

ESPAÇO CIENTÍFICO

Revista do CEUL de Santarém

Vol. 11 - n.1/2, 2010

ISSN 1518-5044

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"

Presidente

Augusto Ernesto Timm Neto

Vice-Presidente

Joseida Elizabete Timm



UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

Reitor

Marcos Fernando Ziemer

Vice-Reitor

Valter Kuchenbecker

Pró-Reitor de Administração

Levi Schneider

Pró-Reitor de Graduação

Ricardo Prates Macedo

Pró-Reitor Adjunto de Graduação

Pedro Antonio González Hernández

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

Erwin Francisco Tochtrop Júnior

Pró-Reitor de Extensão e Assuntos Comunitários

Ricardo Willy Rieth

Capelão Geral

Gerhard Grasel

CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE SANTARÉM

Diretor Geral

Ildo Schlender

Direção Acadêmica

Celso Shiguetoshi Tanabe

Capelão

Rev. Maximiliano Wolfgramm Silva

Coordenação de Pesquisa e Pós-Graduação

Maria Viviani Escher Antero

ESPAÇO CIENTÍFICO

Comissão Editorial

Celso Shiguetoshi Tanabe

Maria Sheyla Cruz Gama

Maria Viviani Escher Antero

Rosângela Maria Lima de Andrade

Comissão Científica

Albino Luciano Portela de Sousa – IESPES/FIT

Carmen Tereza Velanga – UNIR

Damião Pedro Meira Filho – IFPA

Felipe Schaedler de Almeida – URG

Gilbson Santos Soares – CEULS/IFPA

Izabel Alcina Evangelista Soares – CEULS/UEPA

José Eduardo Lobato de Siqueira – CEULS/ULBRA

José Ricardo Geller – CEULS/OAB

Lidiane Nascimento Leão – UFOPA

Luiz Fernando Gouveia e Silva – UEPA

Maria Antonia Vidal Ferreira – CEULS/ULBRA

Maria Lilia Imbiriba Sousa Colares – UFOPA

Maria Marlene Escher Furtado – UFOPA

Marialina Corrêa Sobrinho – CEULS/IESPES

Paula Chistina Figueira Cardoso – USP

Robinson Severo – UFOPA

Troy Patrick Beldini – UFOPA

Wellington de Araújo Gabler – UFOPA

Correspondência

Av. Sérgio Henn, 1787, Bairro Diamantino

CEP: 68025-000 – Santarém/Pará – Brasil

Fone/Fax: (0xx93) 3524-1055

E-mail: pesquisa.stm@ulbra.br

Solicita-se permuta. We request exchange.

On demande l'échange. Wir erbitten Austausch.

EDITORIA DA ULBRA

Diretor: Astomiro Romais

Coord. de Periódicos: Roger Kessler Gomes

Capa: Everaldo Manica Ficanha

Editoração: Rodrigo de Abreu

Matérias assinadas são de responsabilidade dos autores.

Direitos autorais reservados. Citação parcial permitida, com referência à fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

E77 Espaço Científico : revista do Instituto Lutero de Ensino Superior de Santarém / Universidade Luterana do Brasil. – N. 1 (jan./jun. 2000)-
- Canoas : Ed. ULBRA, 2000- .
v. ; 27 cm.

Semestral.
ISSN 1518-5044

1. Pesquisa científica – periódicos. 2. Ciência e tecnologia – periódicos.
I. Universidade Luterana do Brasil. II. Instituto Lutero de Ensino Superior de Santarém.

CDU 5/6(05)

Setor de Processamento Técnico da Biblioteca Martinho Lutero

Comportamento anual da água no solo sob floresta natural e plantio de grãos em latossolo amarelo na região de Belterra-PA

Raimundo Cosme de Oliveira Junior
Michael Keller
Patrick Michael Crill
Troy Patrick Beldini
Plínio Batista de Camargo

RESUMO

Na região do Baixo Amazonas, Estado do Pará, as atividades antrópicas têm alterado uma parte significativa dos seus ecossistemas e, ao mesmo tempo, vêm causando um impacto ambiental crescente. Dada a sua importância no ecossistema, o solo ocupa papel de destaque no controle da qualidade do ambiente. Se esse controle vai ser de boa ou de má qualidade dependerá muito da maneira como serão manejadas as reservas edáficas. Com o objetivo de caracterizar a umidade do solo e a variação sazonal, em dois Latossolos de diferentes texturas, este estudo foi realizado em duas áreas, distanciadas por 18km, localizadas na região de Belterra, Estado do Pará, em Latossolo Amarelo muito argiloso na Floresta Nacional de Tapajós (Flona), e Latossolo Amarelo argilosos numa fazenda de grãos (77km). Os teores de umidade foram monitorados através de sensores de FDR (reflexão no domínio da frequência), inseridos em seis profundidades (5, 15, 30, 50, 100 e 200cm), durante 3anos (Flona) e 2 anos (77km). Os resultados mostraram grande variação entre os solos, nas profundidades superficiais, evidenciadas principalmente, pelo teor de argila. Também, a variação sazonal foi marcante nos dois locais estudados, ate a profundidade de 100cm, não diferindo entre esta profundidade e aquela de 200cm. Os resultados permitem aos produtores utilizarem as informações para melhor adequarem a época de plantio e colheita das culturas implantadas e, também, ajudarem pesquisadores a melhor entender o comportamento das florestas nativas diante de mudanças climáticas previstas para a região Amazônica.

Palavras-chave: Solos tropicais. Água no solo. Latossolo Amarelo.

Annual behavior of soil water under Forest and cropland in Yellow Latosol in Belterra region, Para State

ABSTRACT

In the lower Amazon region of the State of Pará, Brazil, human activities have altered a significant part of the territory and are having an increasing impact on the ecosystem. Given its importance to proper ecosystem function, the soil has a fundamental role in maintaining the integrity

Raimundo Cosme de Oliveira Junior é Pesquisador Embrapa Amazônia Oriental, Cx. Postal 261, CEP 68035-110 – E-mail: cosme@cpatu.embrapa.br

Michael Keller é Pesquisador New Hampshire University, USForest Service, Professor CENA-USP

Patrick Michael Crill é Professor Pesquisador – Stockholm University

Troy Patrick Beldini é Bolsista Projeto LBA Santarém

Plínio Batista de Camargo é Professor Pesquisador CENA/USP

Espaço Científico	Santarém	v.11, n.1/2	p. 80-94	2010
-------------------	----------	-------------	----------	------

and quality of the environment. Whether the soil contributes to the maintenance or degradation of this ecosystem will depend on how the soil resource is managed. The objective of this study was to describe soil moisture characteristics in two deeply weathered oxisols (Hapludox) differing in texture. The study sites were localized near Belterra, Pará, with one site in the Tapajós National Forest (FLONA), and the other site was on a field planted with soybeans (77km). The FLONA soil has a high clay content and the 77km soil has a lower clay content. Soil moisture was monitored using frequency domain reflectometers (FDR) at depths of 5-, 15-, 30-, 50-, 100-, and 200 cm. Measurements were taken during 3 years in the FLONA and for 2 years at 77km. The results demonstrate a large variation between the soils, especially in the superficial depths, probably due to the different clay contents. There was a strong seasonal variation in soil moisture to 100 cm in the profile, and between 100- and 200 cm no differences were found. These results will allow farmers to improve their planting and harvesting schedules, and will also help researchers to better understand the behavior of native forests during climate changes that are predicted for this region of the Amazon basin.

Keywords: Tropical soil. Soil water. Yellow Latossol.

1 INTRODUÇÃO

Na região do Baixo Amazonas, Estado do Pará, as atividades antrópicas têm alterado uma parte significativa dos seus ecossistemas e, ao mesmo tempo, vêm causando um impacto ambiental crescente. O processo desordenado de ocupação das terras, que contribui para uma intensa alteração ambiental em algumas áreas, tem como consequência inevitável o desmatamento irracional bastante prejudicial à biodiversidade.

Dada a sua importância no ecossistema, o solo ocupa papel de destaque no controle da qualidade do ambiente. Se esse controle vai ser de boa ou de má qualidade dependerá muito da maneira como serão manejadas as reservas edáficas.

Em vista disso, o manejo das propriedades físicas do solo tem sido, no geral, considerado de menor importância do que as propriedades químicas nos sistemas agrícolas. Por outro lado, conforme os sistemas de manejo se tornam mais intensivos e mecanizados, os problemas de fertilidade são solucionados economicamente, por meio de aplicação de fertilizantes e corretivos, enquanto que as propriedades físicas do solo, num manejo adequado, passam a ser mais importante (OLIVEIRA JUNIOR et al., 1998).

Na região ainda faltam estudos básicos para uma agricultura sustentável e o papel da água ocupa destaque, haja vista a ocorrência de períodos secos bem definidos. Neste aspecto, Cruz et al. (2005) dizem que a produtividade das culturas depende da disponibilidade de água e nutrientes no solo em época e quantidades apropriadas. Paiva et al. (1998) estudaram a variação da disponibilidade hídrica e encontraram razões para mostrar a influência da textura sobre a característica hídrica dos solos, concordando com resultados já relatados na literatura (BAVER et al., 1972; HILLEL, 1971; OLIVEIRA JUNIOR et al., 1998).

Silva et al. (2005) relatam a influência do tipo de preparo de área nas propriedades físicas do solo e seus efeitos no armazenamento e disponibilidade de água para os

vegetais, encontrando que o plantio direto favoreceu o uso de água pela vegetação na fase inicial do estabelecimento das culturas.

O objetivo deste estudo foi caracterizar a umidade do solo e a variação sazonal, em dois Latossolos de diferentes texturas na região de Santarém, Estado do Pará.

2 METODOLOGIA

A Flona Tapajós está situada na região oeste do Estado do Pará, abrangendo parte dos municípios de Belterra, Aveiro e Rurópolis. O estudo foi conduzido na Floresta Nacional do Tapajós, km 67 da Rodovia Santarem-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.

A precipitação média anual de aproximadamente 2500 mm, sendo altamente sazonal, com mais de 70% acontecendo entre janeiro-junho e o restante de julho a dezembro e umidade relativa média anual de 80% (SUDAM, 1984). 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 mais de 70% a precipitação anual. 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). Possui clima do tipo Awi da classificação de Koppen.

Os solos são altamente intemperizados e profundos, bem drenados, caoliníticos, classificados pela Embrapa (1999) como Latossolo Amarelo e, pela classificação americana, como Oxisol (Haplustox). A profundidade do lençol freático é de aproximadamente 120m. Oliveira Junior e Rodrigues (2002) estudando os solos de uma gleba de 600ha, em nível detalhado, encontraram 13 variações de Latossolo Amarelo, sendo estas variações separadas pelo teor de carbono e espessura do horizonte A.

Foram tomadas, em seis profundidades (0.05m, 0.15m, 0.30m, 0.50m, 1m e 2m), medidas de Densidade Global (DG), em triplicata. Também, foram feitas, para cada uma das profundidades, curvas de retenção, incubando o solo em câmara de pressão. Para este procedimento, foram coletadas amostras indeformadas de solo, nas paredes laterais dos perfis, nas profundidades de 0.05m, 0.15m, 0.30m, 0.50m, 1m e 2m.

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:

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

onde PT é a porosidade total e DP é a densidade de partículas ($2,65 \text{ Mg.m}^{-3}$).

As determinações de densidade global, macro e microporosidade, curva de retenção de água e porosidade total seguiram a metodologia preconizada por Embrapa (EMBRAPA, 1999).

No que concerne à umidade do solo (volumétrico, $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$), foram utilizados sensores comercialmente disponíveis de FDR (Modelo CS615, Campbell Scientific Inc., Logan, UT). Estes sensores, em número de 16 (no perfil B somente foram amostrados quatro profundidades), foram instalados em três perfis, 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 foram 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.

A capacidade de água disponível foi calculada pela diferença entre a umidade obtida a 33kPa e a umidade a 1500kPa para todas as profundidades estudadas dos perfis, e a sua classificação obedeceu à escala utilizada por (BRADY; WEIL, 1999) para fins de irrigação: baixa < 0,69mm/cm; média de 0,70 a 1,29mm/cm; alta >1,30mm/cm.

A partir da equação do balanço hídrico (LIBARDI, 1995) a evapotranspiração real foi obtida entre duas datas, por

$$\text{ETR} = \text{P} + \text{I} \pm \text{D} \pm \text{R} - \text{DA}, (\text{Eq. 2})$$

em que P e DA representam a precipitação pluviométrica e a variação de armazenamento no perfil de solo (0 – 2 m). Considerou-se que não houve escoamento superficial de água, R, dada a topografia plana da área, e que as perdas em água além do sistema radicular, ou drenagem profunda, D, foram nulas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização hídrica do solo, representada através das curvas de retenção de água, é de fundamental importância no relacionamento entre a umidade existente no solo e a tensão na qual a água está retida. A Figura 1 mostra essa relação, na forma de curvas características de umidade, podendo-se observar, com maior clareza, as variações das características físicas e hídricas, por camada do perfil estudado.

Jipp et al., (1998) estudando num Latossolo com 70% de argila em Paragominas acharam valores semelhantes para o conteúdo d'água para as tensões entre – 33 e -1500 kPa, embora os conteúdos volumétricos tenham sido maiores para cada tensão nas camadas que estudaram (0-, 50-, 100-, e 200 cm).

Nestes solos (Latossolos), de textura muito argilosa (Flona) e argilosa (km 77), as curvas de retenção de água (Figura 1) da camada até 30cm destes solos, apresentam tendência à horizontalidade a partir da tensão de 100kPa, resultados esses que se diferem dos encontrados por Correa (1984), que observou esta tendência à horizontalidade em solos muito argilosos e argilosos do Estado do Amazonas a partir da tensão de 200kPa. A interpretação quanto à horizontalidade da curva indica que, para estes solos, é mínima a quantidade de água disponível para as plantas sob tensões superiores àquela considerada (FONTES; OLIVEIRA, 1982). Também, Rodrigues et al. (1992) e Oliveira Junior et al. (1997, 1998) encontraram valores de água retida acima de 550KPa em solos do nordeste e sudeste paraense.

A diferença entre 100 kPa e 200kPa é muito pequena. Realmente, é interessante nessa Figura 1 é de que entre 1. a -33 kPa tem $0.42 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ d'água na Flona, mas, só 0.38 no km 77, e a umidade neste local, a qualquer tensão, é sempre menor do que na Flona. Isso pode ser devido a um teor muito menor de argila e a menor porosidade na camada de 5 cm no km 77, além do valor de densidade global bem maior. Também, os valores de água disponível em ambos os lugares estudados são bastante elevados, embora Hodnett et al. (1995) tenham achado, a 0.8 m de profundidade, valores entre 0,39 e $0,41 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ d'água entre -33 e -100 kPa.

Convém ressaltar que a grande variação na retenção de água, nas várias tensões efetuadas entre os solos de textura muito argilosa e argilosa evidencia o papel fundamental das frações mais finas nesta importante característica dos solos, fato este, também, observado por vários pesquisadores (HILLEL, 1971; OLIVEIRA JUNIOR et al., 1997, 1998).

A capacidade de água disponível, calculada pela diferença entre os teores de água contidos nas tensões de 33 kPa e 1.500 kPa, apresentou valores onde se deduz que os solos estudados possuem armazenamento superior a $80,0 \text{ mm}.\text{m}^{-1}$ de água, considerando-se a profundidade de 2,0 m. Hodnett et al. (1995) mediram entre 800 e 950 mm de água armazenada em 2 m e água disponível em torno de $115 \text{ mm}.\text{m}^{-1}$. Na prática, na ausência de chuvas, as culturas instaladas nos solos de textura muito argilosa poderão dispor de umidade suficiente por 14 dias, se a evapotranspiração for ao redor de 5mm/dia (WOLF; SOARES, 1976; Rocha et al., 2004; Sakai et al., 2004;). Considerando-se os dados médios das profundidades dos solos estudados, verifica-se que os mesmos apresentam valores médios de disponibilidade de água (ESTADOS UNIDOS, 1953).

Convém salientar que a palavra disponibilidade tem um sentido dinâmico, significando que é a faixa de água na qual se espera não haver um efeito negativo na produção de determinada cultura por deficiência de água.

O conteúdo de água disponível na Flona, em duas profundidades (0-100cm e 100-200cm), é mostrado na Figura 2. Na profundidade de 0-100cm, observa-se nítida variação entre as estações seca e úmida, evidenciando, mais uma vez, o dinamismo da água ate 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.

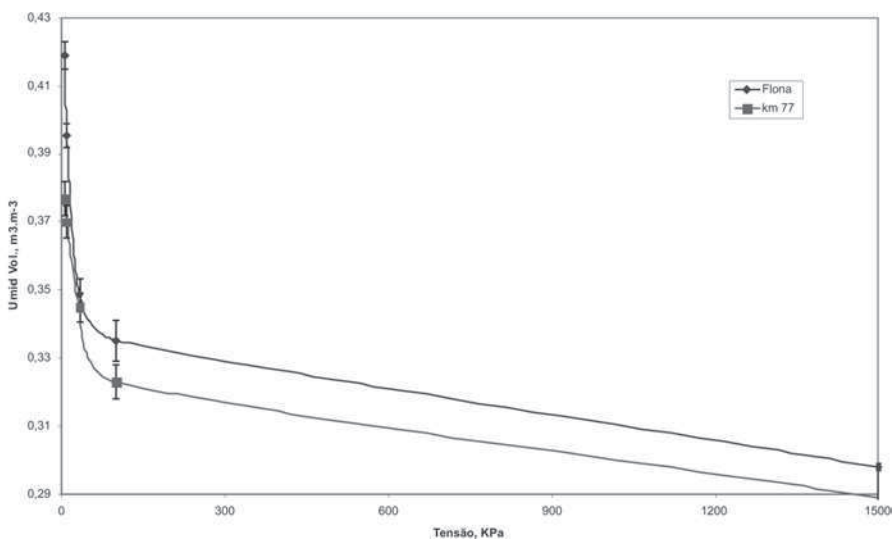


FIGURA 1 – Curva de retenção de água em Latossolo Amarelo muito argiloso na Flona Tapajós e km 77. Média de três repetições.

Jipp et al. (1998), estudando em Paragominas, demonstraram que a floresta nativa acessou água na profundidade de 4 – 8 metros. Hodnett et. al (1995) mostraram que, em duas estações secas seguidas, a floresta nativa na região de Manaus utilizou toda a água disponível na camada de 1 – 2 m, e que acessou água a 3,6 m. O fato que a Flona tinha mais água disponível na camada de 100 até 200 cm do que a de 0 até 100 cm durante o período seco é muito importante, porque durante este período a evaporação da floresta está maior do que a precipitação, e isso pode ajudar a evitar grandes déficits d'água no solo neste período de seca. De fato, os processos de fotossínteses e evaporação na Flona não sofreram uma diminuição grande nos períodos de seca nos estudos de Bruno et al. (2006), Rocha et al. (2004), e Goulden et al. (2004). Isto implica que os teores de evaporação e crescimento da floresta não foram limitados pela umidade de solo até o final do período de seca.

Na Tabela 1 são apresentados os valores da porosidade total, densidade global e teor de argila. Verifica-se que todas as profundidades em solo de floresta apresentaram valores da porosidade total considerados por Fontes e Oliveira (1982) como de alta porosidade, enquanto todas as profundidades do solo do 77km apresentaram valores classificados como médios (entre 0.52 e 0.56 m³.m⁻³). Esses valores de WFPS são bem semelhantes aos obtidos na camada de 0-5 cm por Passionato et al. (2003) estudando numa pastagem em Rondônia.

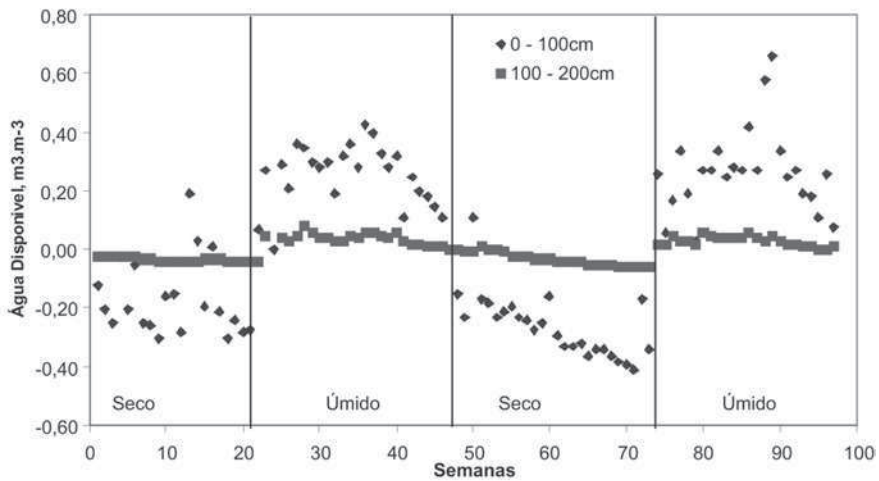


FIGURA 2 – Água disponível no solo, em duas profundidades, na Flona Tapajós. Observe variação temporal entre as duas profundidades.

TABELA 1 – Algumas características físicas do Latossolo Amarelo na Flona e no km 77.

Prof. cm	Argila		Dens.Solo		Porosidade Total		WFPS	
	g/Kg		Mg.m ⁻³		m ³ .m ⁻³		%	
	Flona	77	Flona	77	Flona	77	Flona	77
5	890	392	0,76(±0,07)	1.16 (0.041)	0.71	0.56	48.08	44.53
15	920	455	0,96(±0,06)	1.24 (0.018)	0.64	0.53	65.79	49.05
30	930	503	1,01(±0,08)	1.26 (0.014)	0.62	0.52	78.21	53.76
50	930	574	1,05(±0,04)	1.21 (0.027)	0.60	0.54	73.60	52.87
100	930	582	1,16(±0,02)	1.22 (0.007)	0.56	0.54	84.40	53.01
200	930	570	1,09(±0,01)	1.26 (0.011)	0.59	0.52	76.02	56.60

Os valores médios da porosidade total, compreendidos entre 52 e 71%, estão dentro da faixa normal encontrada em solos minerais, que é de 30 a 60% (HILLEL, 1970) e concordando com os resultados de outros autores (CORREA, 1985; MEDINA; LEITE, 1986; OLIVEIRA JUNIOR et al., 1997; ANJOS et al., 1994; JORGE; PRADO, 1988; RODRIGUES et al., 1992). Como exceção verifica-se a camada superficial do solo sob floresta, onde o valor da porosidade total alcança 0.71m³.m⁻³, devido, principalmente, ao papel agregante da matéria orgânica nesta profundidade, fato também relatado pelos autores citados acima.

Analisando-se o comportamento físico-volumétrico do solo estudado, observa-se que há dominância de microporos, decorrente, principalmente, dos teores elevados de argila, o que induz a formação de poros pequenos, os quais retêm bastante água e

limitam o movimento de fluidos (MEDINA; LEITE, 1985; BRADY; WEIL, 1999). Pela Tabela 1, comparando a Flona com km 77 na camada de 5 cm, verifica-se um decréscimo da porosidade total no perfil em virtude do aumento da densidade global, de $0,76 \text{ Mg.m}^{-3}$ para $1,16 \text{ Mg.m}^{-3}$, evidenciando a relação desta propriedade física com o espaço poroso do solo.

A densidade do solo permite avaliar certas propriedades do solo, tais como drenagem, porosidade, permeabilidade à água e ao ar, capacidade de armazenamento de água, trabalhabilidade pelos implementos agrícolas, penetração e desenvolvimento do sistema radicular das plantas, etc. Quanto mais elevada for a densidade do solo, menor é a porosidade e, consequentemente, menor será a circulação de água ao longo do perfil. O solo tende a oferecer maior resistência ao trabalho dos implementos agrícolas e ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Os valores de densidade global (D_g) das camadas estudadas na Flona (Tabela 1), apresentam valores médios iguais ou abaixo de $1,16 \text{ Mg.m}^{-3}$, o que, segundo Donahue et al. (1983), não prejudica o bom desenvolvimento das culturas. Conforme mostrado na Tabela 1, verifica-se que as profundidades 50, 100 e 200cm apresentaram maiores valores para a densidade global, situando-se entre $1.05_{(\pm 0,04)}$ e $1.16_{(\pm 0,02)} \text{ Mg.m}^{-3}$, sugerindo indício de adensamento.

Considerando a importância da cobertura vegetal para esta característica física do solo, observa-se que nos solos onde a vegetação é mais densa e de maior porte, isto é, recobre o solo com maior intensidade, a densidade global é menor. Neste aspecto, o valor da D_g do solo sob floresta natural é mais baixo em relação aquele sob cultivo de grãos, devido, principalmente, à ação agregante e descompactadora da floresta sobre os solos do que naqueles que estão sob cultivo, concordando com os resultados obtidos por Correa (1985), Oliveira Junior et al. (1997, 1998), Silva et al. (2005).

Na área de floresta, foi efetuada a transformação da umidade volumétrica para espaço poroso cheio de água – WFPS (LINN; DORAN, 1984), através da equação $WFPS=(UV/PT)*100$ (UV =umidade volumétrica; PT = porosidade total), onde encontramos valores entre 48 e 84% (média anual). Estes são números bastante elevados, sugerindo que mais água está armazenada nos poros e unidas às partículas do solo, podendo promover, durante algum período do ano, situações de excesso de água, o qual pode levar à produção de gases em condições anaeróbicas, principalmente metano, que é um gás de efeito estufa e que pesquisadores estão tentando esclarecer o porquê de sua emissão na região estar acima da média (OLIVEIRA JUNIOR, 2006; CARMO et al., 2006). Na área do 77km, onde pastagem e grãos são semeados desde 2002, os valores de WFPS variam de 44.5 a 56.6%, valores parecidos como os obtido por Passianoto et al. (2003), trabalhando numa área de pastagem e arroz num solo argiloso em Rondônia, evidenciando a menor capacidade desse solo em armazenar água. Isto, para os agricultores, é de fundamental importância, pois podem programar melhor suas atividades de plantio e colheita, assim como, escolher a época de preparo do solo e o tipo de maquinário a usar.

Na Figura 3 apresentamos o comportamento da umidade durante todo o transcorrer dos estudos, em solo sob vegetação de floresta e da área do 77km. Observa-se que durante o período de estiagem (floresta), a maior profundidade que experimenta a seca é até 30cm, com o restante do perfil apresentando-se com umidade acima de 0.30 m³.m⁻³. Também, durante o período chuvoso, esta camada rapidamente drena água para as camadas mais profundas, como também, cede água para a evapotranspiração dos vegetais. Na área do 77km, o curto período de umidade, em relação ao solo da floresta, sugere que a melhor época de plantio seja compreendida entre meados de janeiro ao final de fevereiro, com o objetivo de aproveitar a maior quantidade de água no solo. Assim, por exemplo, a cultura de arroz pode ser plantada tão logo se iniciam as chuvas na região, aproveitando este período de janeiro e fevereiro como de enchimento dos grãos, que utiliza maior volume de água pelas plantas.

A Figura 4 mostra o perfil da umidade média do mês mais seco e do mês mais úmido na Flona Tapajós (67km) e na área do 77km (grãos). As formas das curvas são bastante parecidas, sugerindo que as propriedades hídricas dos solos, nos dois locais, são similares, concordando com os resultados de Hodnett et al. (1995) e Correa (1985), na região de Manaus. Apresenta-se como exceção a profundidade de 15cm na Flona, durante o mês de outubro, onde ocorreu uma diminuição mais acentuada do teor de água. Isto pode ser devido a uma biomassa de raízes finas muita elevada nesse solo da Flona que retiram a água do solo para manter os processos de crescimento e evaporação. Trumbore et al. (2006) mostraram que, estudando em floresta nativa madura em Paragominas, que a camada de 0-10 cm tem 47,8% da biomassa de raízes finas em 1 metro de perfil. Nessa mesma floresta e solo, o mesmo estudo achou uma biomassa maior na camada de 0-10 cm, que indicaria que a porcentagem de raízes finas no perfil de 1 m é ainda maior nessa camada. Nepstad et al. (2002) e Silver et al. (2005) reportaram dados semelhantes para a biomassa de raízes finas (0-10 cm) num solo argiloso na Flona.

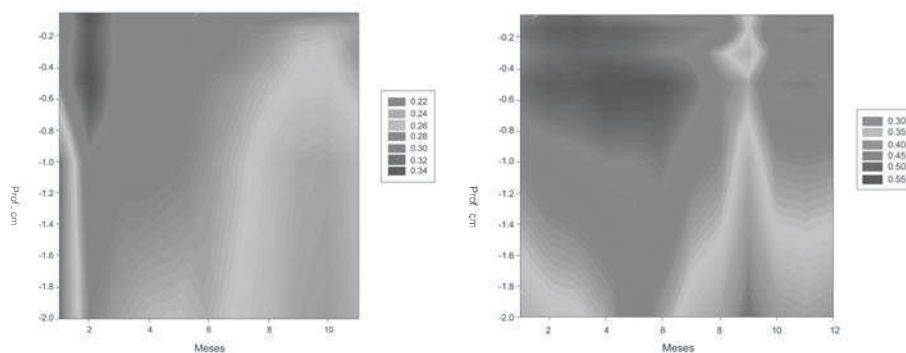


FIGURA 3 – Umidade do solo, até a profundidade de 200cm, na área do 77km (A) e na Flona Tapajós (B). Referentes a media anual, por profundidade (3 anos).

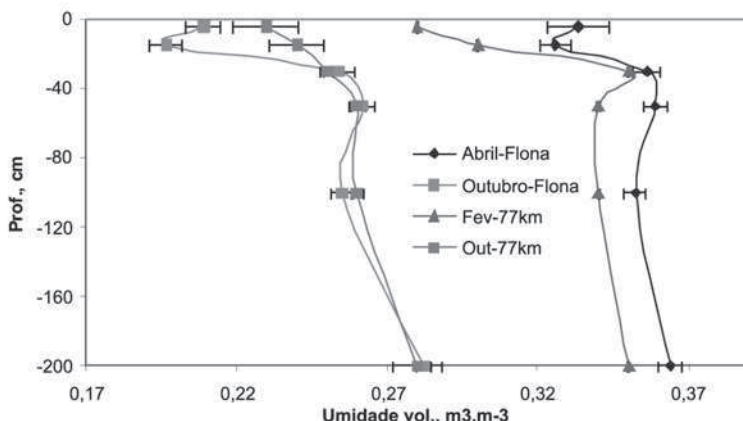


FIGURA 4 – Umidade volumétrica do solo ($m^3.m^{-3}$), em seis profundidades, durante o período úmido e o período seco, na Flona Tapajós e em área de plantio de grãos (barras são o erro padrão da média dos valores considerados, com $n=48$ semanas).

A evaporação nesta floresta aumenta durante o período de estiagem (ROCHA et al., 2004; GOULDEN et al., 2004; BRUNO et al., 2006) e, assim, déficits de água no solo podem desenvolver porque a evaporação pode exceder a precipitação, exatamente como relatado por Rocha et al., (2004) para esta floresta. Na área de grãos, a evaporação nunca ultrapassou a precipitação durante a cultura de arroz no período de chuva, e era ligeiramente maior do que a precipitação só durante agosto-outubro quando não tinha cultura e o solo estava exposto (SAKAI et al., 2004). Por isso, não se observa a mesma diminuição na curva a 15cm na Figura 4 para a área de grãos na época de estiagem. A camada de 5cm, como era esperado, apresentou menor umidade do solo do que a mesma profundidade na floresta, indicando o papel da vegetação como cobertura do solo em evitar a evaporação desta água nas camadas superficiais (RODRIGUES et al., 1992; OLIVEIRA JUNIOR et al., 1997, 1999; BRUNO et al., 2006). Também, a grande variação de textura nesta profundidade (esta camada possui maior conteúdo de areia do que na Flona), explica o menor conteúdo de água (Tabela 1) neste solo da área de grãos, o que permite uma drenagem mais rápida e menor retenção pelas partículas do solo.

Abaixo da profundidade de 50cm, em ambos os locais, o comportamento é praticamente o mesmo, com ligeira diferenciação no mês mais úmido, onde o solo da floresta apresenta-se com maior umidade, em virtude, provavelmente, da não incidência dos raios solares diretos sobre o solo, mantendo, assim, a temperatura do mesmo sem variações. Também, o teor de argila dos solos diferem levemente, com a Flona sendo mais argiloso o suficiente para permitir uma maior retenção de água no solo sob floresta. Esta diferença pode ser devido ao escoamento superficial na área de grãos que tem uma cobertura vegetal reduzida em comparação com a floresta, onde este fenômeno praticamente é nulo. Assim, menos água penetraria na superfície do solo para drenar as camadas mais profundas, como reportado pelo Hodnett et al. (1995).

A grande variação de umidade do solo entre os períodos seco e úmido, no solo da Flona, é visualizada na Figura 4. A diferença é elevada, encontrando-se entre $0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ na camada de 5 cm e $0,08 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ na profundidade de 200cm. Comparando-se com os dados do 77km, verifica-se que estes são mais elevados do que aqueles e, também, sua variação em profundidade é menor, indicando que os vegetais podem dispor de mais umidade.

Na área do 77km, esta variação entre o mês mais úmido e o mais seco, apresenta-se elevando da superfície até a profundidade de 30cm ($0,05 - 0,10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), decrescendo em seguida para as outras profundidades. Isto pode estar relacionado com os crescentes valores da densidade global até a profundidade de 30cm, decrescendo em seguida, o que propicia aumento dos microporos e conseqüente retenção de água. Para a agricultura, isto se prende de grande valia, pois esta camada é o limite inferior onde as raízes das plantas aí cultivadas (arroz e soja) exploram o solo em busca de água e nutrientes.

Na floresta, a máxima mudança entre o período seco e úmido no conteúdo de água do solo foi medida na profundidade de 30cm ($0,10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), decrescendo até $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ na profundidade de 5cm. Abaixo de 30cm, esta variação foi quase uniforme (entre $0,8$ e $0,7 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$). Estes resultados concordam com os de Bruno et al. (2006) que encontraram o mesmo padrão com a profundidade. Além disso, Bruno et al. (2006), trabalhando também na Flona, mostraram que a máxima mudança entre o período seco e úmido no conteúdo de água do solo foi medida na profundidade de 2 até 3 m, indicando que a floresta estava acessando água em profundidades mais profundas do que as estudadas neste estudo. Estes resultados concordam com aqueles encontrados por Correa (1984) estudando solos semelhantes no Amazonas. Neste sítio na Flona Tapajós, o armazenamento médio de água no solo, da superfície até a camada de 30cm, foi de aproximadamente 10% do total, variando de 90,9mm (setembro) a 148mm (maio).

Conforme relatado por Hodnet et al. (1995), Chauvel et al. (1991) publicaram curvas de volume de poros para solos de mesma classe, curvas essas determinadas por injeção de mercúrio que são equivalentes para aquelas medidas por panela de pressão. Os dados confirmam que grande quantidade de água permanece retida pelo solo no ponto de murcha (Tabela 2), aproximadamente $0,29 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ em todo o perfil (0-200cm). A distribuição dos poros explica a baixa disponibilidade de água neste solo e seu alto conteúdo desta água na faixa de água disponível.

A Figura 5 mostra a precipitação e a evaporação média na Flona Tapajós e no site do 77km (pastagem + grãos), para o período 2003-2005. Os valores médios mensais de evaporação, nos meses de julho a novembro, sugerem a ocorrência de déficits hídricos no solo neste período, na camada de 0-100cm, confirmado pelos valores apresentados na Figura 2.

Sakai et al. (2004) mediram evaporação em Latossolo Amarelo argiloso do 77km (área de grãos) e encontraram valores, sob pastagem, entre $2,2 \pm 0,91 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ (período úmido) e $1,9 \pm 0,6 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ (período seco). Utilizando estes valores, verifica-se que

nos meses de julho a outubro ocorre, também, provável déficit, o que torna importante esta informação para a agricultura mecanizada ora em curso na região, principalmente, época de plantio e colheita.

Comparando-se os resultados de evaporação entre os dois locais estudados, verifica-se que na área do km 77, durante o período em que lá estava a pastagem, durante o período úmido há maior perda de água do que no período seco, o contrário acontece na floresta (usando-se dados de ROCHA et al., 2004). Quando se analisa floresta x pastagem, verifica-se que, na pastagem, esta menor evaporação (em relação à floresta), durante o período seco, é, provavelmente, reflexo do menor volume de solo que é explorado pelas raízes das gramíneas do que pela floresta, concordando com os dados de Hodnett et al., (1995). Por este motivo, durante o período seco a floresta evapora maior quantidade de água (Figura 5).

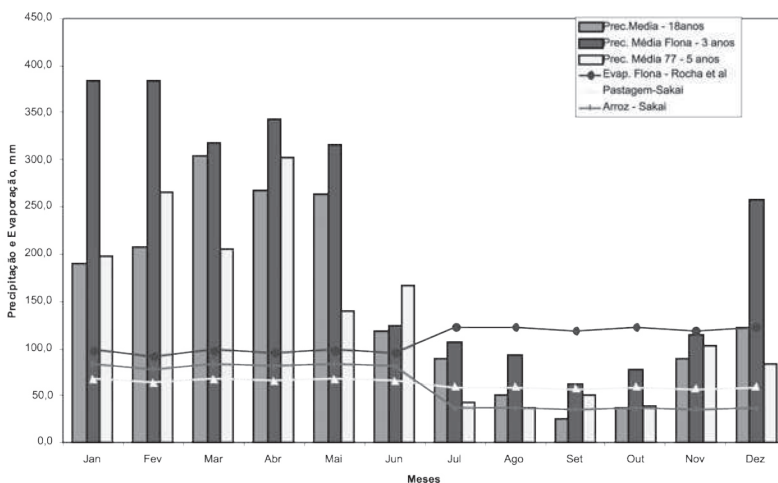


FIGURA 5 – Precipitação e evaporação média mensal na Flona Tapajós e na área do km 77 (pastagem e grãos). Evaporação utilizando dados de Sakai et al. (2004), para pastagem e arroz, e Rocha et al. (1988), para floresta.

Nesta Figura 5 observamos que a variação anual da evaporação da pastagem mantém-se quase constante, com pequena variação mensal entre o período seco e o período úmido. Valores diferentes são visualizados para a floresta, onde o período seco apresenta-se como mais evaporativo, justificando sua maior área foliar e o acesso a mais água no solo, o que é correto em solos muito argilosos, com teores de umidade, no período seco, acima de 20% (RODRIGUES et al., 1992; OLIVEIRA JUNIOR et al., 1997, 1999; HODNETT et al., 1995).

A cultura do arroz, normalmente semeada durante o período úmido, apresenta maior evaporação do que a pastagem, enquanto o solo somente com a resteva do arroz apresenta-se abaixo 50 mm mensais durante o período seco, que é uma taxa de evaporação menor do que a pastagem na mesma época.

Quando se comparam os valores encontrados por Rocha et al. (2004) com aqueles de Shuttleworth (1988), verificamos que na área de Santarém apresenta-se uma situação de maior evaporação, tanto ao nível de floresta, como ao nível de pastagem / grãos (HODNETT et al., 1995).

4 CONCLUSÃO

- O solo Flona e na área de grãos 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;
- O volume de precipitação tem influência marcante no conteúdo de água no solo;
- Os solos estudados possuem umidade suficiente para suportar dois cultivos, dependendo da época de plantio escolhida.
- A evaporação é sempre maior na Flona do que na área de grãos

REFERÊNCIAS

- ANJOS, J.T. et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 18(1):139-45, 1994.
- BASTOS, T.X. O estado atual do conhecimento das condições climáticas da Amazônia brasileira IN: ZONEAMENTO Agrícola da Amazônia. Belém. IPEAN. 1972. p.68 – 122. (IPEAN – Boletim Técnico, 1972).
- BRUNO, R. et al. Soil moisture dynamics in an eastern Amazonian tropical forest. *Hydrological Processes* 20: 2477–2489, 2006.
- CARMO, J.B.; Keller, M.; DIAS, J.D.; CAMARGO,P.B.; Crill, P. A source of methane from upland forests in the Brazilian Amazon. *Geophysical Research Letters*, vol. 33, L04809, doi:10.1029/2005GL025436, 2006.
- CORRÊA, J. C. Características físico-hídricas dos solos Latossolo Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo e Podzol Hidromórfico do Estado do Amazonas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 19(3):347-360, 1984.
- CORRÊA, J. C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um latossolo amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 20(12):1317-1322, 1985.
- CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A. de; ROCHA, G. C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29:1-10, 2005.
- DAKER, A. *A água na agricultura: manual de hidráulica agrícola*. Rio de Janeiro: Ed. Freitas Bastos, 1970. v.3. Irrigação e drenagem.

- DONAHUE, R. L.; MILLER, R. W.; SHICKLUNA, R. C. *Soils: an introduction to soils and plant growth*. Prentice Hall, Inc., fifth edition, 1983. 667p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, (Rio de Janeiro, RJ). *Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da área do Polo Tapajos*. Rio de Janeiro, 1983. 284p. (Embrapa, SNLCS, Boletim de Pesquisa, 20).
- _____. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. aproximação. Rio de Janeiro, 1999. 220p.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Interior. Irrigated land use: land classification. In: BUREAU of Reclamation Manual. 1953, v.5. part 2.
- FONTES, L. E. F.; OLIVEIRA, L. B. *Curvas de retenção de umidade de solos do norte de Minas Gerais, área de atuação da SUDENE*. EMBRAPA/SNLCS. Rio de Janeiro, 1982. 19p. (Boletim de Pesquisa, 4).
- GOULDEN, M.L. et al. Diel and seasonal patterns of tropical forest CO₂ exchange. *Ecological Applications*, 14(4) Supplement: S42–S54, 2004.
- GROHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J.P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. *Bragantia*, Campinas, 25(2):421-32, 1966.
- HILLEL, D. *Soil and water: physical principles and processes*. New York, Academic Press, 1971. 288p.
- HODNET, M.G.; SILVA, L.P.; da ROCHA, H.R.; SENNA, R.C. Seasonal soil water storage changes beneath central Amazonian rainforest and pasture. *Journal of Hydrology*, 170:233-254, 1995.
- JIPP, Peter H.; NEPSTAD, Daniel C.; CASSEL, D. K.; CARVALHO, C. Reis de. Deep soil moisture storage and transpiration in forests and pastures of seasonally dry Amazônia. *Climatic Change*, 39:395-412, 1998.
- JORGE, J. A.; PRADO, H. Porosidade, consistência e propriedades hídricas de três podzólicos vermelhos-amarelos e uma terra roxa estruturada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 12 (1):1-6, 1988.
- LIBARDI, P.L. *Dinâmica da água no solo*. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia – ESALQ/USP, 1995. 497p.
- LINN, D.M.; DORAN, J.W. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.48, n.6, p.1267-1272, 1984.
- LOUREIRO, B.T.; DIAS, U. S. Curvas de retenção de umidade de solo. *Seiva*, 34(81):10-20, 1974.
- MEDINA, B. F.; LEITE, J.A. Influência de três sistemas de manejo e duas coberturas vegetais na infiltração de água em um Latossolo Amarelo de Manaus-AM. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 20(11):1323-1331, 1985.
- NEPSTAD, D.C. et al. The effect of partial throughfall exclusion on canopy processes and biogeochemistry of an Amazon forest. *Journal of Geophysical Research*, 107, 1–18, 2002.

- OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de et al. *Caracterização físico-hídrica dos principais solos da região de Marabá-Carajás, Estado do Pará*. Belém: EMBRAPA/CPATU, 1998. 43p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 205).
- _____. *Caracterização físico-hídrica de quatro perfis de solo da Rodovia Transamazônica, trecho Altamira-Itaituba, Estado do Pará*. Belém: EMBRAPA/CPATU, 1998. 29p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 206).
- _____. *Caracterização físico-hídrica de cinco perfis de solos do nordeste paraense*. Belém: Embrapa Amazônia oriental, 1997. 27p (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 177).
- PAIVA, A.Q.; et al. Disponibilidade de água em uma topossequência de solos de tabuleiro do estado da Bahia e sua relação com indicadores do crescimento da laranjeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:367-377, 1998.
- PASSIANOTO, C.C. et al. Emissions of CO₂, N₂O, and NO in conventional and no-till management practices in Rondônia, Brazil. *Biol Fertil Soils*, 38:200-208, 2003
- ROCHA, H.R. et al. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical Forest in eastern Amazônia. *Ecological Applications*, 14: S22–S32, 2004.
- RODRIGUES, T. E. et al. *Caracterização físico-hídrica dos principais solos da Amazônia. I. Estado do Pará*. Convênio EMBRAPA-FAO, 1991. Relatório mimeografado.
- SAKAI, R.K. et al. Land-use change effects on local energy, water, and carbon balances in an Amazonian agricultural field. *Global Change Biology*, 10, 895-907, 2004.
- SILVER, W.L. et al. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils. *Global Change Biology*, 11, 290–306, 2005.
- SUDAM. Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia Brasileira. *Atlas climatológico da Amazônia brasileira*. Belém. 1984. 125p. (SUDAM. Publicações, 39).
- TRUMBORE, S. et al. Dynamics of fine root carbon in Amazonian tropical ecosystems and the contribution of roots to soil respiration. *Global Change Biology*, 12:217-229, 2006.
- WOLF, J.M.; SOARES, W.V. Características de umidade de um Latossolo vermelho-escuro do Distrito Federal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Sér. Agron., 11:101-106, 1976.
- WRIGHT, I. R. et al. Dry season micrometeorology of Amazonian ranchland. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 118:1083-1099, 1992.