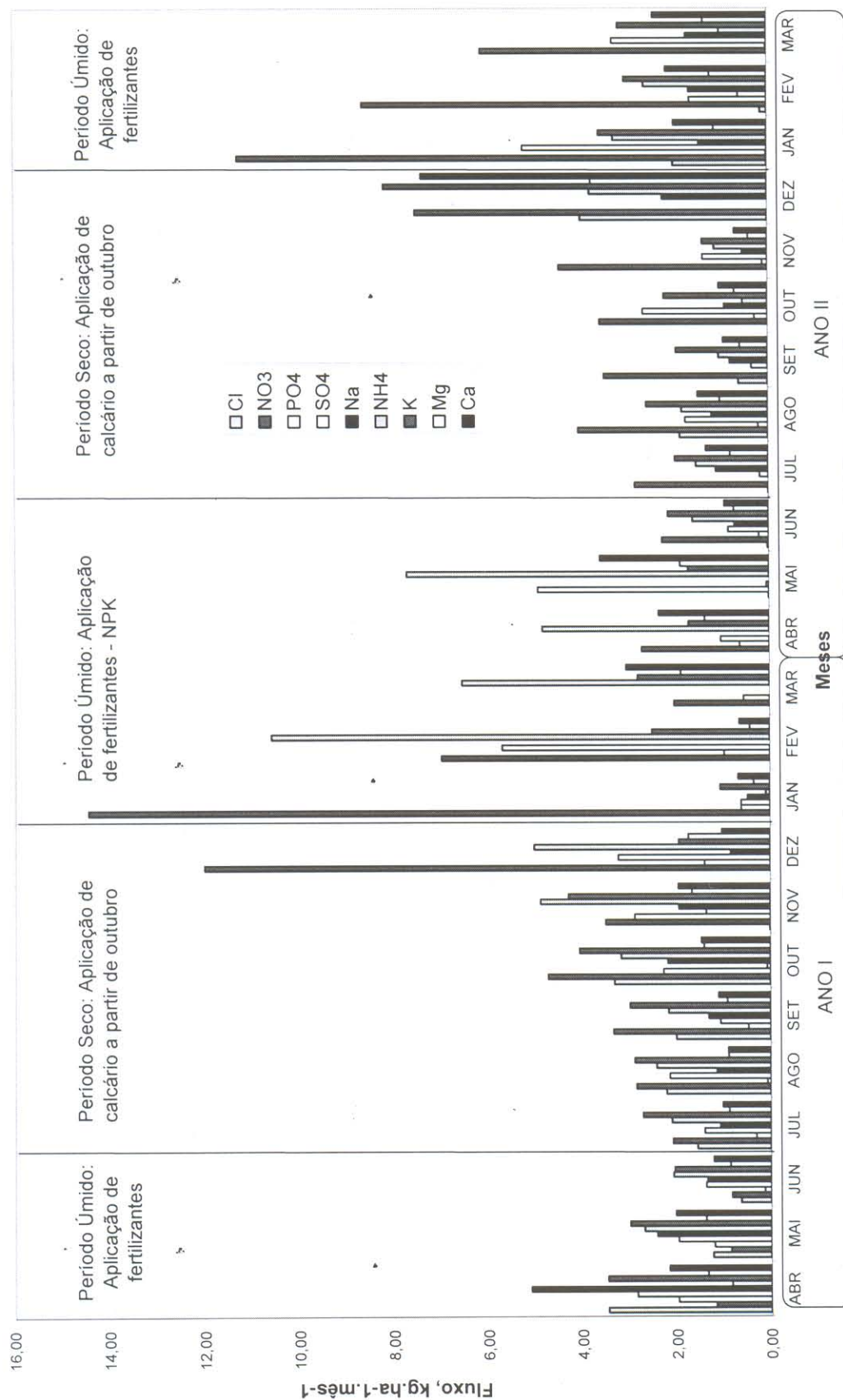


Figura 15. Épocas de aplicação de corretivos e fertilizantes e os respectivos fluxos mensais na Flona Tapajós.

3.4. CONCLUSÕES

Como principais contribuições deste estudo, concluímos que:

- houve maior volume de precipitação do que a média dos últimos vinte anos;
- a duração do período seco antecedente é fator dominante no fluxo de nutrientes na Flona Tapajós;
- dentro do período seco ocorrem as maiores variações entre os íons analisados;
- a estação exerce forte influência na concentração dos cátions básicos;
- throughfall é um dos mais importantes caminhos para a entrada de nutrientes na Flona Tapajós, via deposição seca;
- há um aporte significativo de macronutrientes, mais cloro e sódio, principalmente, oriundos da agricultura intensiva de grãos;
- a deposição seca é o mais importante processo de enriquecimento da água que alcança o solo da floresta;
- processos de convecção que acumulam os nutrientes sobre a Flona, em virtude da brisa do rio Tapajós favorecem o aumento nos teores dos elementos estudados.
- A análise dos componentes principais facilita a interpretação da caracterização da água de precipitação, mostrando, neste estudo, a influência de fontes antropogênicas (agricultura, queima da biomassa e poeira).
- O processo de nitrificação exerce um papel fundamental na química da água da chuva, devendo ser mais bem estudada.

4. CONCENTRAÇÕES E FLUXOS DE GASES TRAÇO EM LATOSSOLO AMARELO MUITO ARGILOSO NA FLONA TAPAJOS, BELTERRA-PARÁ

4.1. METODOLOGIA

4.1.1. Concentração de Gases no Perfil de Solo

Tubos de aço inoxidável, com diâmetros externo e interno de 3 e 1mm, respectivamente, foram instalados nas paredes laterais de três perfis escavados no campo, nas profundidades de 5, 15, 30, 50, 100 e 200 centímetros. Os tubos foram instalados horizontalmente nas paredes dos poços (aproximadamente 50cm) com auxílio de arame galvanizado. Após a instalação dos tubos, os buracos foram novamente preenchidos com o solo retirado.

Na extremidade do tubo que permaneceu inserida no solo, foram feitas ranhuras em sua parede (distante 10cm da extremidade), que permitiam a entrada da atmosfera do solo. Tais extremidades foram envolvidas com parafilm para evitar entupimentos das ranhuras. À extremidade que permaneceu exposta na superfície dos perfis, foi acoplada uma conexão de PVC (torneira de passagem), que permitia a retirada sem vazamentos do ar de dentro do tubo, através de uma seringa com agulha (Figura 16). Para a retirada do gás da atmosfera do solo, foram utilizadas seringas de nylon, de 20ml. As coletas foram feitas sempre em quatro repetições. Depois de coletadas as amostras, as seringas foram seladas, e levadas para o laboratório para a mensuração da concentração de CO₂, N₂O e CH₄, no prazo máximo de 24 horas após a coleta.

As concentrações de N₂O e CO₂ foram analisadas através de cromatografia gasosa (Shimadzu GC 8A), equipado com detector de captura de elétrons (ECD - elétron capture detector) (Figura 17). As temperaturas do injetor, do detector e da coluna foram ajustadas para 330°C, 330°C e 80°C, respectivamente. Foi utilizado como carreador uma mistura de metano (5%) com argônio (P5), com fluxo de 30ml.min⁻¹. Os picos desses gases foram comparados através de padrões primários (P4=308,1ppb N₂O; P8=753ppb de N₂O e 1969ppm de CO₂; padrão de CO₂=30000ppm), calibrados através de padrões da National Institute of Standards and Technology (NIST).

Para medir as concentrações de metano (CH_4) foi utilizado, também, cromatografia gasosa, através de cromatógrafo Shimadzu (GC 14A), com detector de ionização de chama (FID) (Figura 17). As temperaturas do injetor, do detector e da coluna foram ajustadas para 125°C , 125°C e 40°C , respectivamente. O gás carreador foi o mesmo do utilizado para o óxido nitroso e o gás carbônico. Os picos desse gás foram comparados através de padrões primários ($\text{P4}=1,75\text{ppm CH}_4$; $\text{P8}=0,884\text{ppm de CH}_4$).

As áreas dos picos foram integradas utilizando-se software da Hewlett Packard (HPCHEM).

4.1.2. Conteúdo de Água no Solo

No que concerne à umidade do solo (volumétrico, cm^3 água $\cdot \text{cm}^{-3}$ solos), foram utilizados sensores comercialmente disponíveis de FDR (Modelo CS615, Campbell Scientific Inc., Logan, UT). Este sensor é baseado nos osciladores simples da linha da transmissão, que foram desenvolvidos e testados por Campbell & Anderson (1998). O sensor do FDR consiste em duas hastes de aço inoxidável (com 0,3m de comprimento, 0,0032 de diâmetro, afastamento de 0,032 m) que são conectadas a uma placa de circuito impresso, protegido por um bloco epóxi.

Estes sensores, em número de 16, foram instalados em três perfis (Figura 18), localizados aleatoriamente dentro de uma área de 100m x 100m, sendo inseridos em seis profundidades: 5cm, 15cm, 30cm, 50cm, 100cm e 200cm. Semanalmente os dados são coletados, tabulados e analisados.

Os valores da constante dielétrica foram medidas e armazenadas em datalogger (Modelo CR10, Campbell Scientific Inc., Logan, UT) a cada 30 minutos, e a umidade volumétrica foi estimada através de equação e calibração desenvolvida para o solo da região (Oliveira Junior et al, 2003). Os valores médios de umidade volumétrica foram calculados em triplicata para cada profundidade analisada.



Figura 16. Tubos de aço inox para coleta de gás, em profundidade, recém instalados. Observe as torneiras de nylon na ponta dos tubos

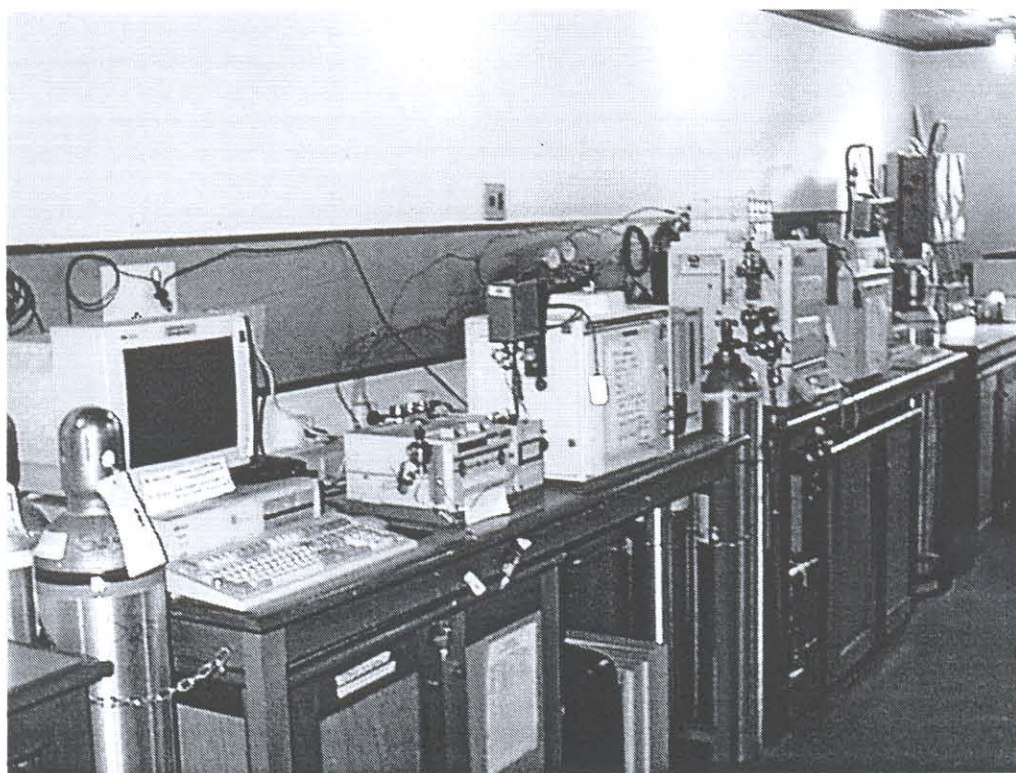


Figura 17. Cromatógrafos gasosos prontos para análise.

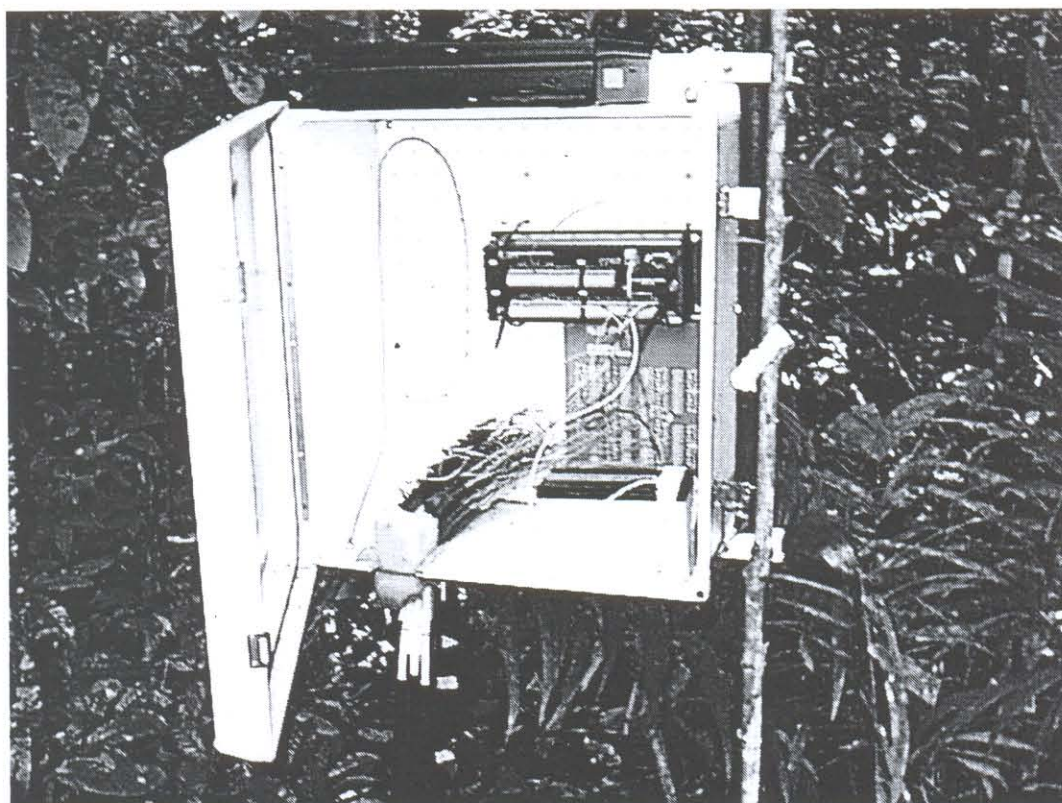


Figura 18. Sensores de umidade (FDR) instalados nas profundidades em um dos perfis na Flona Tapajós.

4.1.3. Características Físico-Hídricas e Modelagem da Difusividade do Solo

Para mensurar a concentração dos gases em diferentes profundidades e entender a sua movimentação dentro do solo, foi necessário conhecer as características físicas deste solo, assim como as suas características de retenção e movimento de água pelas diferentes porções destes solos. Assim, foram tomadas, a diferentes profundidades, medidas de Densidade Global do solo (DG), saturação, macroporosidade e microporosidade (3 repetições). Também, foram feitas, para cada profundidade, curvas de retenção, incubando o solo em câmara de pressão. Para este procedimento, foram coletadas amostras de solo, nas paredes laterais dos poços, nas profundidades de 5, 150, 30, 50, 100 e 200cm. Para a coleta e análise do material, foi utilizada a metodologia recomendada por Embrapa (1997).

O espaço de poros preenchidos por ar no solo (ε) foi estimado pela diferença entre a Porosidade Total e o Conteúdo Volumétrico de Água no solo. A porosidade total foi calculada a partir de medidas de Densidade Global (DG), utilizando-se a equação 1:

$$PT = 1 - (DG/DP) \quad (\text{Eq. 1}),$$

onde PT é a porosidade total e DP é a densidade de partícula ($2,6 \text{ g.cm}^{-3}$).

A razão entre a difusividade no solo em relação à difusividade do ar (D_o , neste estudo equivalente à $0,16 \text{ cm}^2.\text{s}^{-1}$, para CO_2 e N_2O (DAVIDSON, ISHIDA e NEPSTAD, 2004), enquanto $D_o = 0,219 \text{ cm}^2.\text{s}^{-1}$ (WEITZ, 2000), para CH_4) foi calculada a partir do modelo proposto por Moldrup *et al.* (2000) (eq. 2):

$$D_p/D_o = 2 (\varepsilon_{100}^3 + 0,04\varepsilon_{100}) \times (\varepsilon_{100})^{2+3/b} \quad (\text{Eq. 2})$$

onde D_p é a difusividade dos gases no solo, D_o é a difusividade (CO_2 , N_2O e CH_4) no ar, ε é o espaço de poros preenchido pelo ar, e ε_{100} é o espaço preenchido por ar no solo sob uma tensão de -100 cm de coluna de água, (isto é, -10 Kpa), e "b" é o coeficiente angular da equação definida pela curva de retenção (Eq. 3):

$$\text{Log-}\Psi = a + b\theta \quad (\text{Eq. 3}),$$

onde Ψ é o potencial hídrico do solo, e θ é o conteúdo volumétrico de água no solo

O termo ε_{100} reflete a macroporosidade, enquanto "b" reflete a distribuição do tamanho dos poros, que geralmente aumentam com a elevação dos teores de argila no solo (MOLDRUP *et al.*, 2000).

Uma vez calculada a difusividade, os fluxos dos gases em cada camada de solo foram estimados pela aplicação da primeira lei de Fick (eq. 4):

$$F = D_p \cdot (\Delta[C]/\Delta Z) \quad (\text{Eq. 4}),$$

onde F é o fluxo, D_p é a Difusividade dos gases no solo, [C] é a concentração dos gases, e Z é a profundidade. No caso da primeira camada de solo (0-5cm), foram usadas as concentrações do solo a 5cm e a concentração dos gases na atmosfera. Na camada seguinte, foram usadas as concentrações nas profundidades de 5 e 15cm, e assim sucessivamente.

Esta estimativa, usando a lei de Fick, assume que o perfil de concentração de gases no solo se encontra, ao menos momentaneamente, em equilíbrio, e que não existe produção ou consumo de gases entre os intervalos; esta premissa não é necessariamente verdadeira quando ocorrem mudanças bruscas no ecossistema, por exemplo, veranicos durante a estação chuvosa e a transição entre as estações seca e chuvosa.

4.1.4. Temperatura do Solo

A temperatura do solo, também, foi monitorada através de três perfis aleatoriamente distribuídos na mesma área mencionada anteriormente, nas mesmas profundidades de 5cm, 15cm, 30cm, 50cm, 100cm e 200cm. Termopares foram introduzidos em duplicata em cada perfil (Figura 19), totalizando trinta e seis sensores, que realizavam 48 medições cada um, totalizando 1728 valores de temperatura armazenados diariamente em um datalogger (Modelo CR10X, Campbell Sci., Logan, UT) e, semanalmente, eram coletados, tabulados e analisados.

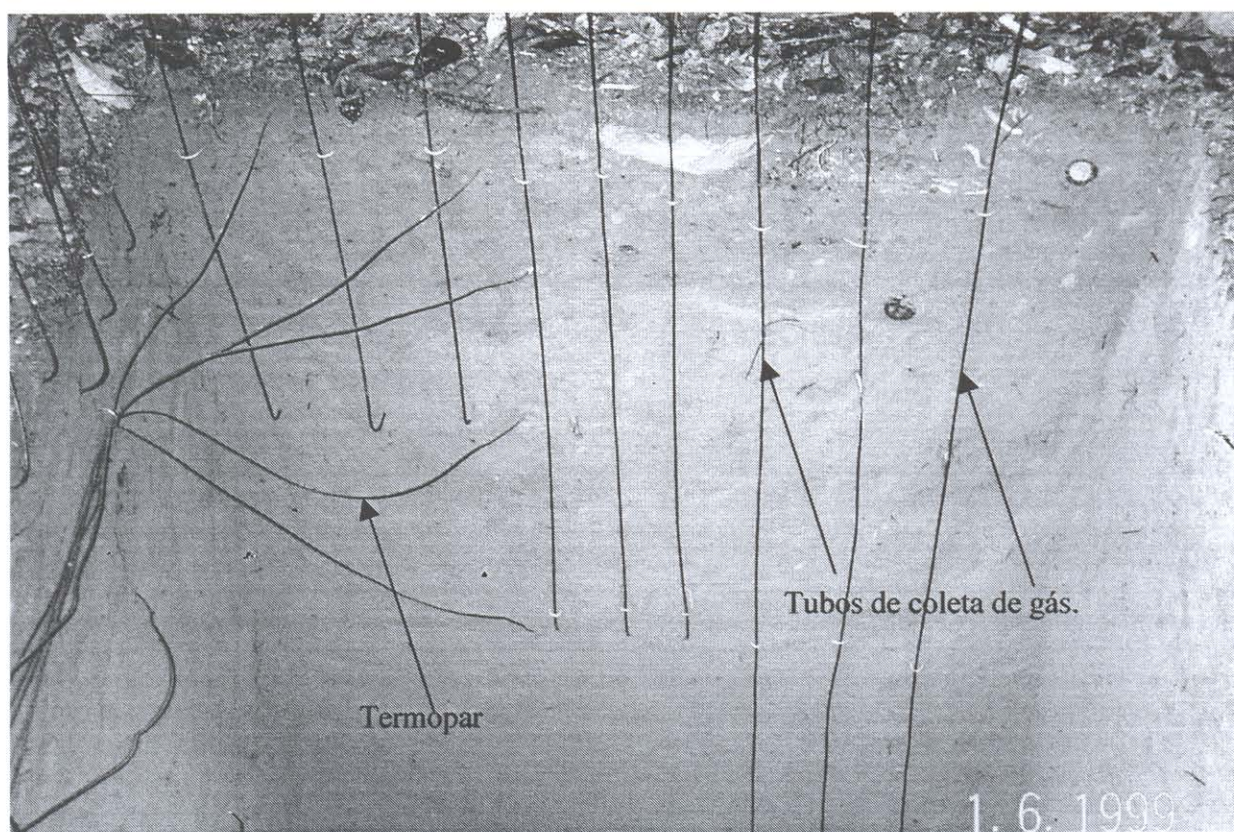


Figura 19. Vista parcial dos sensores de temperatura (termopar), instalados ao lado dos tubos de coleta de gases, na Flona Tapajós.

4.1.5. Análises Estatísticas

Analises de regressão linear simples e múltipla foram executadas usando-se software Statistic, versão 6.0 (Statsoft Inc.). O teste t foi utilizado para determinar diferenças entre fluxos nos períodos secos e úmidos dos gases estudados e, também, entre anos.

4.2. RESULTADOS

4.2.1. Características Físico-Hídricas do Solo

O Latossolo Amarelo Distrófico textura muito argilosa, apresenta características físicas e hídricas, conforme é observado na Tabela 19. Nesta Tabela, a curva de retenção de água mostra que o solo em questão apresenta alto conteúdo de água, mesmo a pressões muito altas (1500kPa), com valores entre $0,25 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ a $0,33 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$.

A porosidade total apresenta valores variando de $0,56 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$, na profundidade de 100cm, até $0,71 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ na profundidade de 5cm.

A densidade do solo, DS_s , apresenta valores entre $0,76 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ na superfície do solo e, na profundidade de 100cm mostra valores de $1,16 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$, provavelmente, um indicio de adensamento.

Na Tabela 20, verificamos a distribuição dos poros por tamanho e a capacidade de armazenamento de água, por camada, do perfil estudado.

A capacidade de água disponível máxima, por profundidade estudada, variou de 2,86mm (5cm) até 21,95mm (100cm), com o acumulado em todo o perfil totalizando 59,48mm.

Os poros com diâmetro pequeno e muito pequeno (<3micras) variam de 53 a 83%, o que justifica a pequena quantidade de água disponível para as plantas.

Tabela 19. Alguns parâmetros físico-hídricos do Latossolo Amarelo muito argiloso na Flona Tapajós.

Prof. cm	Espes. cm	Volume de água retida - cm H2O				Dens.Solo	Macrop.	Microp.	Ptotal _{cal}	Ptotal _{det}	P.Bloq.	
		m ³ .m ⁻³										
		60	100	330	1000	15000						
		m ³ .m ⁻³					Mg.m ⁻³	m ³ .m ⁻³				
000-005	5	0,3534	0,3358	0,3119	0,2951	0,2548	0,760	0,2766	0,3534	0,713	0,630	0,083
005-015	10	0,4019	0,3884	0,3611	0,3436	0,2804	0,960	0,1681	0,4019	0,638	0,570	0,068
015-030	15	0,4139	0,3969	0,3686	0,3514	0,2843	0,990	0,1361	0,4139	0,626	0,550	0,076
030-050	20	0,4317	0,4042	0,3440	0,3362	0,3137	1,050	0,1183	0,4317	0,604	0,550	0,054
050-100	50	0,4567	0,4313	0,3652	0,3569	0,3213	1,160	0,0633	0,4567	0,562	0,520	0,042
100-200	100	0,4558	0,4150	0,3408	0,3281	0,3329	1,090	0,0742	0,4558	0,589	0,530	0,059

Prof. = profundidade				Microp. = microporosidade		P.Bloq. = poros bloqueados	
Dens.Solo = densidade do solo				Ptotal _{det} = porosidade total determinada		Espes. = espessura	
Macrop. = macroporosidade				Ptotal _{cal} = porosidade total calculada			

Tabela 20. Capacidade de água armazenada e distribuição de poros em Latossolo Amarelo na Flona Tapajós.

Prof. cm	Espes. cm	CMAA	CAD	CAD	Volume de poros distribuídos por tamanho				
		camada	mm	Acum.	$\geq 5\mu$	$< 5a > 3\mu$	$\leq 3a > 1\mu$	$\leq 1a > 0.3\mu$	
$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$									
000-005	5	31,50	2,86	2,86	0,2766	0,0176	0,0239	0,017	0,295
005-015	10	57,00	8,07	10,93	0,1681	0,0135	0,0273	0,018	0,344
015-030	15	82,50	12,65	23,57	0,1361	0,017	0,0283	0,017	0,351
030-050	20	110,00	6,06	29,63	0,1183	0,0275	0,0602	0,008	0,336
050-100	50	260,00	21,95	51,58	0,0633	0,0254	0,0661	0,008	0,357
100-200	100	530,00	7,90	59,48	0,0742	0,0408	0,0742	0,013	0,328

Prof. = profundidade		CMAA = camada máxima de água armazenada		CAD Acum. = CAD acumulada	
Espes. = espessura		CAD = capacidade de água disponível			

4.2.2. Umidade e Temperatura do Solo

Durante o período de estudo (agosto/2003 a julho/2005), o período seco alcançou a precipitação de 560.8 e 391.0mm, para os anos de 2003/2004 e 2004/2005, respectivamente, comparados com 1690.4 e 1073.8mm, para o período chuvoso. Isto levou a uma grande variação entre os dois períodos, variação esta mais acentuada nas camadas superiores, onde a infiltrabilidade do solo é mais elevada.

Transformando umidade volumétrica para espaço poroso cheio de água (WFPS), encontramos valores entre $35\% \pm 6,3$ a $55\% \pm 3,5$, durante o período seco e, $52,5\% \pm 13$ a $65\% \pm 10,6$, durante o período úmido.

Na figura 20 visualiza-se o comportamento da umidade do solo, durante o ano (media de dois anos), os quais não apresentaram diferenças significativas, pelo teste t, entre os anos estudados. Como esperado e lógico, as diferenças significativas ($p < 0,01$) foram observadas nas profundidades estudadas entre o período seco e período úmido. As profundidades de 5 e 15cm apresentam os menores valores do conteúdo de água, em comparação com as demais profundidades, devidas, principalmente, a muito rápida infiltração e à presença de raízes (15cm), favorecendo a utilização desta água pelos vegetais e fauna ali presentes.

Também, observa-se que, mesmo durante o período seco, a quantidade de água armazenada no solo é elevada, não significando isto, contudo, água disponível aos vegetais.

A grande variação de umidade do solo entre os períodos seco e úmido é visualizada na Figura 21. A ordem de magnitude é elevada, encontrando-se entre $0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ na camada de 5cm e $0,06 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ na profundidade de 200cm.

Na Figura 22 verifica-se a variação mensal da umidade do solo, em seis profundidades, comparadas com os conteúdos de água na capacidade de campo.

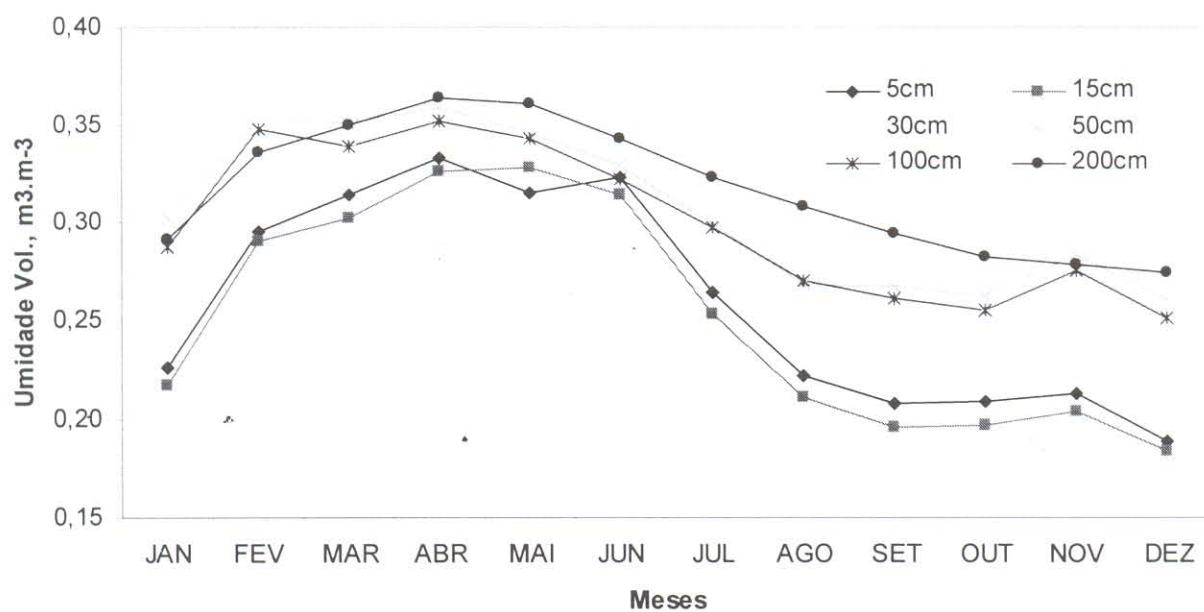


Figura 20. Variação mensal (média de 4 anos) da umidade do solo ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$), em seis profundidades, na Flona Tapajós.

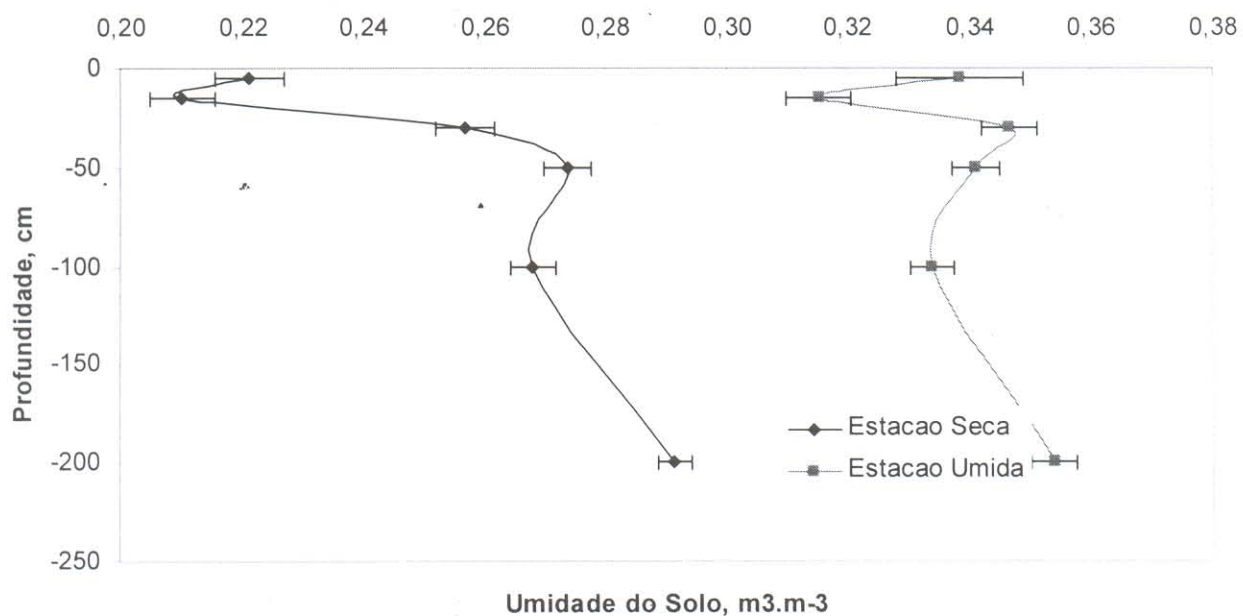


Figura 21. Umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$), em seis profundidades, durante o período úmido e o período seco, na Flona Tapajós (barras são erro padrão, considerando $n=48$ semanas).

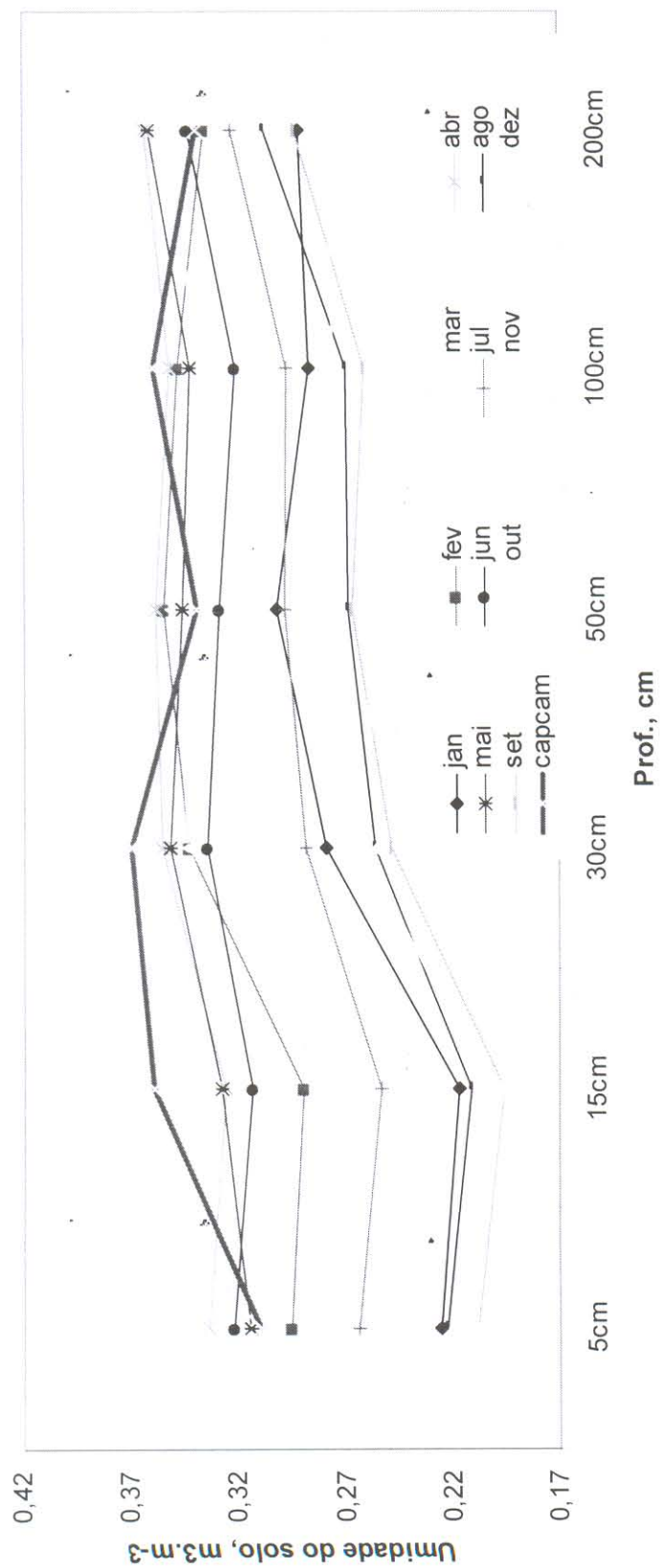


Figura 22. Umidade do solo média (m³.m⁻³), em seis profundidades, e os valores da capacidade de campo para Latossolo Amarelo muito argiloso na Flona Tapajós.

Destacamos três pontos nesta figura: a profundidade de 5cm apresenta os meses de março, abril maio e junho com conteúdos de umidade superiores à capacidade de campo, o mesmo ocorrendo na profundidade de 50cm com os meses de fevereiro, março, abril e maio, e, na profundidade de 200cm repetindo-se com o acréscimo do mês de junho. É interessante notar o mês de junho, na profundidade de 5cm acima da capacidade de campo, haja vista a acentuada diminuição da precipitação durante este mês, refletindo, talvez, eventos episódicos de grande volume ocorridos durante este mês.

Outras observações interessantes são as profundidades de 15 e 30cm e que não apresentam valores próximos à capacidade de campo em nenhum dos meses estudados e é, também, onde se observam as maiores diferenças entre o período seco e úmido.

Na Figura 23 observa-se o comportamento horário da umidade do solo durante o ano. Todas as profundidades seguem o mesmo padrão, porém, nas profundidades mais próximas da superfície (5, 15 e 30cm), o declive da curva, durante o período seco, é mais acentuado, sugerindo a percolação da água para as camadas mais profundas e, também, o papel de absorção das raízes (maior volume de raízes ativas naquelas profundidades).

O conteúdo de água disponível, em duas profundidades (0-100cm e 100-200cm), é mostrado na Figura 24. Na profundidade de 0-100cm, observa-se nítida variação entre as estações seca e úmida, evidenciando, mais uma vez, o dinamismo da água até esta profundidade. Esta variação é menos evidente na profundidade de 100-200cm, onde a curva apresenta-se mais retilínea; isto pode ser devido à menor presença de raízes que absorvem a água para o consumo dos vegetais.

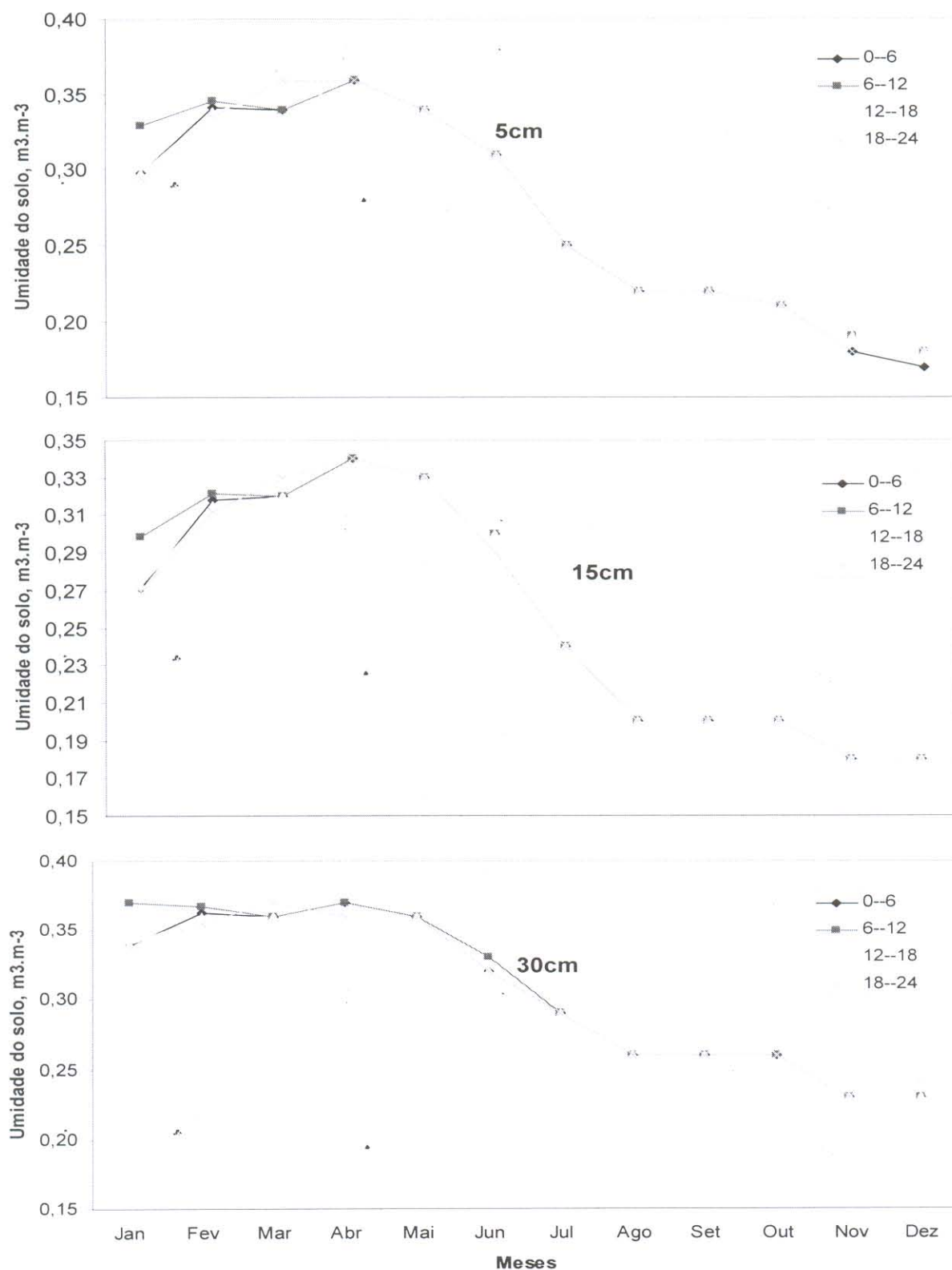


Figura 23. Variação horária da umidade do solo, em seis profundidades, na Flona Tapajós. (continua)

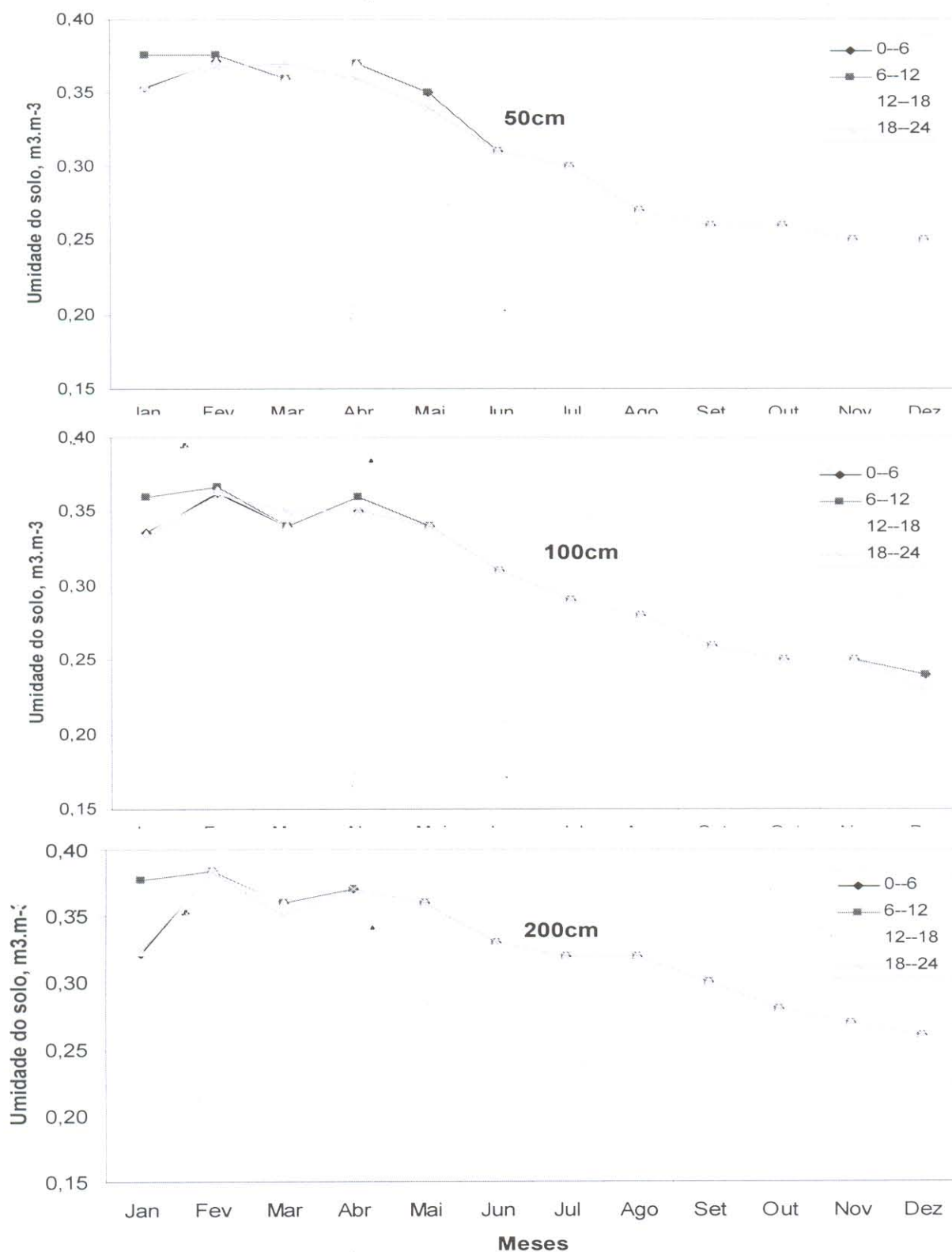


Figura 23. Variação horária da umidade do solo, em seis profundidades, na Flona Tapajós. (conclusão)

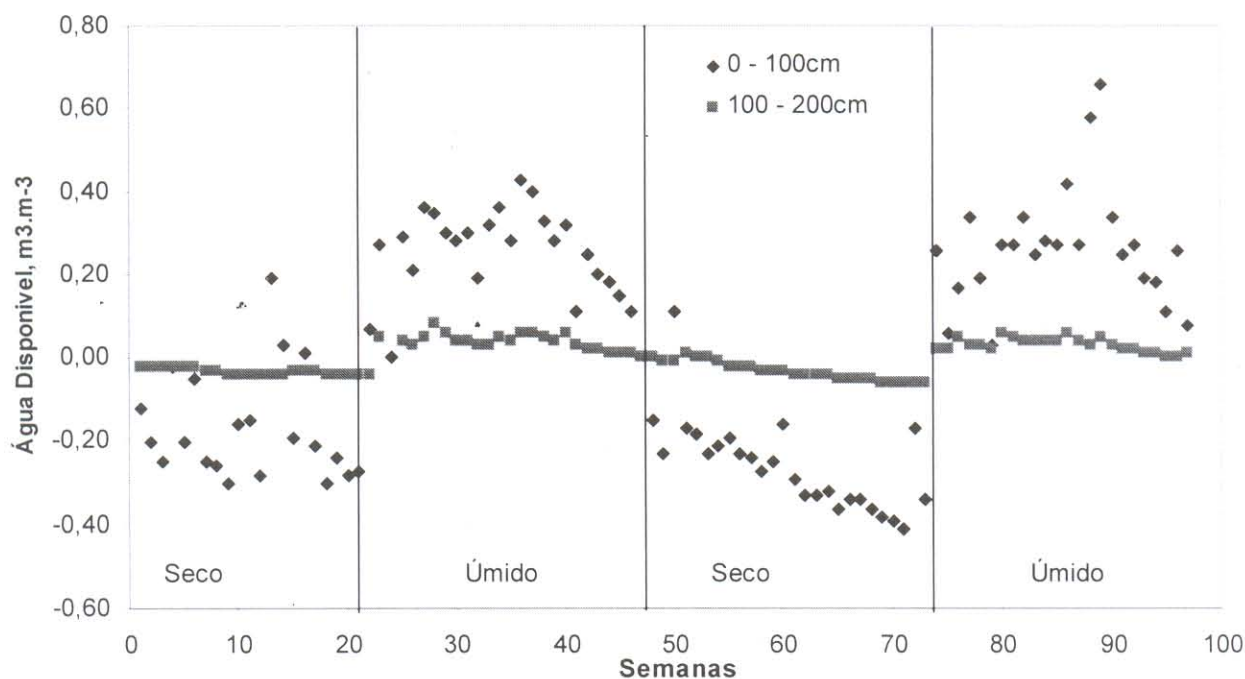


Figura 24. Água disponível no solo, em duas profundidades, na Flona Tapajós. Observe variação temporal entre as duas profundidades.

A variação horária da temperatura do solo, nas profundidades estudadas, entre o mês mais seco e o mês mais úmido é apresentada na Figura 25. Observa-se que, durante o mês mais seco a amplitude da variação entre o período de 6-12 e o período de 12-18 horas, é menor do que no mês mais úmido, porém, neste horário, as diferentes profundidades apresentam-se com menor variação entre si no mês mais úmido.

Na Figura 26 observa-se o comportamento da temperatura do solo durante o horário de coleta das amostras de gases em comparação com a variação mensal. O padrão é bastante similar, com muito pequenas variações, demonstrando que, na Flona Tapajós, a temperatura do solo tem características definidas.

Por exemplo, a queda da temperatura do solo, em todas as profundidades, no mês de fevereiro (mês mais chuvoso) e, também, nos meses de junho e julho (limite entre período seco e período úmido), não era tão obvio para este último período.

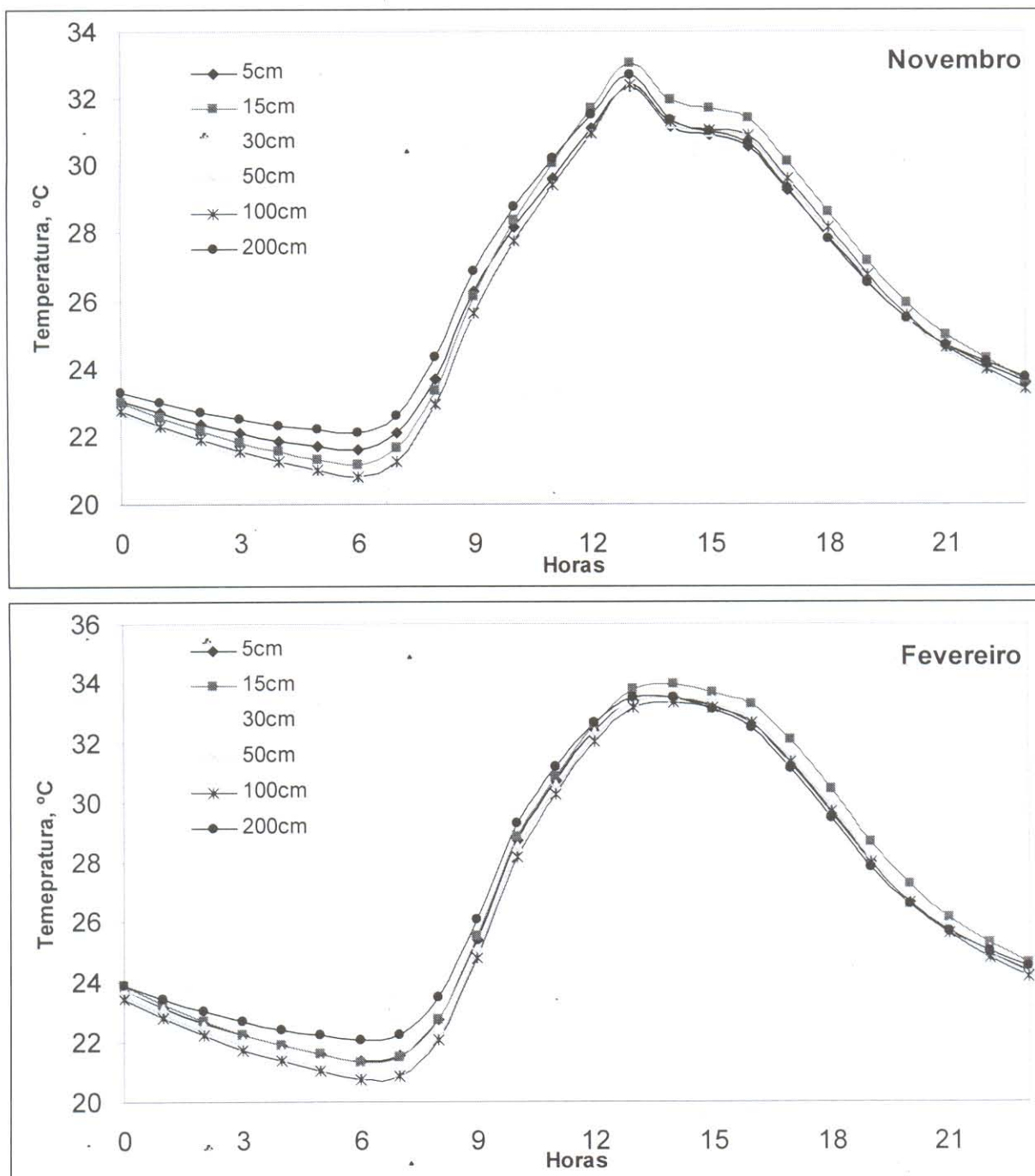


Figura 25. Variação horária da temperatura do solo, em seis profundidades, durante o mês mais quente e o mês mais frio, na Flona Tapajós.

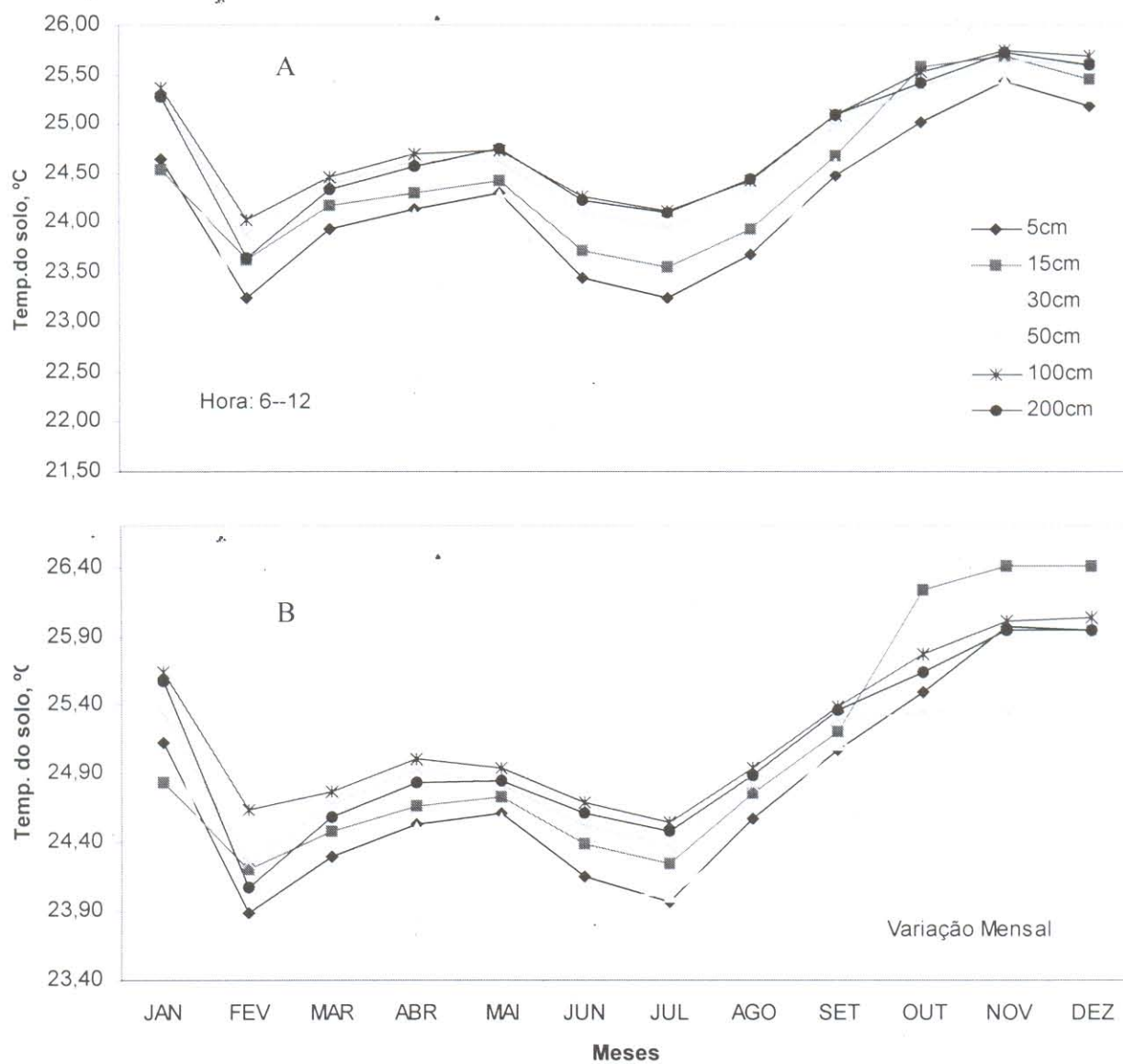


Figura 26. Temperatura do solo média mensal (3anos), em seis profundidades, durante o horário de coleta de gases (A) e a variação mensal (B), na Flona Tapajós.

A variação horária da temperatura do solo nas profundidades de 30 e 50cm, apresenta, para o período de 12-18horas (período de mais alta temperatura) queda brusca de temperatura no mês de novembro, provavelmente ocasionado por eventos extremos de precipitação durante este mês e, com a rápida infiltração, não afetou as camadas mais superficiais.

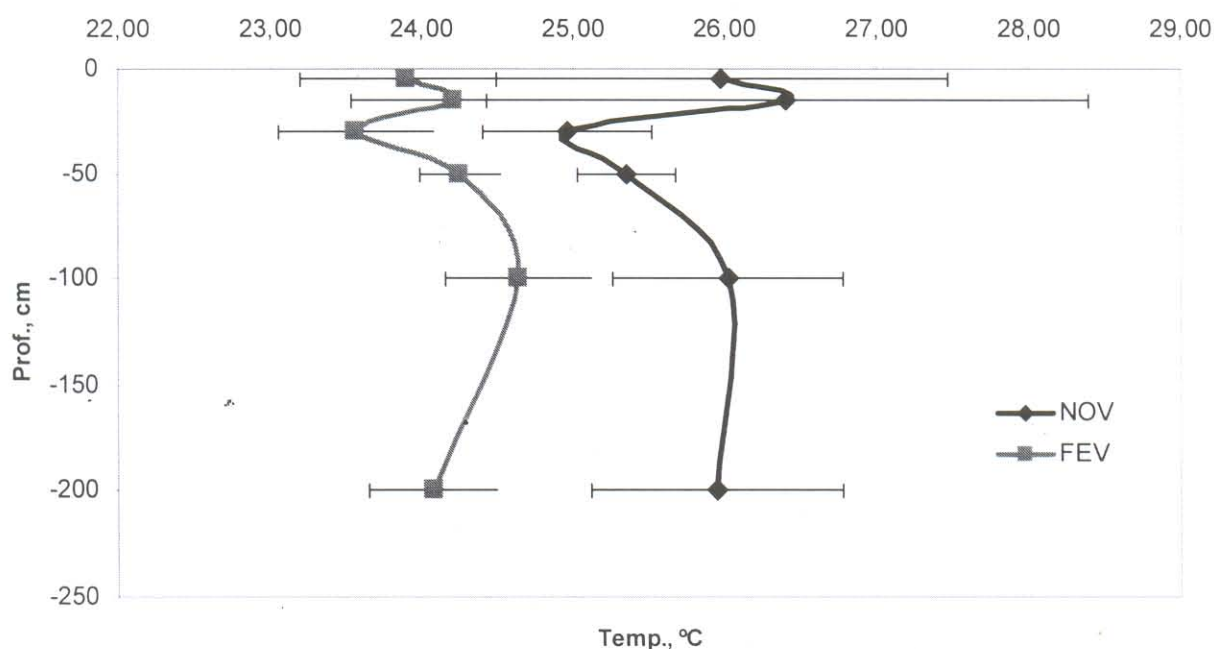


Figura 27. Variação da temperatura do solo entre o mês mais quente e o mês mais frio (média de três anos), na Flona Tapajós. Médias mensais, com erro padrão considerando $n = 3$ anos.

4.2.3. Concentração de Óxido Nitroso, Metano e Gás Carbônico

Verificam-se, na Figura 28, os valores da concentração de óxido nitroso, gás carbônico e metano, nos três perfis estudados, na profundidade de 5cm. Para óxido nitroso e gás carbônico, esta figura mostra nítida diferenciação entre o período seco e úmido, enquanto o metano não apresenta este padrão de sazonalidade.

Na Figura 28 são mostrados valores altíssimos na concentração de óxido nitroso. Por isso, na Figura 29 é apresentada a concentração deste gás em todas as profundidades estudadas. Não foi surpresa constatar que a produção que ocorre na camada de 5cm também ocorre nas demais profundidades, porém, o que chama a atenção, é a magnitude do aumento da concentração deste gás entre o perfil 3 e os outros dois perfis.

Nesta mesma figura, verifica-se que os perfis 01 e 02 seguem padrões bastante semelhantes em seu comportamento, sugerindo a discrepância encontrada entre eles e o perfil três seja, de fato, decorrente da queda das árvores sobre aquele perfil.

Com relação ao gás carbônico, a Figura 30 revela que, também para este gás, o efeito da queda das árvores se fez sentir, porém, em muito menor extensão do que

para óxido nítrico. O metano não apresentou qualquer indicio de influência deste evento sobre a concentração (Figura 31).

Nas Figuras 32, 33 e 34, são mostradas as distribuições de frequência dos três gases estudados. Para o óxido nítrico (Figura 32), verifica-se que o mesmo excede em 98% o valor de 0,325ppm, considerado a concentração padrão na interface solo-atmosfera. Para o gás carbônico (Figura 33), 100% dos valores, no período úmido ultrapassam a concentração atmosférica deste gás (360ppm), enquanto o metano (Figura 34), apresenta valores 39 e 59% superiores à concentração de 2ppm, no período seco e úmido, respectivamente.

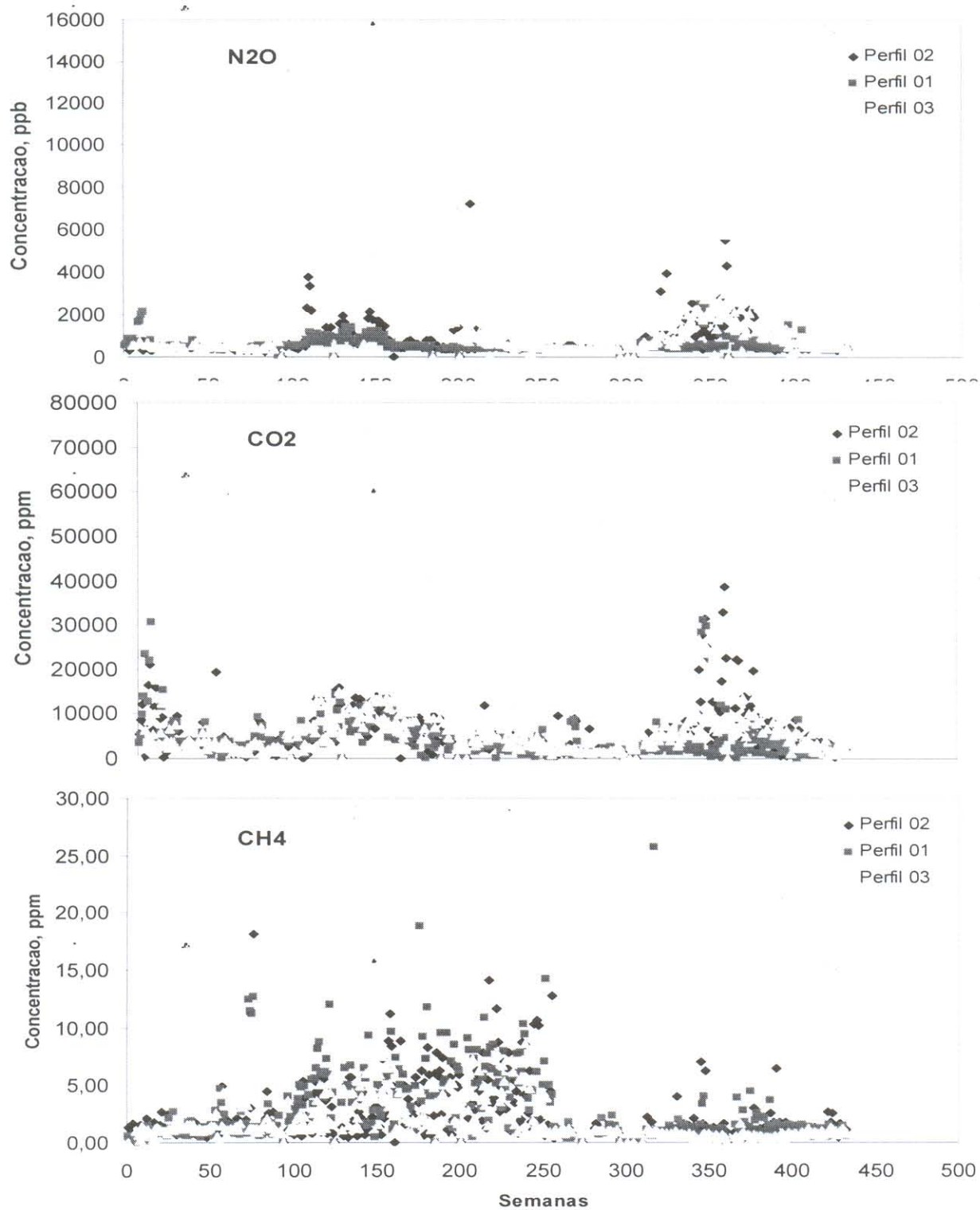


Figura 28. Concentração dos gases estudados, em três perfis (profundidade de 5cm), durante o período de estudo, na Flona Tapajós. Eixo X reflete semanas de amostragem com 4 repetições cada uma.

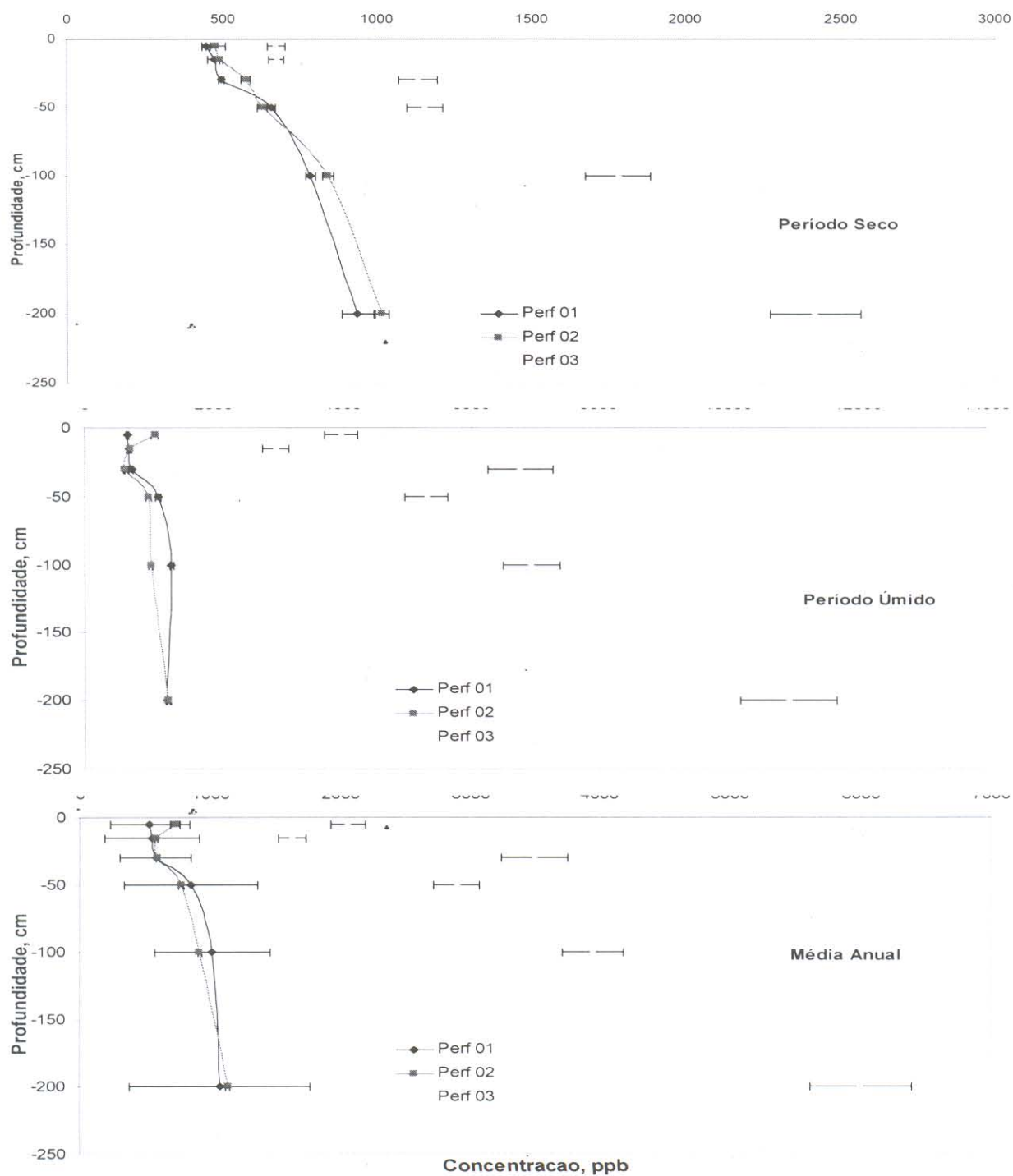


Figura 29. Concentração de óxido nitroso (N_2O), em três perfis, nas profundidades estudadas. Altíssimos picos no perfil 03, em virtude da queda de duas árvores no decorrer das coletas, na Flona Tapajós

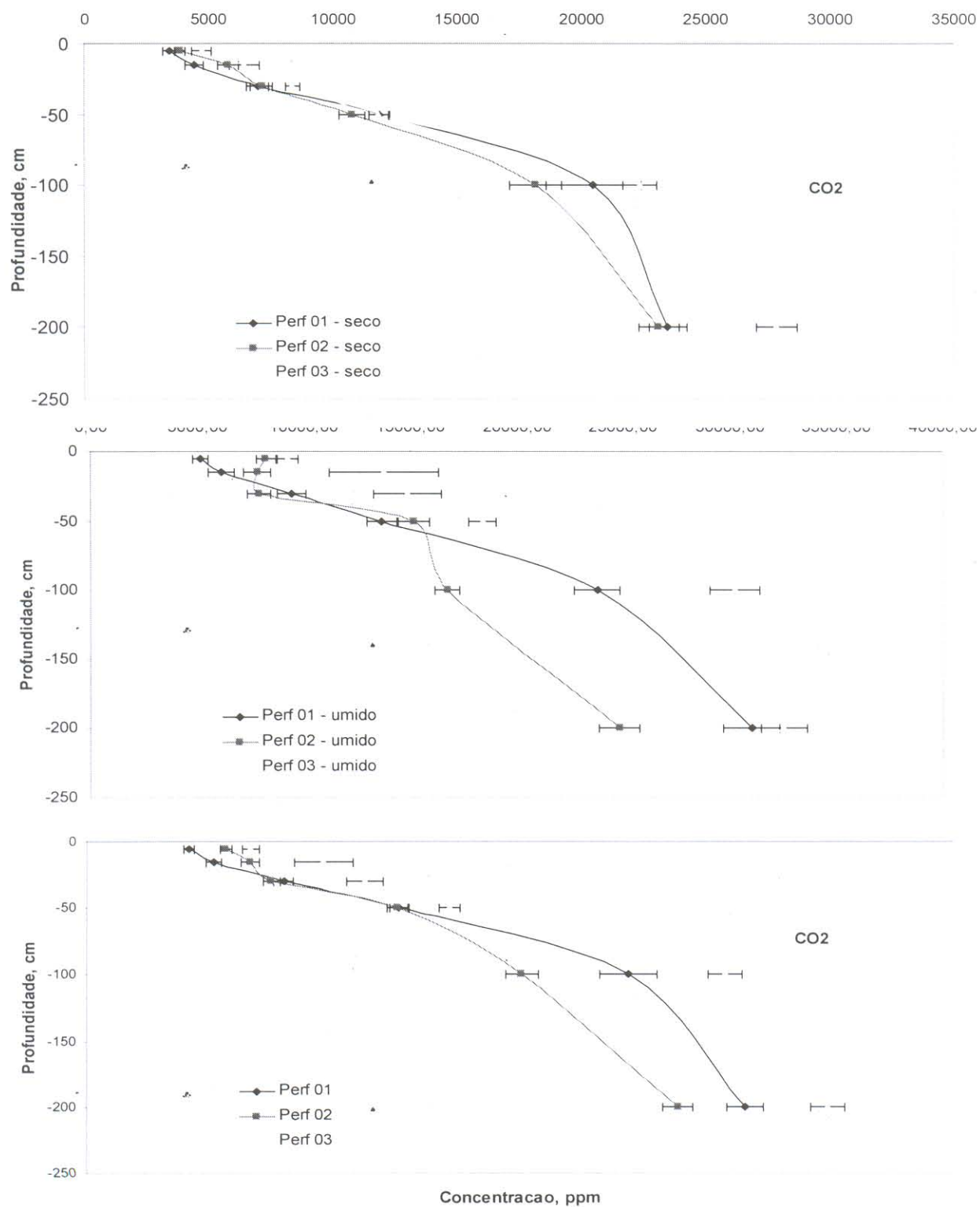


Figura 30. Concentração de gás carbônico, em três perfis, no período seco, no período úmido e média anual, na Flona Tapajós.

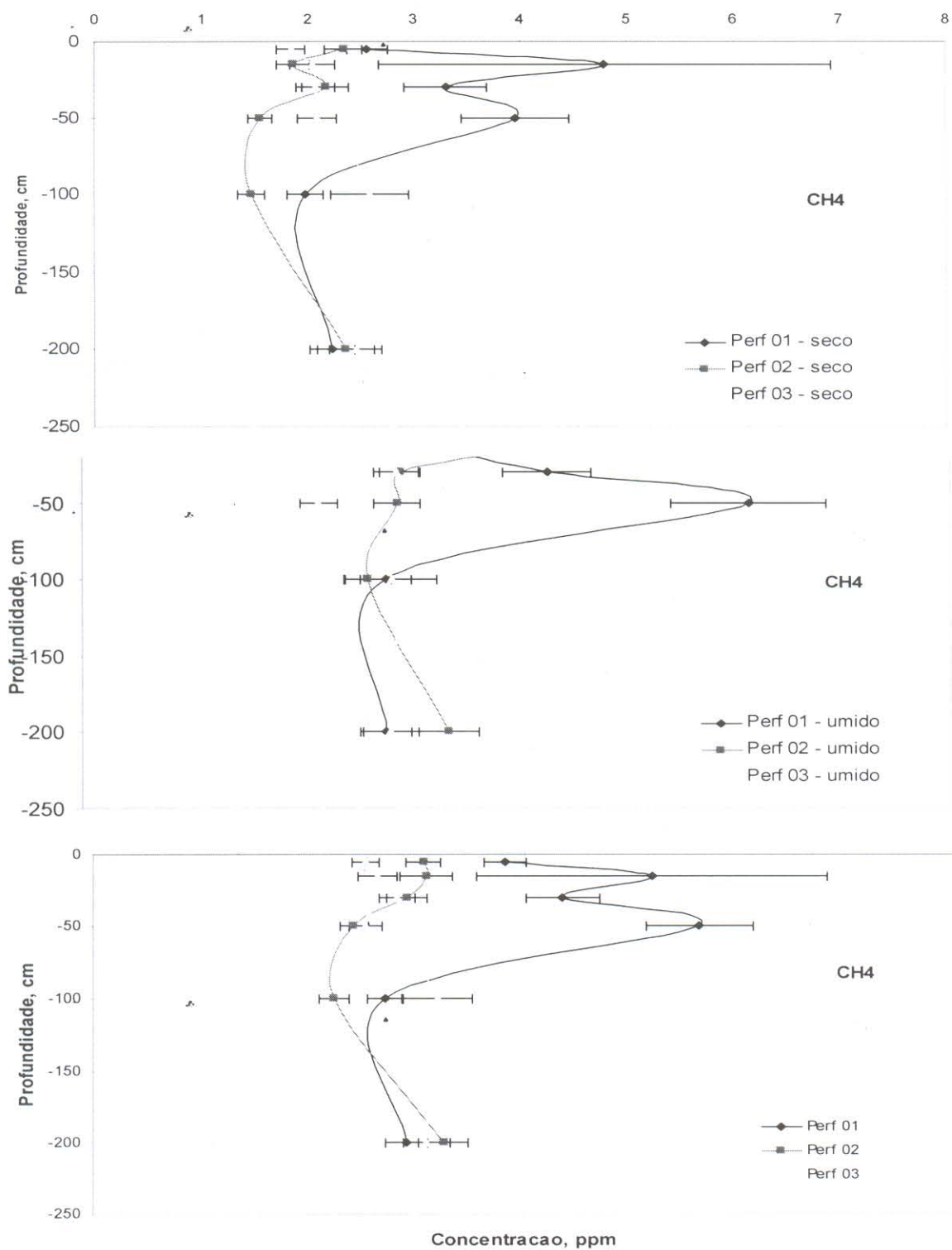


Figura 31. Concentração de metano, em três perfis, no período seco, no período úmido e média anual, na Flona Tapajós.

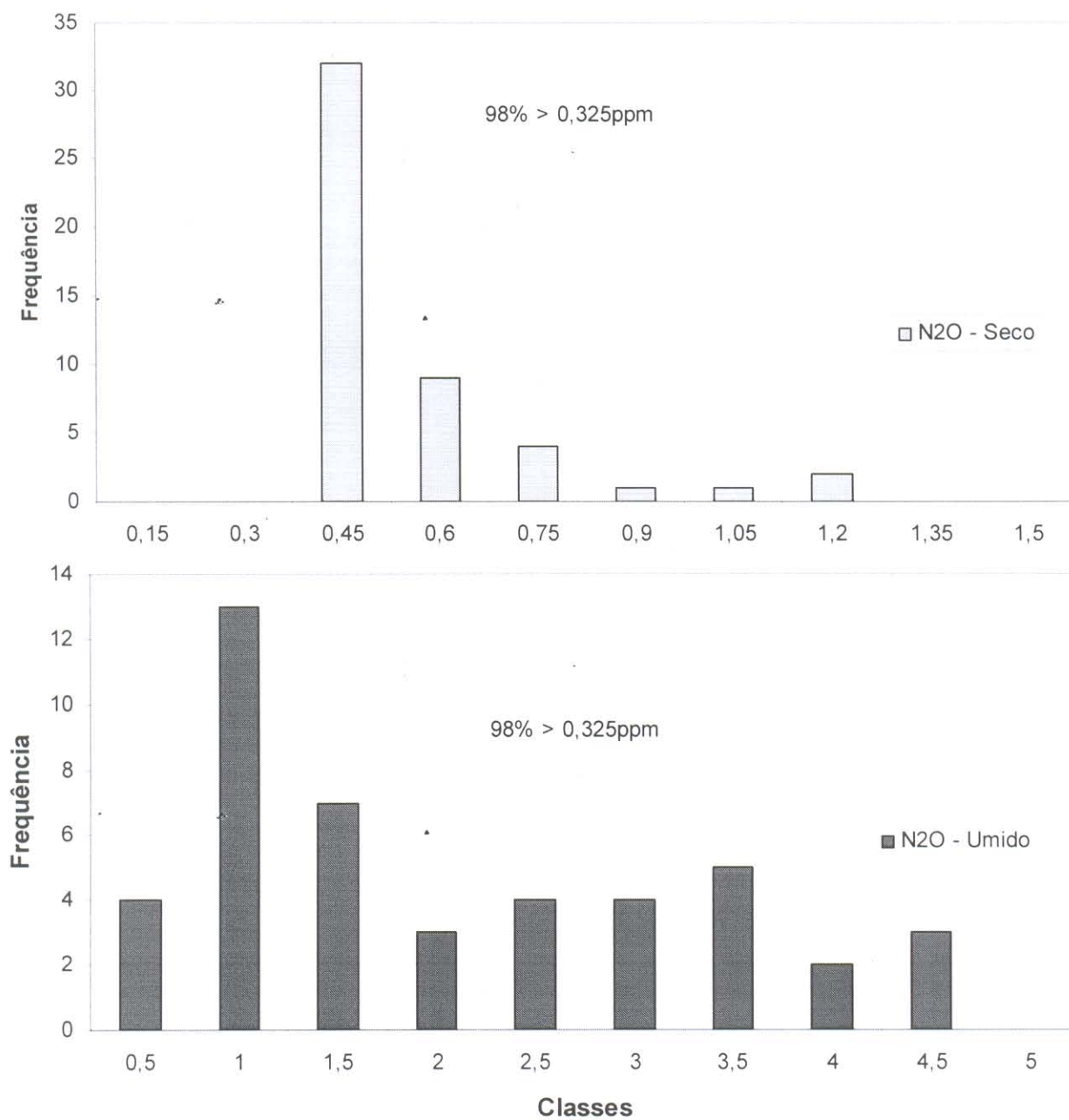


Figura 32. Distribuição de frequência do óxido nitroso, no período úmido e no período seco, com indicação do percentual acima da concentração na atmosfera, na profundidade 5cm.

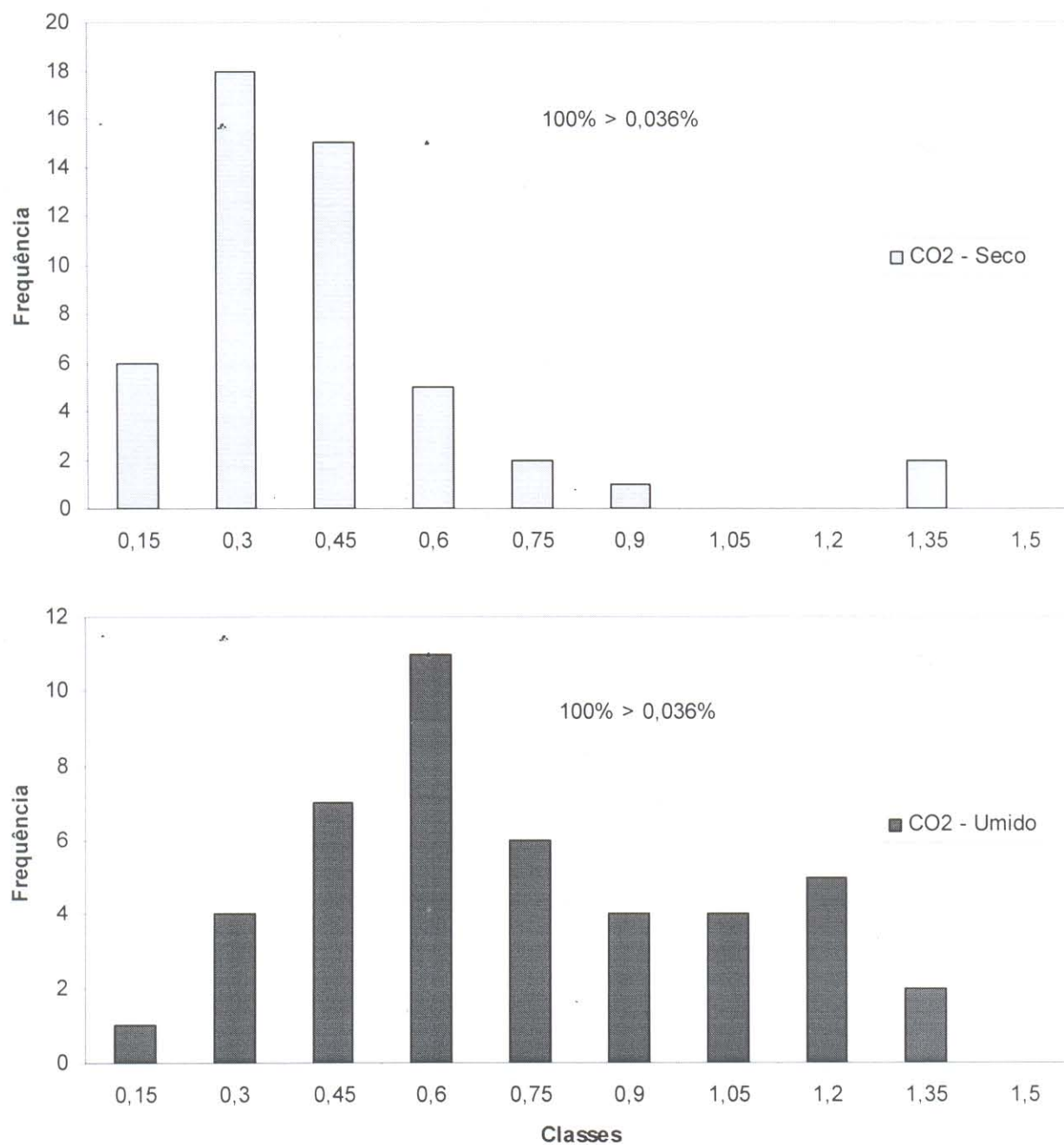


Figura 33. Distribuição de frequência do gás carbônico, no período úmido e no período seco, com indicação do percentual acima da concentração na atmosfera, na profundidade de 5cm.

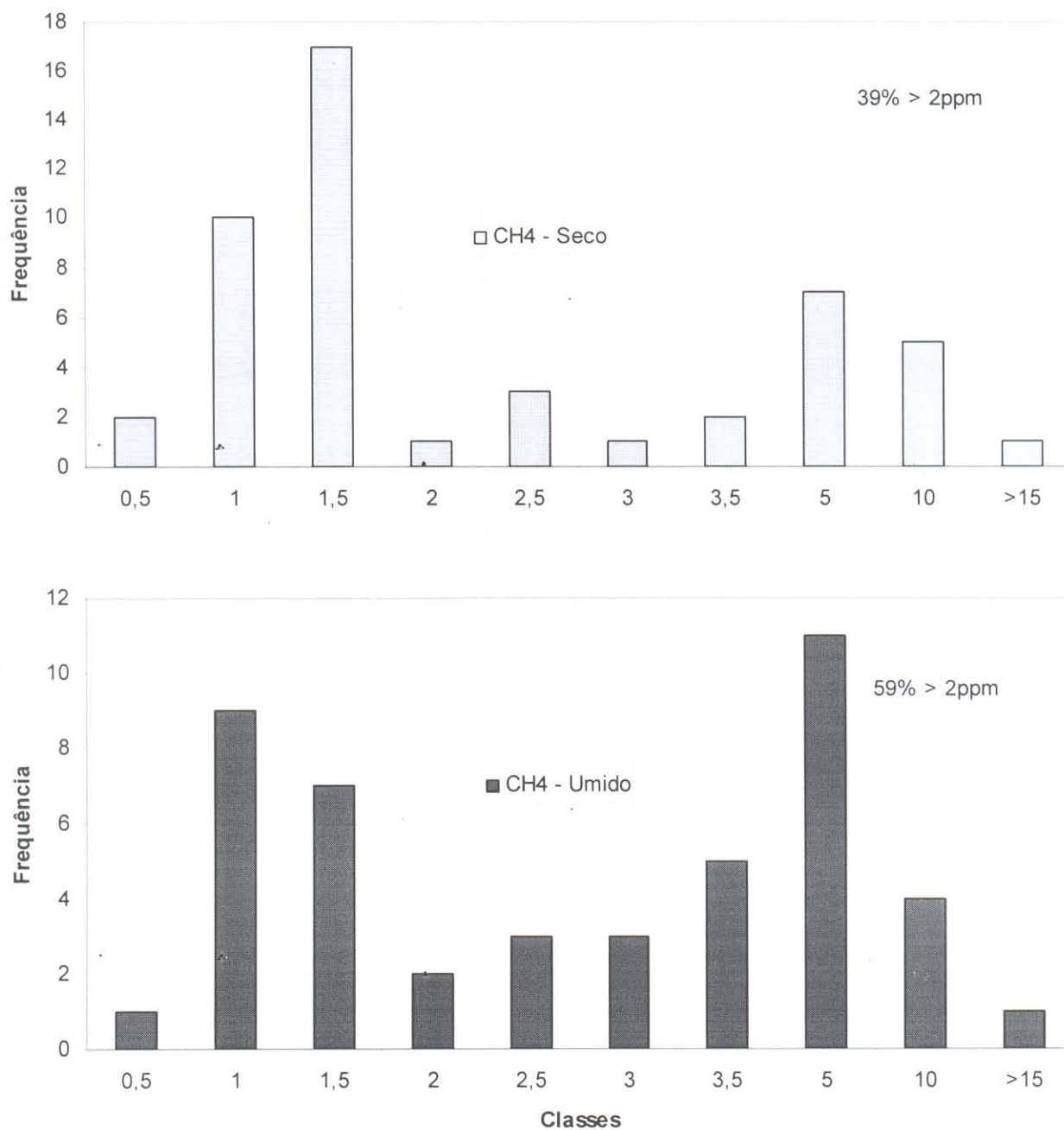


Figura 34. Distribuição de frequência do metano, no período úmido e no período seco, com indicação do percentual acima da concentração na atmosfera, na profundidade de 5cm.

4.2.4. Fluxos de Gases

As emissões dos gases estudados, nas profundidades consideradas, resultaram nos valores apresentados na Tabela 21. Através delas, verifica-se que os maiores valores, para óxido nitroso, ocorreram no período úmido, com $0,36\text{mgN}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ($31,96\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$).

Para gás carbônico, as maiores emissões foram observadas durante o período seco, com $2.200,66\text{mgCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ($192,78\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$). O metano teve comportamento semelhante nos dois períodos, apresentando fluxo anual de $0,16\text{mgCH}_4\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ($14,08\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$).

Pela análise da Tabela 21, verifica-se que os fluxos de gás carbônico, durante o período seco, são maiores do que os fluxos no período úmido, dentro dessas profundidades, com exceção das profundidades de 5cm e 50cm, onde o inverso ocorre; isto demonstra que a umidade é suficiente para promover a produção e emissão de gases, não impedindo (restringindo) a difusão interna do mesmo.

Na Tabela 22 verificam-se os fluxos médios anuais (ano 1 e ano 2) para os gases estudados. Ela apresenta que no Ano 1, houve maior fluxo para gás carbônico e óxido nitroso, enquanto no Ano 2 houve maior fluxo para o metano. Isto está em acordo com a maior precipitação (throughfall) ocorrida no Ano 1, da ordem de 1955mm, enquanto no Ano 2, o volume precipitado apontou 1730mm.

Não houve diferença entre o período seco e úmido para metano e gás carbônico, enquanto para óxido nitroso este foi significativo (teste t, $p<0,05$). Quando se comparou entre anos (ano I e ano II) houve significância (teste t, $p<0,01$) para gás carbônico e óxido nitroso.

Na Figura 35 verifica-se alta correlação entre o espaço poroso ocupado pela água (WFPS—water filled pore space) e o fluxo de CO_2 , considerando-se todas as profundidades. O mesmo acontece para o óxido nitroso (Figura 36), com $r^2=0,75$ (exponencial). Para o metano, o valor do r^2 é elevado e significativo (0,76), com curva do tipo polinomial (Figura 37).

Tabela 21. Fluxos médios, em profundidade, dos gases estudados, na Flona Tapajós, durante o período seco, período úmido e anual (EP = erro padrão).

Prof. cm	CO2 - mg.m-2.h-1		N2O - mg.m-2.h-1		CH4 - mg.m-2.h-1	
	Seco	Úmido	Annual	Seco	Úmido	Annual
5	1544,82	1639,64	1590,76	0,1404	0,3445	0,2393
EP	177,15	130,83	117,56	0,1068	0,0421	0,0423
15	272,55	11,46	134,94	0,0044	-0,0248	-0,0097
EP	72,72	15,25	42,75	0,0055	0,0045	0,0034
30	115,85	91,90	104,25	0,0140	0,0427	0,0279
EP	18,59	13,68	12,27	0,0067	0,0074	0,0046
50	142,20	146,05	144,06	-0,0027	-0,0077	-0,0051
EP	23,92	10,97	14,08	0,0046	0,0039	0,0025
100	93,89	61,35	78,12	0,0066	0,0046	0,0056
EP	9,67	5,56	6,13	0,0037	0,0016	0,0014
200	31,36	21,65	26,66	0,0030	0,0056	0,0042
EP	2,75	2,50	1,97	0,0016	0,0009	0,0007
				0,0006	0,0003	0,0003

Tabela 22. Fluxo médio, em profundidade e anual, dos gases estudados na Flona Tapajós, durante o período de dois anos.

Prof. cm	CO2 - mg.m-2.h-1		N2O - mg.m-2.h-1		CH4 - mg.m-2.h-1	
	ANO 1	ANO 2	ANO 1	ANO 2	ANO 1	ANO 2
5	1890,29	1258,68	0,38	0,09	0,12	0,25
15	206,56	55,52	-0,01	-0,01	0,06	-0,07
30	118,82	88,09	0,05	0,01	-0,01	0,01
50	104,67	187,74	-0,01	0,00	0,01	0,00
100	84,73	70,79	0,01	0,00	-0,01	-0,01
200	22,93	30,79	0,01	0,00	0,00	0,00
Total		212,69	148,19	35,95	8,58	17,41
		Mg CO2.ha-1.ano-1		kg N2O.ha-1.ano-1		kg.ha-1.ano-1

Pela Figura 38 verifica-se que o fluxo de óxido nitroso, na profundidade de 15cm e 50cm, apresenta padrão sazonal inverso das demais profundidades, provavelmente devido à grande produção nas camadas superiores, fazendo com que nestas profundidades haja consumo de óxido nitroso. Isto ocorre quando trabalhamos junto com o perfil 03 (onde ocorreu a queda de duas árvores sobre o perfil), promovendo o enriquecimento de alimentos para o aumento da atividade de microorganismos. Quando se compara perfil 1 e 2 com o perfil 3, verifica-se que este apresenta fluxos variando de 2 a 35 vezes mais elevados do que aqueles.

Vale ressaltar que, na profundidade de 5cm, somente o óxido nitroso responde aos períodos úmido e seco, com o metano apresentando ligeira incremento durante o período úmido. Foram observadas pequenas alterações sazonais no fluxo do CH₄, mais pronunciadas na camada superficial (Figura 36).

A correlação linear múltipla mostrou que a emissão de gás carbônico é significativamente correlacionada ($P < 0,05$), com a umidade e temperatura do solo. Não houve diferença, pelo teste t, entre os períodos úmido e seco, de todos os gases estudados, havendo, porém, entre a umidade do solo ($P < 0,05$), como era esperado.

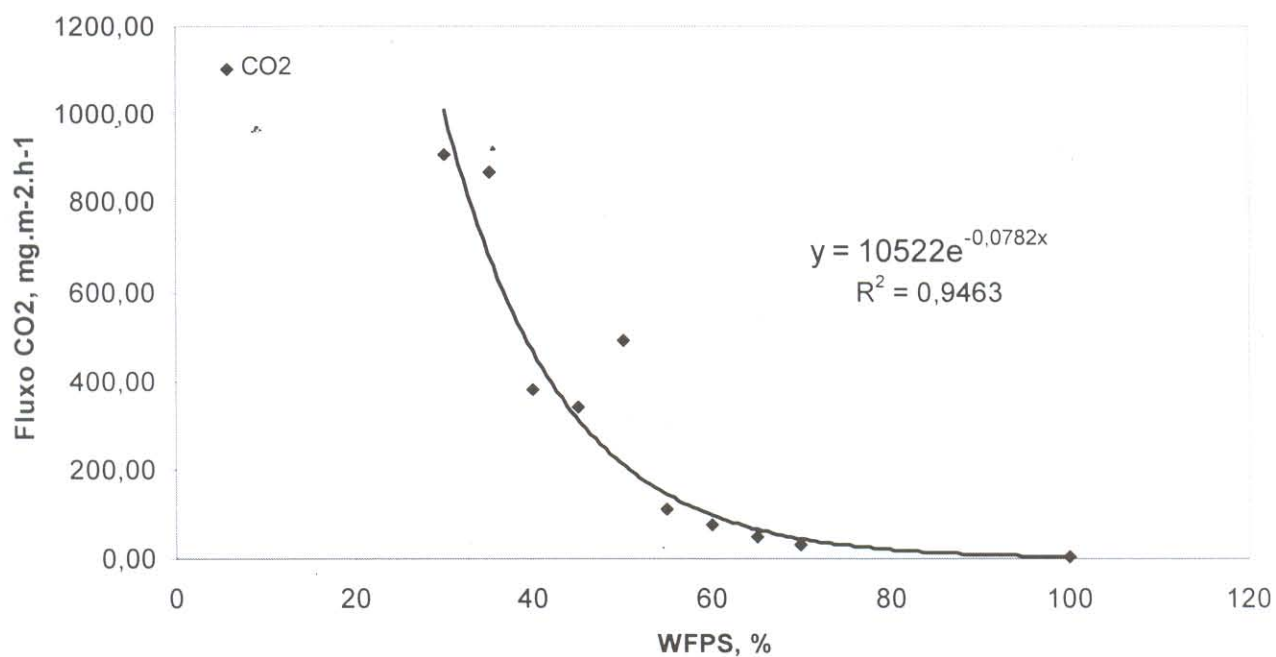


Figura 35. Correlação exponencial entre umidade do solo (WFPS) e o fluxo de CO₂, considerando-se todas as profundidades.

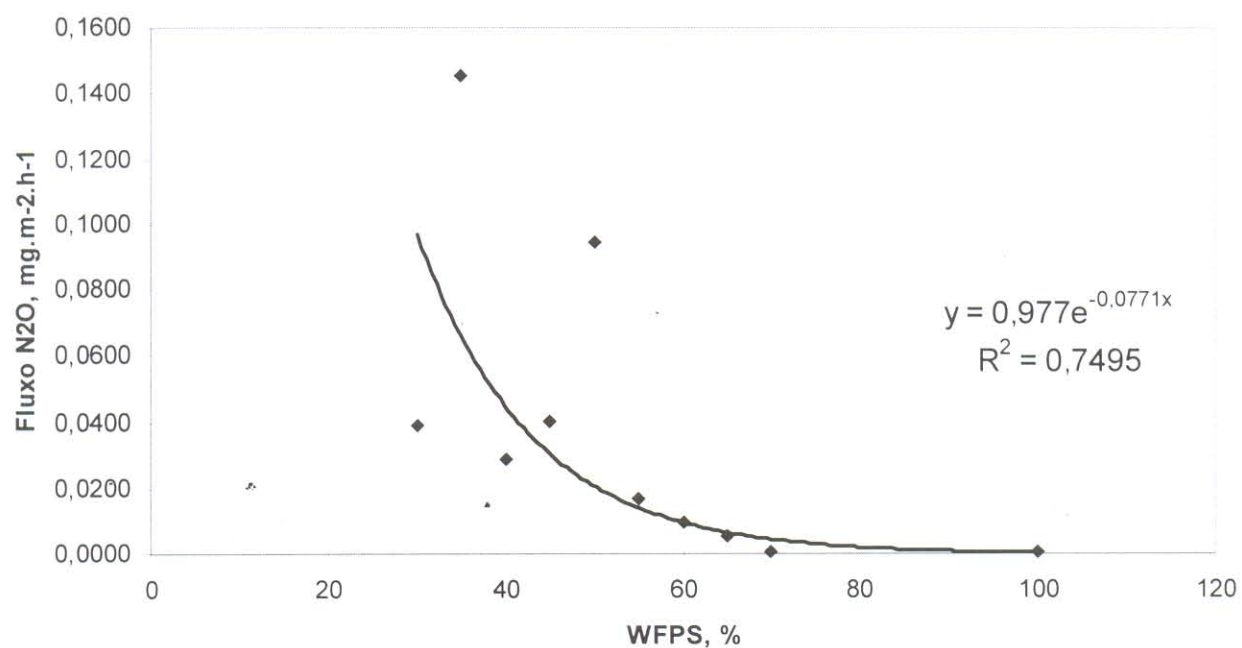


Figura 36. Correlação exponencial entre umidade do solo (WFPS) e o fluxo de N₂O, considerando-se todas as profundidades estudadas.

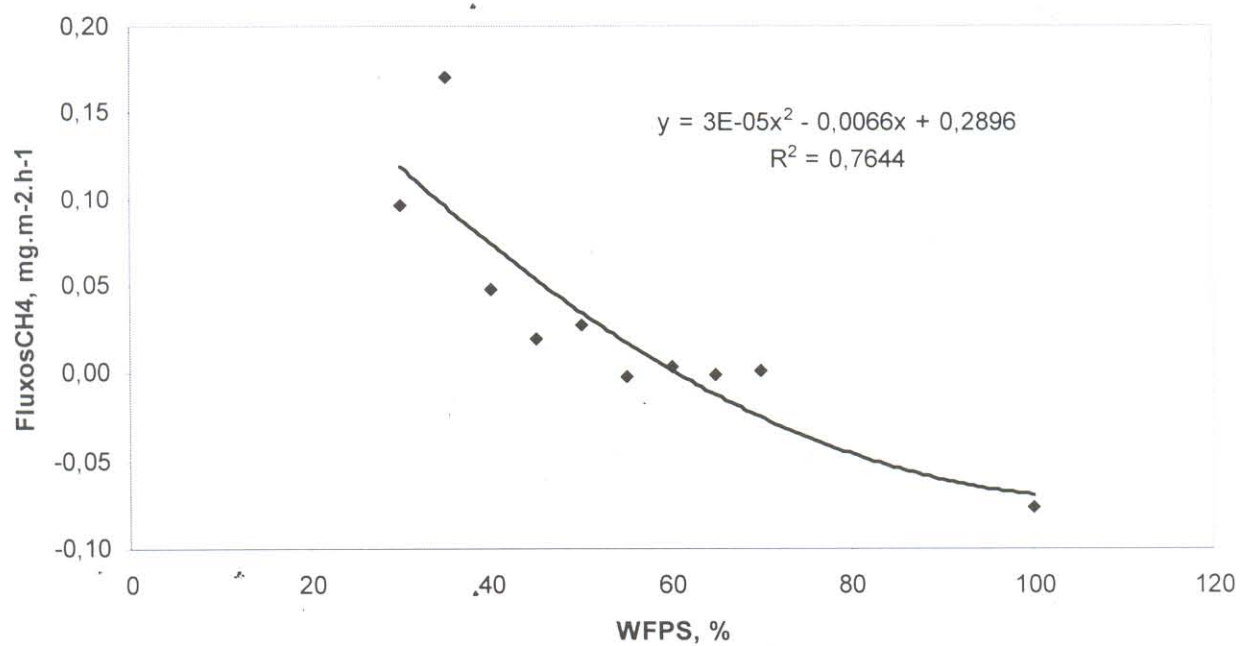


Figura 37. Correlação polinomial entre umidade do solo (WFPS) e o fluxo de CH₄, considerando-se todas as profundidades estudadas.

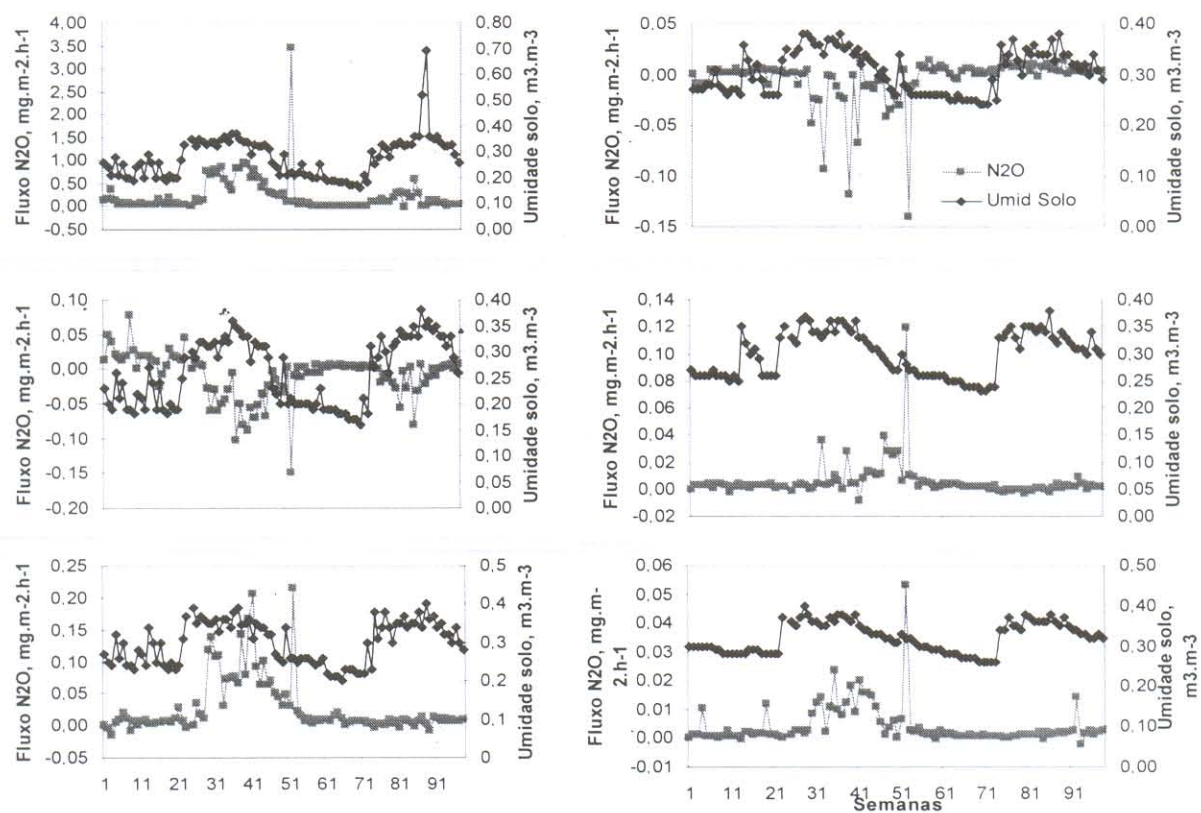


Figura 38. Fluxo de óxido nitroso e umidade do solo, em seis profundidades, na Flona Tapajós.

4.3. DISCUSSÃO

De acordo com Choudhary, Akramkhanov e Saggar (2002), as quantidades de óxido nitroso (N_2O) emitidas dependem de complexas interações entre propriedades do solo, fatores climáticos e práticas agrícolas (GRANLI; BOCKMAN, 1994).

Os principais fatores no solo controlando esta emissão são o conteúdo de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) (CASTALDI; SMITH, 1998), o status de aeração do solo e o conseqüente conteúdo de água no solo (BOLLMAN; CONRAD, 1998; DAVIDSON, BELK e BOONE, 1998; MACKENZIE, FAN e CADRIN, 1998), o pH e a temperatura do solo (MAHMOOD et al, 1998) e, a presença de material orgânico degradável (KAISER et al, 1998).

Contudo, todos os autores citados, também concordam que, nem sempre, estes fatores são fortemente correlacionados com a emissão de óxido nitroso (e outros gases, também); devido às complexidades de interações entre esses fatores, as emissões de N_2O apresentam muito elevadas variações temporais e espaciais, variações estas também devido à heterogeneidade do solo (CARRAN, THEOBALD e EVANS, 1995).

Tendo como base os valores anuais médios, verificou-se que, para o gás carbônico, não houve consumo, pelo solo, deste gás, com emissões de $182,10\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Para o óxido nitroso, os fluxos, nas profundidades de 15cm e 50cm apresentaram fluxo negativo ($-1,3\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) e fluxo positivo para as demais profundidades ($21,67\text{kg.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$). O metano apresentou consumo de $0,63\text{kg.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ nas profundidades de 30cm e 100cm, enquanto emitiu metano ($\text{kg.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$), nas profundidades 5cm, 15cm, 50cm e 200cm. Este último caso traz algumas interrogações que necessitam ser mais bem avaliadas, pois é sabido que os solos são um sumidouro para metano e, aqui, ele está emitindo, mesmo levando-se em consideração que de 32 a 59% do tempo o solo esta consumindo metano (Figura 32).

Como se observou, os valores apresentados para o óxido nitroso estão muito acima dos encontrados por Keller et al (2005) ($6.5\text{kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), Luizão et al (1989) e Verchot et al (1999) (1.9 a $2.4\text{kg N ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) e, também aqueles de Davidson, Ishida e Nepstad (2004), com $2.6\text{kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Todos estes autores estudaram o fluxo de óxido nitroso em solos semelhantes (latossolos amarelos muito argilosos). Keller et al

(2005) afirmam que seus números de fluxos de N_2O estão entre os mais elevados, considerando-se qualquer floresta tropical úmida ao redor do mundo.

Quando consideramos o fluxo de óxido nitroso, sem o perfil 3 (onde houve queda de árvores sobre o perfil), verificou-se a diminuição do fluxo deste gás (entre o perfil três e os outros dois perfis), o que, na camada superficial, foi da ordem de 5x. Keller et al (2000), na Costa Rica, e Varner et al (2003), na Flona Tapajós, tinham já relatados resultados semelhantes, porém, não nesta dimensão de grandeza.

A comparação dos fluxos entre os três perfis (Figura 26), para óxido nitroso, confirma a hipótese, já estudada por outros autores (KELLER et al, 2000; VARNER et al, 2003), de que distúrbios que causem aumento de atividade biológica elevam o fluxo de óxido nitroso. Neste aspecto Keller et al (2000) hipotetizaram que a morte de raízes levam a uma redução no consumo de nitrogênio (além da mineralização do material vegetal a decompor) e, mantidos todos os outros fatores iguais, isto aumentaria o suprimento líquido de amônio e, conseqüentemente, a um aumento na nitrificação. Isto, no conceito do modelo Hole-in-the-Pipe (FIRESTONE; DAVIDSON, 1989) leva a um aumento na ciclagem do nitrogênio pela massa microbiana e a um aumento na emissão de óxido nitroso.

Os altos valores dos fluxos de óxido nitroso medido estão em concordância com os altos valores de nitrogênio adentrados ao sistema via throughfall (uma inadvertida fertilização), assim como a dinâmica de aeração e temperatura do solo, o que favorece a decomposição e a mineralização deste nitrogênio pelos microorganismos presentes no solo. Como comparação, Keller et al (2000) mediram valores maiores de 9x no fluxo de óxido nitroso em parcelas fertilizadas em solos argilosos da Costa Rica (de $2,09 \pm 2,09$ a $19,3 \pm 18,1 \text{ ng N.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$). Neste trabalho significativas correlações, pelo teste t ($p < 0,05$), entre o fluxo de óxido nitroso e os valores de fluxo de nitrato+amônio, em throughfall ($r^2 = 0,65$).

Como se sabe, o óxido nitroso é produzido no solo, principalmente, durante o desenrolar de dois importantes processos: nitrificação e denitrificação. O primeiro é a transformação de amônio para nitrato, passando através do nitrito, em condições aeróbicas, porém, Smith et al (2003), citam vários autores que relatam que quando o suprimento de O_2 é limitado (umidade do solo aumenta), as bactérias nitrificadoras

podem usar o nitrito como um receptor de elétrons e reduzir ele (o nitrito) para óxido nítrico e óxido nitroso (POTH; FOCHT, 1985; BOLLMANN; CONRAD, 1998).

Assim, a taxa de nitrificação e a taxa de produção de óxido nitroso podem relacionar diretamente com o espaço poroso cheio de água (WFPS), como apresentado na Figura 34.

O outro processo microbiológico de produção do N_2O , a denitrificação, que é considerada a maior fonte de óxido nitroso (SMITH et al, 2003), processa-se em condições anaeróbicas e tem o nitrato como o principal ingrediente. Neste caso o nitrato atua como o principal receptor de elétrons.

Estes dois processos ocorrem constantemente na Flona Tapajos, onde as condições de temperatura e umidade do solo, assim como, o aporte de quantidades apreciável de amônio e nitrato, favorece a atividade de microorganismos para produção de óxido nitroso. É interessante notar que, durante o período seco, a deposição de amônio é menor do que no período úmido (nitrato é similar em ambos os períodos) e, assim, podemos inferir que a nitrificação esta sendo mais dependente da umidade e da temperatura solo (Figura 34), concordando com os resultados de Zechmeister-Boltenstern et al (2002).

De acordo com o modelo Hole-in-the-Pipe (FIRESTONE; DAVIDSON, 1989), fluxos de óxidos de nitrogênio são controlados, em um primeiro momento, pela taxa de ciclagem de nitrogênio através do sistema solo. Em um segundo momento, estes fluxos são mais controlados pelo conteúdo de água do solo, o qual controla a taxa de difusão de oxigênio e outros gases no solo. Ambos os momentos favorecem maior emissão de óxido nitroso em solos argilosos. Keller et al (2005) encontraram resultados semelhantes aos medidos neste estudo.

Silver et al (2000) relatam que, no primeiro momento, a taxa de nitrificação líquida, um índice da ciclagem de nitrogênio, parece muito alto neste solo (Latosolo Amarelo muito argiloso) e, no segundo momento, o solo apresenta maior espaço poroso cheio de água (WFPS). A altos valores de conteúdo de água no solo, a denitrificação normalmente domina a produção de N_2O em solos tropicais (PARSONS et al, 1993). Também, Silver et al (2000), estudando em solos argilosos e arenosos da Floresta

Nacional do Tapajós (local de estudo deste trabalho, também), encontraram denitrificação quatro vezes maior em solos argilosos do que em solos arenosos.

De acordo com Bollmann e Conrad (1998), a nitrificação é a principal fonte de N_2O a conteúdo de umidade até 60% WFPS; neste estudo, 90% dos valores de umidade do solo estão dentro desta faixa, deixando antever a possibilidade de que o maior emissor de N_2O seja o processo de nitrificação. Acima deste valor (>60%) a denitrificação assume como a principal fonte (BOLLMANN; CONRAD, 1998).

As principais razões para os altos valores de emissões de N_2O na Flona Tapajós (km 67) são o elevado input atmosférico de nitrogênio, aproximadamente $41 \text{ kg N ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (vide Tabela 4) e elevadas taxas de nitrificação e denitrificação (não estudados neste trabalho) conjugados com baixos valores de pH do solo, concordando com os dados de Zechmeister-Boltenstern et al (2002) e Hahn, Gartner e Zechmeister-Boltenstern (2000). Neste aspecto, significativa correlação ($r^2=-0,65$; $p<0,05$) entre o fluxo de óxido nitroso e o fluxo de nitrato + amônio foi observada neste estudo.

Durante os dois anos de estudo, o fluxo de metano alcançou $14 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, valores muito acima dos normalmente observados em condições tropicais. Davidson e Trumbore (1995), Verchot et al (1999), Steudler et al (1996), Davidson, Ishida e Nepstad (2004), e Keller et al (2005), mediram valores bem mais baixos do que os observados neste estudo.

Semelhantemente ao ocorrido com o óxido nitroso, grande emissão de CH_4 , na profundidade de 5cm, na semana 91, provocou um consumo na profundidade de 15cm, como se a produção acima “empurrasse” suficientemente, para que a camada subjacente não fosse hábil para a emissão de metano (Figura 39). O mesmo acontece nas profundidades de 15 e 30cm (semana 49) e 50 e 100cm (semana 89). É interessante verificar que, com exceção da profundidade de 5cm, todas as outras profundidades têm seus fluxos próximos a zero. Isto pode, também, ser um resquício negativo do modelo utilizado, o qual necessita de alguns pressupostos relatados mais adiante.

Isto é particularmente importante, pois reforça a idéia da atuação de organismos metanogênicos (metanogênese), os quais catalisam a quebra da matéria orgânica, resultando na produção de metano e CO_2 . Na camada superficial, a

quantidade de matéria orgânica, após a queda das árvores, trouxe alimento suficiente para estes microorganismos (Fa'anunu, não editado).

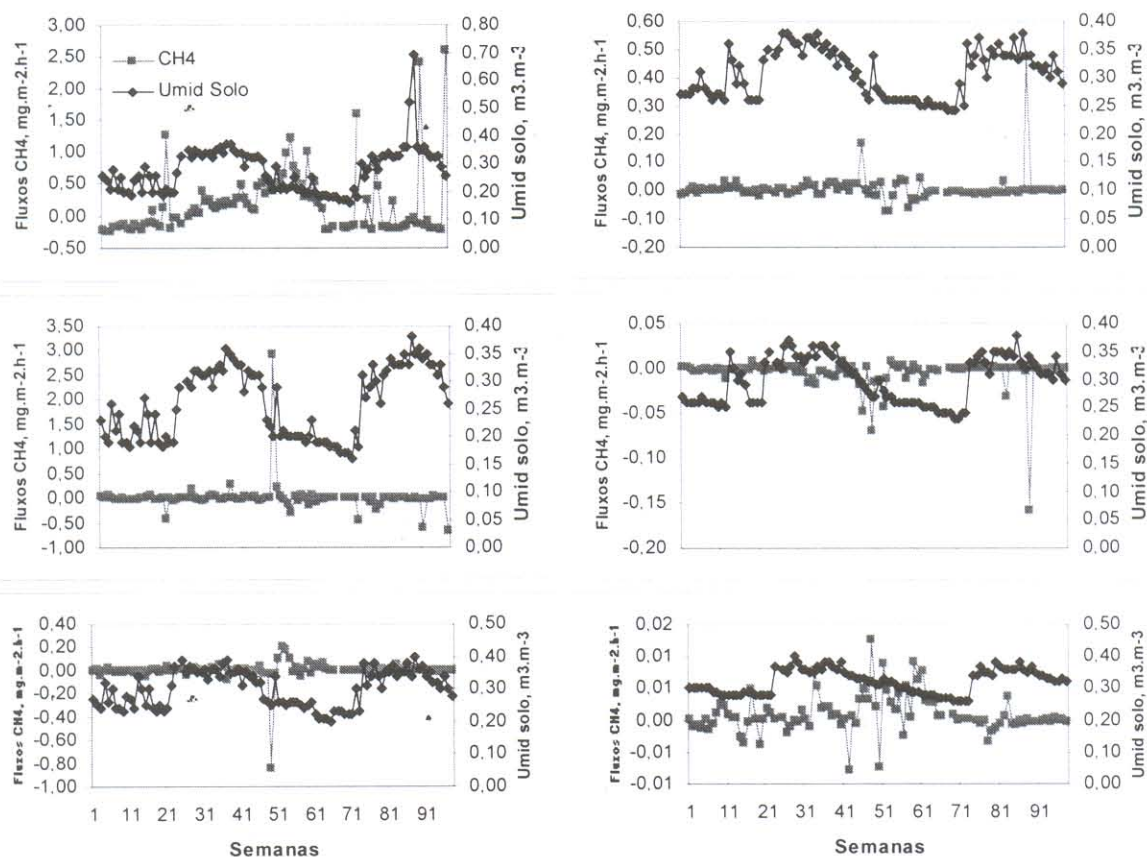


Figura 39. Variação semanal do fluxo de metano e da umidade do solo, em seis profundidades, na Flona Tapajós.

Também, os resultados mostraram que elevados picos no fluxo de metano ocorreram durante o período seco, provavelmente como um resultado de eventos de precipitação (período seco antecedente), normais na região, conforme observado por Liu et al (2002) para CO₂.

Bradford et al. (2001) relatam que a adição de nitrogênio inorgânico pode diminuir o potencial de oxidação do metano e adições similares no campo poderiam diminuir a absorção de metano pela superfície do solo (STEUDLER et al, 1989). Semelhantemente, solos florestais consomem menos metano quando o solo torna-se mais úmido (CASTRO et al, 1994), porém, mais do que um inibidor do potencial de oxidação de metano do solo, o efeito pode ser o resultado de menores difusões de

metano para o local de oxidação ou uma estimulação da produção de metano. Durante o período úmido, isto seria factível de ocorrer na Flona Tapajós.

Neste estudo, significativas correlações (teste t, $p < 0,05$) foram encontradas entre o fluxo de metano e a concentração de nitrogênio inorgânico ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3 + \text{NH}_4$), em precipitação, com valor de $r^2 = -0,27$; Verchot et al (1999) não encontraram significância entre fluxo de metano e formas inorgânicas de nitrogênio.

Na Flona Tapajós, 42% dos valores encontrados para WFPS estão acima de 50%, o que pode estar favorecendo a emissão de metano, principalmente. Vários autores relatam que solos tropicais são sumidouros de metano, porém, à luz dos dados apresentados neste trabalho, conjugando altos fluxos de nitrogênio, principalmente amônio (significativa correlação foi encontrada entre $\text{CH}_4 \times \text{N-Inorg}$) com altos valores de WFPS (significativa correlação também encontrada), não é de espantar que os resultados aqui encontrados sejam de emissão de metano.

Muitos estudos têm utilizado a lei de Fick para calcular fluxos de vários gases (BILLINGS; RICHTER; YARIE, 2000). A lei de Fick representa fluxo de massa gasosa através de um plano horizontal ou vertical e depende de algumas assunções: a) a razão C / z , a profundidade z próxima o bastante à superfície, pode o gradiente de concentração refletir os valores imediatamente abaixo da superfície; isto não é encontrado quando se estuda $[C]/[z]$ abaixo de 10-20cm (YAVIT et al, 1990); b) alterações nos valores de difusividade devido à tortuosidade em solos heterogêneos (heterogeneidade da quantidade de raízes, canais oriundos de raízes, variabilidade da umidade do solo e da matéria orgânica), limitam a acurácia do coeficiente de tortuosidade (ROLSTON; HOFFMAN; TORY, 1978); c) produção e consumo dentro do perfil do solo, especialmente abaixo da superfície, podem ser negligíveis e, d) os gases assumem direção e sentidos diversos (horizontal e vertical, para cima, para baixo e para os lados), e neste estudo são considerados somente a direção vertical, para cima.

O fluxo de gás carbônico (CO_2), durante dois anos de estudos apontou para $49,7 \text{ Mg C ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (aproximadamente $25 \text{ Mg. ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) valores muito elevados em comparação com outros resultados encontrados na região amazônica (DAVIDSON; TRUMBORE, 1995; VERCHOT et al, 1999; SALESKA et al, 2003; SALIMON et al, 2004; KELLER et al, 2005). A principal diferença nas medições realizadas entre estes

autores e o presente estudo é devida a que eles mediram na superfície e este estudo realizou suas medições em profundidade (até dois metros). Contudo, também, os resultados aqui apresentados são superiores aos encontrados por Davidson, Ishida e Nepstad (2004), que estudaram este gás na Flona Tapajós. O autor deste estudo levanta a hipótese que a liteira tem papel fundamental nesta resposta do fluxo de CO₂.

Sob o aspecto levantado no último parágrafo, foi realizada uma simulação considerando-se valores 2 e 3x maiores do que a concentração atmosférica de CO₂ (0,036%). Os fluxos encontrados após o cálculo mostram valores mais próximos (17,5 e 16Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente) da realidade medida por outros autores.

Verificou-se que na camada mais superficial (Figura 40), os valores são mais elevados do que nas demais; também, ali se encontra a maior quantidade de material orgânico degradável pelos microorganismos e onde a temperatura e umidade do solo favorecem o seu desenvolvimento. Neste aspecto, Davidson e Trumbore (1995) encontraram valores acima de 9 vezes maiores na camada superficial, comparado com as camadas mais profundas, em solo argiloso de Paragominas, estado do Pará.

O coeficiente de correlação entre WFPS e o fluxo de gás carbônico ($r^2=0,94$) foi mais elevado do que os valores encontrados por Davidson, Ishida e Nepstad (2004), que estudaram na Flona Tapajós a concentração e o fluxo deste gás.

Significativos coeficientes de correlação foram encontrados entre o fluxo de CO₂ e o fluxo de N₂O (Figura 41), corroborando os dados relatados por Keller et al (2005), Breuer, Papen e Butterbach-Bahl (2000), Garcia-Montiel et al. (2002, 2004), com a diferença de que se utilizando os dados completos, o valor de $r^2= 0,39$ ($p>0,05$), e, para o período úmido e seco, o coeficiente é $r^2 = 0,63$ e $r^2= 0,51$, respectivamente. Convém lembrar que Keller et al (2005) discordam dos dados de Garcia-Montiel et al. (2002, 2004).

Variações sazonais no fluxo de CO₂ normalmente são atribuídas a mudanças na temperatura e umidade do solo (DAVIDSON, BELK e BOONE, 1998; LIANG et al, 2004). Neste estudo, os fluxos de CO₂, variaram muito mais como dependência da umidade do solo do que da temperatura e, também, com o direto input de nitrogênio, via throughfall, promovendo o elevado desenvolvimento da atividade de microorganismo, corroborado por abundante precipitação e boa drenagem do solo (LIANG et al, 2004).

Também, Liang et al (2004) mostraram que a metodologia de gradiente de CO₂ não foi das melhores para evitar irregularidades no fluxo de gás carbônico e, relatam ainda que, o período antecedente seco propicia um elevado aumento no fluxo deste gás, retornando ao normal médio após 24 horas.

Após extensiva revisão na literatura, Liu et al (2002) deduziram que a resposta do padrão dinâmico do fluxo de gás carbônico a eventos de precipitação, em ecossistemas naturais, não esta bem caracterizada, e proporam alguns mecanismos: a) água adicional enche os poros do solo e desloca ar altamente concentrado em CO₂, que usualmente acontece em poucos minutos e se extingue em poucas horas (chuva); b) adição de água para um solo (ou camada ou horizonte) muito seco, ativa a ação de microorganismos, a qual acontece dentro de algumas horas, podendo durar alguns dias e; c) a adição de água para um solo seco (ou camada ou horizonte) acelera a respiração de raízes, que permanece alta por vários dias ou semanas.

Vários autores (TEEPE et al, 2004) relatam o papel da compactação na emissão de gases, especialmente, óxido nitroso. Neste estudo, não foi verificada variação nítida entre a densidade do solo e o fluxo de N₂O.

As médias de WFPS, por profundidade, foram significativas ($P < 0,01$), entre estações, resultados que concordam com os encontrados por Keller et al (2005). Também, como aqueles autores, não foram verificadas diferenças na temperatura do solo neste estudo.

A variação de umidade entre a camada superficial e a mais inferior é de fundamental importância prática, haja vista os cuidados que devem ser dispensados durante estes períodos quando da exploração destes solos para alguma atividade de manejo, de entendimento de processos biológicos e físicos que ocorrem no solo e na vegetação que o recobre.

A variação da temperatura do solo entre os meses de fevereiro e novembro, em torno de 2°C (Figura 25), não apresenta, aparentemente, significado muito importante, do ponto de vista do solo em si. Porém, seu efeito sobre a atividade microbiológica e a condutividade térmica nos permite esperar mudanças significativas nas relações, por exemplo, de fluxo de gases traço.

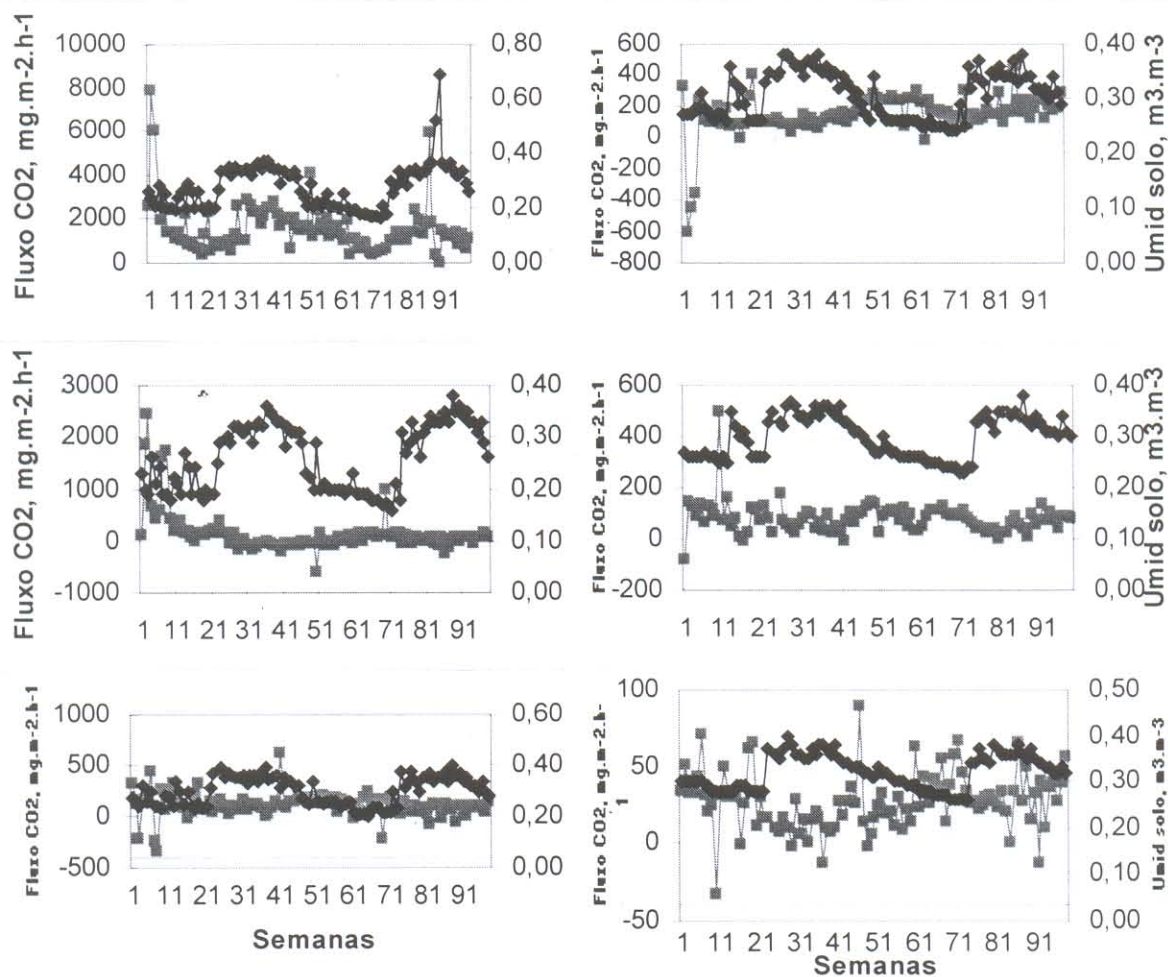


Figura 40. Variação semanal do fluxo de CO_2 e da umidade do solo, em seis profundidades, na Flona Tapajós.

Breuer, Papen e Butterbach-Bahl (2000), estudando na Austrália, também, não encontraram relação entre temperatura do solo e fluxo de óxido nítrico, concluindo que a mudança de temperatura de até 5°C não é suficiente para exercer qualquer efeito detectável sobre os fluxos, corroborando os dados apresentados neste trabalho.

A significância da correlação entre a umidade do solo e a concentração dos três gases estudados, especialmente, para óxido nítrico e gás carbônico, mostrou que esta diminui de acordo com a profundidade, sugerindo que outros processos possuem mais importância na produção / concentração, do que a umidade do solo e, também, porque esta tem menor variabilidade (a estrutura é quase sempre a mesma, a textura varia muito pouco, o mesmo acontece com a porosidade total) em camadas mais profundas.

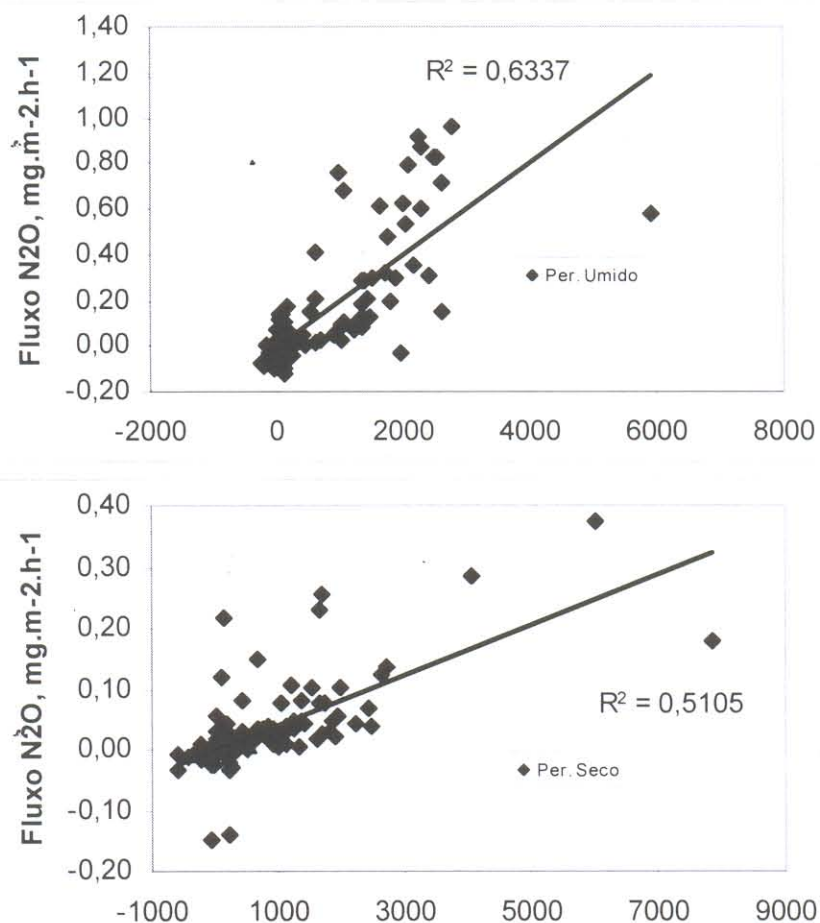


Figura 41. Correlação entre o fluxo de CO₂ e o de N₂O, durante o período úmido período seco, considerando-se os dados de todas as profundidades.

Os dados mostraram variação sazonal acentuada (CO₂ e N₂O, principalmente), assim como, variação semanal, onde a umidade e a temperatura do solo participam ativamente desta variação (CHOUDHARY, AKRAMKHANOV e SAGGAR, 2002). Os mais baixos fluxos ocorreram durante os períodos secos, aumentando, em alguma ocasião, por um fator de 2, durante os períodos úmidos, concordando com os resultados encontrados na literatura (CHOUDHARY, AKRAMKHANOV e SAGGAR, 2002; DAVIDSON, ISHIDA e NEPSTAD, 2004; KELLER et al, 2005)

4.4. CONCLUSÕES

- O solo apresenta déficit de água disponível durante o período seco, considerando-se a profundidade de 0-100cm. Na camada de 100-200cm, não foi observado déficit;
- Há elevada variação sazonal na umidade do solo, entre o período seco e úmido;
- Não há evidente variação na temperatura do solo ao longo das profundidades estudadas;
- Não há nítida variação sazonal na temperatura do solo, durante o período úmido e seco;
- Houve sensível variação sazonal entre os fluxos de óxido nitroso e gás carbônico, com mais baixos fluxos no período seco;
- Os processos de produção e emissão de óxido nitroso, gás carbônico e metano, ocorrem, principalmente, na camada mais superficial do solo;
- Há significativa correlação entre a umidade do solo e o fluxo de óxido nitroso;
- Os fluxos, em $\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, apontaram 182,102, 22,97 e 14,08, respectivamente, para gás carbônico, óxido nitroso e metano;
- Material orgânico degradável e nitrogênio são, juntamente com a umidade do solo, importantes fatores para a produção e emissão de óxido nitroso e gás carbônico;
-

REFERÊNCIAS

ABAS, R.M.; ALUNAD-SHAH, A. NOR, A.M. Fluxes of ion in precipitation, throughfall and stemflow in na urban Forest in Kuala Lumpur, Malaysia. **Environment Pollution**, v. 75, n. 2, p. 209-213, 1992.

ALENAS, I. & SKARBY, L. Throughfall of plant nutrients in relation to crown thinning ina Swedish coniferous forest. **Water, Air and Soil Pollution** 38:223-37, 1988.

ALLEN, A.G.; CARDOSO, A.A.; ROCHA, G.O. Influence of sugar cane burning on aerosol soluble ion composition in southeastern Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 38, p. 5025-5038, 2004.

AMBRUSTER, M. et al. Throughfall and output fluxes of Mg in European forest ecosystem: a regional assessment. **Forest, Ecology and Management**, v. 164, p. 137-47, 2002.

ARTAXO, P. et al. Aerosol characteristics and sources for the Amazon basin during wet season. **J. Geophys. Res.**, v. 95, n. D10, p. 16971-85, 1990.

ASDAK, C. et al. Rainfall interception loss in unlogged and logged forest areas of Central Kalimantan, Indonesia. **Journal of Hydrology**, v. 206, p. 237-244, 1998.

ASMAN, W. A. H. **Ammonia emission in Europe**: updated emission and emission variations. Bilthoven, The Netherlands: National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), 1992. 97 p. (Report 228471008).

BASTOS, T. X. O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira. In: IPEAN. **Zoneamento agrícola da Amazônia**. Belém, 1972. p. 68-122. (IPEAN. Boletim Técnico, 54).

BEIER, C.; GÜNDERSEN, P.; RASMUSSEN, L. A new method for estimation of dry deposition of particles based on throughfall measurements in forest edge. **Atmospheric Environment**, v. 26A, n. 9, p. 1553-59, 1992.

BEKKU, Y.S. et al. Effect of warming on the temperature dependence of soil respiration rate in arctic, temperate and tropical soils. **Applied Soil Ecology**, v. 22, p. 205-10, 2003.

BERNHARDT-REVERSAT, F.; HUTTEL, C.; LEMCE, G. Structure and functioning of evergreen rain forest ecosystem of the Ivory Coast. In: TROPICAL Forest Ecosystem: a State of Knowledge. Paris: UNESCO, 1978. p. 557-683, (Natural Resource Research, 14).

BILLINGS, S. A.; RICHTER, D. D.; YARIE, J. Sensitivity of soil methane fluxes to reduced precipitation in boreal forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, p. 1431-41, 2000.

BOLLMANN, A.; CONRAD, R. Influence of O₂ availability on NO and N₂O release by nitrification and denitrification in soils. **Global Change Biology**, v. 4, p. 387-96, 1998.

BOUWMAN, A. F.; FUNG, M. E. I.; MATTHEWS, E.; JOHN, I. Global analysis of the potential for N₂O production in soils. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 7, p. 557-597, 1993.

BOUWMAN, A. F.; TAYLOR, J. A. Testing high-resolution nitrous oxide emission estimates against observations using an atmospheric transport model. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 10, p. 307-318, 1996.

BRAFORD, M. A. et al. Role of oxidation, production and transport in forest soil CH₄ flux. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 33, p. 1625-31, 2001.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto. RADAMBRASIL. **Folha SA – 21 – Santarém**: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro, 1976. 522 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 10).

BRASSEL, H. M.; SINCLAIR, D. F. Element returned to forest floor in two rainforest and three plantation plots in tropical Australia. **Journal of Ecology**, v. 71, p. 367-378, 1983.

BREDEMEIER, M. Forest canopy transformation of atmospheric deposition. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 40, p. 121-38, 1988.

BREUER, L.; PAPEN, H.; BUTTERBACH-BAHL, K. N₂O emission from tropical forest soils of Australia. **J. Geophys. Res.**, v. 105, p. 26 353-26 367, 2000.

BROWER, L. C. **Nutrient cycling in pristine and logged tropical rain forest**. 1996. 224 f. Thesis (PhD) - University of Utrecht, The Netherlands, 1996. (Tropenbos-Guyana Series, 1).

CAMARGO, O. N. **Absorção foliar e lavagem de nutrientes nas plantas**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1968. 123 p (Boletim Didático, 20)

CAMPBELL, G.S.; ANDERSON, R.Y. Evaluation of simple transmission line oscillators for soil moisture measurement. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.20, p. 31-44, 1998.

CAMPOS, V. P; COSTA, A. C. A.; TAVARES, T. M. Comparação de dois tipos de amostragem de chuva: deposição total e deposição apenas úmida em área costeira tropical. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 418-423, 1998.

CAPE, N. et al. Contribution of canopy leaching to sulphate deposition in a Scots pine forest. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 1990, Glasgow. **Acidic deposition, its nature and impacts**. Edinburgh: CEP Consultants Ltd.

CARLISLE, A., BROWN, A. H. F.; WHITE, E. S. The organic matter and nutrient elements beneath a sessile oak (*Quercus petraeo*) canopy. **Journal of Ecology**, v. 54, p. 87-98, 1966.

CARRAN, R. A.; THEOBALD, P. W.; EVANS, J. P. Emission of nitrous oxide from some grazed pasture soils in New Zealand. **Australian J. Soil Res.**, v. 33, p. 341-52, 1995.

CASTALDI, S.; SMITH, K. A. The effect of different N substrates on biological N₂O production from forest and agricultural light textured soils. **Plant Soil**, v. 199, p. 229-38, 1998.

CASTRO, M. S. et al. Soil moisture as a predictor of methane uptake by temperate forest soils. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 24, p. 1805-10, 1994.

CHEN, C. W. et al. Acid rain model: canopy module. **J. Environment Engen.**, v. 109, p. 585-603, 1983.

CHEN, L. W.; JENG, F. T.; HSU, Y. M.; TSAI, S. Y.; PENG, U. R. Stability of ionic components in precipitation samples-a case study in Taipei. **Water, Air Soil Pollution**, v. 130, p. 1607-1612, 2001.

CHOUDHARY, M. A.; AKRAMKHANOV, A.; SAGGAR, S. Nitrous oxide emissions from a New Zealand cropped soil: tillage effects, spatial and seasonal variability. **Agric., Ecosystems and Environment**, v. 93, p. 33-43, 2002.

CICERONE, R. I. Changes in stratospheric ozone. **Science**, v. 237, p. 35-42, 1987.

CLEMENTS, R.G.; COLON, J.A. The rainfall interception process and mineral cycling in a montane rain forest in eastern Puerto Rico. In: HOWELL, F.; GENTRY, J.; SMITH, M. (Ed.). **Mineral cycling in southeastern ecosystems**. Technical Information Center of the Energy Research Development Administration, Washington. 1975. p. 813-823.

CORNELL, S. E.; JICKELLS, T. D.; THORTON, C. A. Urea in rainwater and atmospheric aerosol. **Atmospheric Environment**, v. 32, p. 1903-1910, 1998.

CORNU, S. et al. Origin and behavior of dissolved chlorine and sodium in brazilian rainforest. **Water Resources**, v. 32, n. 4, p. 1151-61, 1998.

DAVIDSON, E. A.; BELK, E.; BOONE, R. D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. **Global Change Biology**, v. 4, p. 217-27, 1998.

DAVIDSON, E. A.; ISHIDA, F. Y.; NEPSTAD, D. Effects of an experimental drought on soil emissions of carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and nitric oxide in a moist tropical forest. **Global Change Biology**, v. 10, p. 718-30, 2004.

DAVIDSON, E. A.; TRUMBORE, S. E. Gas diffusivity and production of CO₂ in deep soils of the eastern Amazon. **Tellus B**, v. 47, p. 550-65, 1995.

DEVLAEMINCK, R.; SCHRIJVER, An De; HERMY, M. Variation in throughfall deposition across a deciduous beech (*Fagus sylvatica*) forest edge in Flanders. **Science of the Total Environment**, v. 337, p. 241-252, 2004.

DRAAIJERS, G. P. J. et al. The contribution of ammonia emission from agriculture to the deposition of acidifying and eutrophying compounds onto forest. **Environmental**

Pollution, v. 60, p. 55-66, 1989.

DUIVENVOORDEN, J. M.; LIPS, J. M. **A land-ecological study of soils, vegetation and plant diversity in Colombian Amazonia**. 1995. Thesis (PhD) - Landscape and Environmental Research Group, Faculty of Environmental Sciences, University of Amsterdam Tropenbos Foundation, Wageningen, 1995.

EDWARDS, P. J. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. V. Rates of cycling in throughfall, and litter fall. **Journal of Ecology**, v. 70, p. 807-827, 1982.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 155 p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação de Solos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Pólo Tapajós**. Rio de Janeiro, 1983. 284 p. (Boletim de Pesquisa, 20).

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 213p

ERICKSON, H. É.; KELLER, M. Tropical land use change and soil emissions of nitrogen oxides. **Soil Use and Management**, v. 13, p. 278-287, 1997.

ERISMAN, J. W. et al. Dry deposition monitoring in Europe. **Water, Air and Soil Pollution. Focus**, v. 1, n. 5-6, p. 17-27, 2001.

FA'ANUNU, A. I. **The effects of soil moisture and ammonium on the net methane flux in pine and oak forest**. [S.l.]: Middlebury College. Não editado.

FALESI, I. C.; SILVA, B. N. R. da. **Ecosystemas de várzeas da região do Baixo Amazonas**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 75 p.

FEGER, K. H. Biogeochemistry of Mg in forest ecosystems. In: HUTTL, R. F.; SCHAAF, W. (Ed.). **Magnesium Deficiency in Forest Ecosystems**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. p. 67-99.

FILOSO, S.; WILLIAMS, M. R.; MELACK, J. M. Composition and deposition of throughfall in a flooded forest archipelago (Negro River, Brazil). **Biogeochemistry**, v. 45, n. 2, p. 169-195, 1999.

FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON, E. A. Microbial basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D. S. (Ed.). **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1989. p. 7-21.

FORTI, M. C.; MOREIRA-NORDEMANN, L. M. An ion budget for a "terra firme" ecosystem in Central Amazonia. In: BEAGA Jr., B. P. F.; FERNANDEZ-JOUREQUI, C. A. (Ed.). **Water management of the Amazon basin**. [S.l.]: ROSTLAC—UNESCO, 1991a. p. 13-18.

FORTI, M. C.; MOREIRA-NORDEMANN, L. M. Rainwater and throughfall chemistry in a "terra firme" rainforest-Central Amazonia. **J. Geophys. Res.**, v. 96, p. 7415-21, 1991b.

FORTI, M. C.; NEAL, C. Spatial variability of throughfall chemistry in a tropical rainforest (Central Amazonia, Brasil). **The Science of the Total Environment**, v. 120, p. 245-59, 1992.

FORTI, M. C. et al. Hydrogeochemistry of a small catchment in northeastern Amazonia: a comparison between natural with deforested parts of the catchment (Serra do Navio, Amapá State, Brazil). **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 118, p. 263-79, 2000.

FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P. R. Hydrology of catchment areas of Central Amazonia forest streams. In: SIOLI, H. (Ed.). **Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Dordrecht: Junk, 1984. p. 501-519.

FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P. R.; BERGAMIN, H. Nutrient flow through natural waters in "terra firme" forest in Central Amazon. **Turrialba**, v. 35, n. 4, p. 383-93, 1985.

FRANZEN, L. G. Transport, deposition and distribution of marine aerosols over southern Sweden during dry westerly storms. **Ambio**, v. 19, p. 180-188, 1990.

FURNESS, C.; SMITH, L.; RAN, L.; COWLING, E. Comparison of emissions of N and sulfur oxides to deposition of nitrate and sulfate in the USA by state in 1990. **Environmental Pollution**, v. 102, p. 313-320, 1998.

GALLOWAY, J. N. et al. The composition of precipitation in a remote areas of the world. **J. Geophys. Res.**, v. 87, p. 8771-86, 1982.

GARCIA-MONTIEL, D. C. et al. Emissions of N₂O and CO₂ from terra firme forests in Rondonia, Brazil. **Ecol. Appl.**, v. 14, p. S214–S220, 2004.

GARCIA-MONTIÉL, D. C. et al. Relationship between N₂O and CO₂ emission from the Amazon Basin. **Geophys. Res. Lett.**, v. 29, p. 1090, 2002.

GARTEN, C. T.; BONDIETTI, E. A.; LOMAX, R. O. Contribution of foliar leaching and dry deposition to sulfate in net throughfall below deciduous trees. **Atmospheric Environment**, v. 22, p. 1425-1432, 1988.

GARTEN, C. T. Foliar leaching, translocation, and biogenic emission of ³¹S in radiolabeled loblolly pines. **Ecology**, v. 71, p. 239-251, 1990.

GODT, J.; WEYER, M. Input of sulphur and acidity in three spruce stands in the vicinity of a strong SO₂ source. In: MECHANISMS and effects of pollutant-transfer into forests. [S.l.: s.n.], 1989.

GOLLEY, F. B. et al. **Cycling in a tropical moist forest ecosystem**. Athens: University of Georgia Press, 1975. 248 p.

GORDON et al. Nutrient inputs in litterfall and rainwater fluxes in 27-years old red, black and white spruce plantations in Central Ontario, Canada. **Forest Ecology and Management**, v. 138, n.1-3, p. 65-78, 2000.

GRANLI, T.; BOCKMAN, O. C. Nitrous oxide from agriculture. Norwegian **J. Agric. Sci.**, v. 12, p. 7-128, 1994. Suppl.

HAHN, M.; GARTNER, K.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. Greenhouse gas emission (N₂O, CO₂ and CH₄) from beech forest near Viena with different water and nitrogen regimes. Die Bodenkultur – **Austrian Journal of Agricultural Research**, v. 51, p. 91-101, 2000.

HANSEN, K. In-canopy throughfall measurements in Norway spruce: water flow and consequences for ion fluxes. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 85, p. 2259-2264, 1995.

HANSEN, K.; DRAAIJERS, G. P. J.; IVENS, W. P. M. F.; GUNDERSEN, P.; VANLEEUEWEN, N. F. M. Concentration variations in rain and canopy throughfall collected sequentially during individual rain events. **Atmospheric Environment**, v. 28, p. 3195-3205, 1994.

HENDRY, D. C., BERISH, C. W.; EDGERTON, E. S. Precipitation chemistry at Turrialba, Costa Rica. **Water Resources Res.**, v. 20, p.1677-84, 1984.

HERRERA, R. **Nutrient distribution and cycling in an Amazon caatinga forest spodosols in southern Venezuela**. 1979. Thesis (PhD) - University of Reading, England, 1979.

HOPKÉ, P. K. **Receptor modeling in environmental chemistry**. New York: Wiley, 1985. 454 p.

HOUBAO, F. et al. Acidity and chemistry of bulk precipitation, throughfall and stemflow in a Chinese fir plantation in Fujian, China. **Forest Ecology and Management**, v. 122, p. 243-48, 1999.

HOUGHTON, J. T. et al. (Ed.). **Climate Change 1995. The Science of Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

HU, G. P.; BALASUBRAMANIAN, R.; WU, C. D. Chemical characterization of rainwater in Singapore. **Chemosphere**, v. 51, p. 747-55, 2003.

INMET. **Normais climatológicas**. Rio de Janeiro, 1984. 125 p.

IPCC. **Climate Change 1995**. New York: Cambridge University Press, 1996. 572 p.

IVENS, W. P. M. F. **Atmospheric deposition onto forest: an analysis of the deposition variability by means of throughfall measurements**. 1990. 151 f. Thesis (PhD) - Utrecht University, The Netherlands, 1990.

JAMBERT, C.; SERCA, D.; DELMAS, R. Quantification of N-losses as NH_3 , NO , and N_2O and N_2 from fertilized maize fields in southwestern France. **Nutrient cycling in Agroecosystems**, v. 48, p. 91-104, 1997.

JETTEN, V. G. Interception of tropical rain forest performance of a canopy water balance model. **Hydrological Processes**, v. 10, p. 671-685, 1996.

JORDAN, C. F.; KLINE, J. R. Mineral cycling: some concepts and their application in a tropical rain forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 3, p. 33-50, 1972.

KAISER, E. A. et al. Nitrous oxide release from arable soil: importance of N fertilization, crops and temporal variation. **Soil Biol. Biochem.**, v. 30, p. 1553-63, 1998.

KAUFFMAN, J. B. et al. Fire in Brazilian Amazon: 1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forest. **Oecologia**, v. 104, p. 397-408, 1995.

KAUPENJOHANN, M. Tree nutrition. In: HUTTL, R. F.; SHAAF, W. (Ed.). **Magnesium deficiency in forest ecosystem**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997.

KELLER, M.; KAPLAN, W. A.; WOFSY, S. C. Emissions of N_2O , CH_4 , and CO_2 from tropical forest soils. **Journal of Geophysical Research**, v. 91, p. 11.791-11.802, 1986.

KELLER, M.; MELILLO, J. M.; DE MELLO, W. Z. Trace gas emissions from ecosystems of the Amazon Basin. **Ciência e Cultura**, v. 49, p. 87-97, 1997.

KELLER, M.; MITRE, M. E.; STALLARD, R. F. Consumption of atmospheric methane in soils of central Panama: effects of agricultural development. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 4, p. 21-27, 1990.

KELLER, M.; PALACE, M.; HURTT, G. E. Biomass in the Tapajos National Forest, Brazil: Examination of sampling and allometric uncertainties. **Forest Ecology and Management**, v. 154, p. 371-82, 2001.

KELLER, M. et al. Soil-Atmosphere Exchange of Nitrous Oxide, Nitric Oxide, Methane, and Carbon Dioxide in Logged and Undisturbed Forest in the Tapajos National Forest, Brazil. **Earth Interactions**, v. 9, Paper 23, 2005.

KELLER, M. et al. Soil-atmosphere nitrogen oxide fluxes: effects of root disturbance. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, n. D14, p. 17.693-98, 2000.

KIRCHHOFF, V. W. J. H. et al. Enhancements of CO and O₃ from burnings in sugar cane fields. **Journal of Atmospheric Chemistry**, v. 12, p. 87-102, 1991.

LACLAU, J. P. et al. Nutrient cycling in a clonal stand of Eucalyptus and an adjacent savanna ecosystem in Congo. I. Chemical composition of rainfall, throughfall and stemflow solutions. **Forest, Ecology and Management**, v. 176, p. 105-19, 2003.

LARA, L.B.L.S. et al. Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba river basin, Southeast Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 35, p. 4937-4945, 2001.

LEFSKY, M. A. et al. Estimates of forest canopy height and aboveground biomass using ICESat. **Geophysical Research Letters**, v. 32, L22S02, 2005.

LESACK, L. F. W.; MELACK, J. M. The deposition, composition, and potential sources of major ionic solutes in rain of the Central Amazon basin. **Water Resources Research**, v. 27, n. 11, p. 2953-77, 1991.

LIANG, N. et al. In situ comparison of four approaches to estimating soil CO₂ efflux in a northern larch (*Larix kaempferi* Sarg.) forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 123, p. 97-117, 2004.

LIMA, W. de P.; BARBIN, D. Efeito de plantações de eucalyptus e pinus sobre a qualidade da água da chuva. **IPEF**, v. 11, p. 23-35, 1975.

LINDBERG, S. E. et al. Atmospheric deposition and canopy interactions of major ions in a forest. **Science**, v. 231, p. 141-5, 1986.

LIU, X. et al. Response of soil CO₂ efflux to water manipulation in a tallgrass prairie ecosystem. **Plant and Soil**, v. 240, p. 213-23, 2002.

LLOYD, C. R.; MARQUES, A. E. O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 42, p. 63-73, 1988.

LOVETT, G. M.; LINDBERG, S. E. Atmospheric deposition and canopy interactions of nitrogen in forests. **Can. J. For. Res.**, v. 23, p. 1603-16, 1993.

LOVETT, G. M. et al. The effect of acidic deposition on cation leaching from three deciduous forest canopies. **Can. J. For. Res.**, v. 15, p. 1055-60, 1985.

LU, L.; SHUTTLEWORTH, W.J. Incorporating NDVI-derived LAI into the climate version of RAMS and its impact on regional climate. **J. Hydrometeorol.**, v. 3, p. 347-362, 2002.

LU, L. et al. Implementation of a two-way interactive atmospheric and ecological model and its application to the central United States. **J. Clim.**, v. 14, p. 900-919, 2001.

LU, L. et al. Mesoscale circulations and atmospheric CO₂ variations in the Tapajó's Region, Pará, Brazil. **J. Geophys. Res.**, v. 110, D21102, 2005.

LUIZÃO, F. et al. Nitrous oxide flux following tropical land clearing. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 3, p. 281-285, 1989.

MACEDO, M. C. M.; MIRANDA, C. H. B. **Fixação de nitrogênio pela soja em sistemas de cultivo contínuo e rotacionado com pecuária nos cerrados**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001. 19 p. (CNPGC. Boletim de Pesquisa, 14).

MACKENZIE, A. F.; FAN, M. X.; CADRIN, F. Nitrous oxide emission in 3 years as affected by tillage, corn-soybean-alfalfa rotations, and nitrogen fertilization. **J. Environ. Qual.**, v. 27, p. 698-703, 1998.

MAHMOOD, T. et al. Nitrous oxide emission from an irrigated sandy-clay loam cropped to maize and wheat. **Biol. Fertil. Soils**, v. 27, p. 189-96, 1998.

MANOKARAN, N. Stemflow, throughfall and rainfall interception in a lowland tropical rain forest in peninsular Malaysia. **The Malaysian Forester**, v. 42, n. 3, p. 174-201, 1979.

MANOKARAN, N. The nutrient contents of precipitation, throughfall and stemflow in a lowland tropical rain forest in peninsular Malaysia. **The Malaysian Forester**, v. 43, n. 3, p. 266-289, 1980

MATSON, P. A.; HARRISS, R. C. **Biogenic trace gases**: measuring emissions from soil and water. [S.I.]: Blackwell Science, 1995. 394 p. (Methods in Ecology).

MATSON, P. A.; VITOUSEK, P. M. Ecosystem approach for the development of a global nitrous oxide budget. Processes that regulate gas emissions vary in predictable ways. **Bioscience**, v. 40, p. 667-672, 1990.

MCDOWELL, W. H. Potential effects of acid deposition on tropical terrestrial ecosystem. In: RODHE, H.; HERRERA, R. (Ed.). **Acidification in tropical countries**. New York: Wiley, 1988. p. 117-139, (SCOPE 36).

MCDOWELL, W. H. et al. Influence of sea salt aerosols and long range transport on precipitation chemistry at El Verde, Puerto Rico. **Atmospheric Environment**, v. 24A, p. 2813-2821, 1990.

MEIWES, K. J.; KHANNA, P. K. Distribution and cycling of sulphur in the vegetation of two forest ecosystems in an acid rain environment. **Plant and Soil**, v. 60, p. 369-75, 1981.

MELLO, W. Z. de; ALMEIDA, M. D. de. Rainwater chemistry at the summit and southern flank of the Itatiaia massif, southeastern Brazil. **Environmental Pollution**, v. 129, p. 63-68, 2004.

MIGLIAVACCA, D. et al. Study of chemical elements in atmospheric precipitation in South Brazil. **Atmospheric environment**, v. 38, p. 1641-56, 2004.

MOLDRUP, P. et al. Predicting the gas diffusion coefficient in undisturbed soil from soil water characteristics. **Soil Science Soc. American Journal**, v. 64, p. 94-100, 2000.

MOLLER, D. The Na/Cl ratio in rainwater and the seasalt chloride cycle. **Tellus B**, v. 42, n. 3, p. 254-262, 1990.

MOREIRA-NORDEMANN, L. M.; GIRARD, P.; POPPI, N. R. Química da precipitação atmosférica na cidade de Campo Grande-MS. **Rev. Bras. Geof.**, v. 15, n. 1, p. 1-14, 1997.

MOSIER, A. R. et al. Assessing and mitigating N₂O emissions from agricultural soils. **Climatic Change**, v. 40, p. 7-38, 1998.

MUNGER, J. W.; EISENREICH, S. J. Continental-scale variations in precipitation chemistry. **Environmental Science and Technology**, v. 17, p. 32-42, 1983.

NARDOTO, G. *B. **Abundância natural de ¹⁵N na Amazônia e Cerrado – implicações para ciclagem de nitrogênio**. 2005. 100 f. Tese (Doutorado) - Esalq, Piracicaba, 2005.

NORTCLIFF, S.; THORNES, J. B. Water cation movement in a tropical rainforest environment. 1. Objectives, experimental design and preliminary results. **Acta Amazonica**, v.8, p.1-12, 1978.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C.de et al. Curvas de calibração de sensor de FDR em latossolo amarelo muito argiloso da Flona Tapajós. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto, 2003.

PARAMÉE, S. et al. Three-year monitoring results of nitrate and ammonium wet deposition in Thailand. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 102, p. 27-40, 2005.

PARKER, G. G. Throughfall and stemflow in forest nutrient cycle. **Advances in Ecological Research**, v. 13, p. 55-133, 1983.

PARSONS, W. F. J. et al. Nitrate limitation of N₂O production and denitrification from tropical pasture and rain forest soils. **Biogeochemistry**, v. 22, p. 170-193, 1993.

PIELKE, R. A. et al. Nonlinear influence of mesoscale land use on weather and climate. **J. Clim.**, v. 4, p. 1053-1069, 1991.

POTH, M.; FOCHT, D. D. ^{15}N kinetic analysis de N_2O production by *Nitrosomonas europaea*: an examination of nitrifier denitrification. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 49, p. 1134-1141, 1985.

POSSANZINI, M.; BUTTINI, P.; DI PAOLO, V. Characterization of a rural área in terms of dry and wet deposition. **Science of Total Environment**, v. 74, p. 111-120, 1988.

POTTER, C. S.; RAGSDALE, H. L.; SWANK, W. T. Atmospheric deposition and foliar leaching in a regenerating southern appalachian forest canopy. **Journal of Ecology**, v. 79, p. 97-115, 1991.

PRAKASA RAO, P. S. et al. Rain water and throughfall chemistry in the silent valley forest in south India. **Atmospheric Environment**, v. 29, n. 16, p. 2025-2029, 1995.

PRICE, N. W. **Highland deforestation and approaches to forest recovery in the american tropics**: the Metapan-Montecristo example of El Salvador. 1977. Dissertation (Master) - York University, Toronto, Ontario, 1977.

REVERSAT, F. B. Nutrients in throughfall and their quantitative importance in rain Forest mineral cycles. In: GOLLEY, F. B.; MEDNIA, E. (Ed.). **Tropical ecological systems**. New York: Spring-Verlag, 1975. p. 153-159.

ROELOFS, J. G. C. et al. The effects of airborne ammonium sulphate on *Pinus nigra* var. maritime in the Netherlands. **Plant Soil**, v. 85, p. 45-56, 1985.

ROLSTON, D.E.; HOFFMAN, D.L; TORY, D.W. Field measurements of denitrification. Part I: Flux of N_2 and N_2O . **Soil Sci. Soc. of Amer. Journal**, v. 42, p. 863-69, 1978.

SALATI, E.; VOSE, P.B. Amazon basin: a system in equilibrium. **Science**, v. 225, p. 129-138, 1984.

SALESKA, S. et al. Carbon in Amazon forest: unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses. **Science**, v.302, p. 1554-1557, 2003.

SALIMON, C.I. et al. CO_2 flux from soil in pastures and forest in southwestern Amazonia. **Global Change Biology**, v.10, p. 833-43, 2004.

SATTERLUND, D.R. **Wildland Watershed Management**. [S.l.: s.n.], 1972.

SCHAEFER, D.A.; REINERS, W.A. Throughfall chemistry and canopy processing mechanisms. In: LINDBERG, S.E.; PAGE, A.L.; NORTON, S.A. (Ed.). **Acidic Precipitation**. New York, Springer-Verlag, 1989. 332p (Advances in Environmental Science)

SCHLESINGER, W.H. **Biogeochemistry: an analysis of global change**. New York, Academic Press, 1997. 588p

SILVER, W. L. et al. Effects of soil texture on belowground carbon and nutrient storage in a lowland Amazonian forest ecosystem. **Ecosystems**, v. 3, p. 193–209, 2000.

SMITH, K.A. et al. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soil Sci.**, v. 54, p. 779-91, 2003.

SRIVASTAVA, A.K.; AMBASHT. Nitrogen deposition in Casuariana equisetifolia (Forst.) plantation stands in the dry tropics of Sonbhadra, India. **Forest Ecology and Management**, v. 70, p. 341-48, 1994.

STALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. Geochemistry of the Amazon. 1. Precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge. **J. Geophys. Res.**, v.86, p 9844-9858, 1981.

STEINHARDT, V.; FASSBENDER, H.W. Características y composición química de las lluvias de los Andes Occidentales de Venezuela. **Turrialba**, v. 29, p.175-82, 1979.

STEUDLER, P.A. et al. Consequences of forest-to-pasture conversion on CH₄ fluxes in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, p. 18547-18554, 1996.

STEUDLER, P.A. et al. Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils. **Nature**, v.341, p.314-316, 1989.

STOHLGREN, T.J. et al. Evidence that local land use practices influence regional climate, vegetation, and stream flow patterns in adjacent natural areas. **Global Change Biology**, v.4, p. 495-504, 1998.

STOORVOGEL, J.J.; VAN BREEMEN, N.; JANSEN, B.H. The nutrient input by Harmattan dust to a forest ecosystem in Côte d'Ivoire, Africa. **Biogeochemistry**, v. 37, p. 145-157, 1997.

SVERDRUP, H.; DE VRIES, W.; HENRIKSEN, A. **Mapping critical loads**. Report 1990:14, Nordic Council of Minister, Copenhagen, Denmark, 1990.

TALBOT, R.W. et al. Aerosol chemistry during the wet season in Central Amazonia: the influence of long-range transport. **J. Geophys. Res.**, v. 96, p. 16955-969, 1990.

TANNER, P.A.; FAI, T.W. Small scale horizontal variations in ionic concentrations of bulk deposition from Hong Kong. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 122, n. 3-4, p. 433-448, 2000.

TANNER, P.A.; WONG, A.Y.S. Soluble trace metals and major ionic species in the bulk deposition and atmosphere of Hong Kong. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 122, n. 3-4, p. 261-279, 2000.

TEEPE, R. et al. Nitrous oxide emission and methane consumption following compaction of forest soils. **Soil Sci. Soc Ame. J.**, v. 68, p. 605-611, 2004.

TIETEMA, A. et al. Nitrate production in nitrogen-saturated acid forest soils – vertical distribution and characteristics. **Soil Biol Biochem**, v.24, p. 235-240, 1992.

TOBON MARIN, C; BOUTEN, W. & SEVINK, J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 237, p. 40-57, 2000.

TOBON MARIN, C; SEVINK, J.; VERSTRATEN, J.M. Solute fluxes in throughfall and stemflow in four forest ecosystems in northwest Amazonia. **Biogeochemistry**, v. 70, n. 1, p. 1-25, 2004.

TURVEY, N. Water in the nutrient cycle of Papuan forest. **Nature**, v. 251, p. 414-415, 1974.

UBARANA, V.N. Observation and modeling of rainfall interception in two experimental sites of Amazonian forest. In: Gash, J.C.H.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M; VICTORIA, R.L. (Ed). **Amazon deforestation and climate**. Wiley, Chichester, 1996. p 151

ULRICH, B. Interaction of forest canopies with atmospheric constituents: SO₂, alkali and Herat alkali cations and chloride. In: ULRICH, B.; PANKKRATH, J. (Ed.). **Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems**. Dordrecht, The Netherlands: Reidle; 1983. p. 33-35

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; DE OLIVEIRA, O.C.; DE RESENDE, A.S.; WEBER, H. **Efeito da queima, aplicação de N, irrigação e molibdênio na produção e acumulação de nitrogênio na cana de açúcar a longo prazo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1988. (Embrapa-CNPAB, Documentos, 72).

VARNER, R.K. et al. Experimentally induced root mortality increased nitrous oxide emission from tropical forest soils. **Geophysical Research Letters**, v.30, n. 3, p. 1144, 2003.

VENEKLAAS, E.J. Nutrient fluxes in bulk precipitation and throughfall in two montane tropical rain forest, Colombia. **Journal of Ecology**, v. 78, p. 974-992, 1990.

VERCHOT, L.V. et al. Land use change and biogeochemical controls of nitrogen oxide emissions from soils in eastern Amazonia. **Global Biogeochem. Cycles**, v. 13, p. 31-46, 1999.

VISSER, S. Chemical composition of rainwater in Kampala, Uganda, and its relation to meteorological and topographical conditions. **J. Geophys. Res.**, v. 66, p. 3759-65, 1961.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD, R.L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 137-167, 1986.

VITOUSEK, P.M. et al. A comparative analysis of potential nitrification and nitrate mobility in forest ecosystems. **Ecol Mon.**, v. 52, p. 155-177, 1982

WARBURTON, D. Rainwater chemistry and the sulfur cycle. **Advanced Environmental Geochemistry** – Lecture 6. 2003

WARNECK, P. Chemistry of the natural atmosphere. Academic Press, New York, 1988. 757p.

WEITZ, A.M. **Soil hydraulic controls over nitrogen oxide emissions and nitrogen cycling in tropical agriculture**. Tese (Doutorado). Durham, University New Hampshire, 2000. 136p.

WEITZ, A.M. et al. Nitrous oxide, nitric oxide, and methane fluxes from soils following clearing and burning of tropical secondary forest. **Journal Geophysical Research**, v. 103(D21), p. 28047-28058, 1998.

WHITMORE, T.C. **Tropical rain forest of the far east**. Oxford, Clarendon Press, 1975. 282p

WILCKE, W. et al. Nutrient storage and turnover in organic layers under tropical montane rain forest in Ecuador. **Eur. J. Soil Science**, v. 55, p. 45-72, 2001.

WILSON, E.J. Foliar uptake and release of inorganic nitrogen compounds in *Pinus silvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. **New Phytologist**, v. 120, p. 407-416, 1992.

XIAO, H.Y.; LIU, C.Q. Sources of nitrogen and sulfur in wet deposition at Guiyang, southwest China. **Atmospheric Environment**, v. 36, p. 5121-5130, 2002.

YAVIT, J.B. et al. Methane consumption in two temperate forest soils. **Biogeochemistry**, v. 9, p. 39-52, 1990.

YU, J.Y.; PARK, Y. Sulphur isotopic and chemical compositions of the natural waters in the Chuncheon area, Korea. **Applied Geochemistry**, v. 19, p. 843-853, 2004.

ZAMBRANA, R.H.A. **Comparacion y evaluacion de la intercepcion de lluvias en dos tipos de bosques tropicales**. Dissertação (Mestrado). Centro Agrônômico de Investicacion y Ensenanza, Universidad de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. 1975.

ZECH, W.; GUGGENBERGER, G.; SCHULTEN, H.K. Budgets and chemistry of dissolved organic carbon in forest soils: effects of anthropogenic soil acidification. **The Science of Total Environment**, v. 152, p. 49-62, 1994.

ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. et al. Nitrous oxide emission and nitrate leaching in relation to microbial biomass dynamics in a beech forest soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 34, p. 823-32, 2002.

ZENG et al. Exchange of Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^{+} and uptake of H^{+} , NH_4^{+} for the subtropical forest canopies influenced by acid rain in Shaoshan forest located in Central South China. **Plant Science**, v. 168, p. 259-266, 2004.