

## Comissão 1.2 - Levantamento e classificação do solo

### NOTA

# CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE GLEISSOLOS DA VÁRZEA DO RIO SOLIMÕES (MANACAPURU E IRANDUBA), AMAZONAS, BRASIL<sup>(1)</sup>

Sérgio Tavares Guimarães<sup>(2)</sup>, Hedinaldo Narciso Lima<sup>(3)</sup>, Wenceslau Geraldtes Teixeira<sup>(4)</sup>, Afrânio Ferreira Neves Junior<sup>(5)</sup>, Francisco Weliton Rocha Silva<sup>(6)</sup>, Rodrigo Santana Macedo<sup>(7)</sup> & Kleberon Worsley de Souza<sup>(8)</sup>

### RESUMO

As várzeas do rio Solimões são áreas inundáveis com predomínio de Gleissolos, onde se estabeleceu grande parte da população rural do Estado do Amazonas. Os objetivos deste trabalho foram caracterizar e classificar cinco perfis de Gleissolos, distribuídos em três áreas da bacia do Médio Amazonas, localizados nas várzeas dos municípios de Manacapuru e Iranduba. Após a descrição morfológica dos solos, coletaram-se amostras dos seus horizontes para caracterização física, química e mineralógica. Similarmente, todos os perfis apresentaram expressiva gleização na matriz do solo, com cores cinzenta a cinzenta-esverdeada, nos horizontes mais superficiais, e cinzenta-clara a cinzenta-escura, nos subsuperficiais, denotando a redução do ferro. Os teores mais elevados da fração areia em horizontes de subsuperfície indicaram presença de diferentes camadas de deposição fluvial, enquanto os elevados teores de silte evidenciaram a natureza sedimentar recente e o baixo grau de desenvolvimento pedogenético desses solos. Os cátions predominantes nos solos foram  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que apresentaram porcentagens de sódio trocável (PST), com amplitude de variação entre 0,70 e 2,09. Os valores de carbono orgânico encontrados foram menores de  $80 \text{ g kg}^{-1}$ , apresentando a natureza

<sup>(1)</sup> Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao PPG - Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas - UFAM. Projeto Financiado pela CAPES. Recebido para publicação em 2 de março de 2012 e aprovado em 10 de janeiro de 2013.

<sup>(2)</sup> M.Sc. em Agronomia Tropical, UFAM. Av. General Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3000, Campus Universitário, Coroado I. CEP 69077-000 Manaus (AM). E-mail: stg2503@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Professor Associado, UFAM. E-mail: hedinaldo@ufam.edu.br

<sup>(4)</sup> Pesquisador da Embrapa Solos - CNPS, Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico. CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ). E-mail: wenceslau@cnps.embrapa.br

<sup>(5)</sup> Professor Adjunto, Centro de Educação a Distância - CED, UFAM. E-mail: anevesjr@gmail.com

<sup>(6)</sup> M.Sc. em Agricultura e Sustentabilidade na Amazônia, TAE, UFAM. E-mail: fweliton17@yahoo.com.br

<sup>(7)</sup> Doutorando na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo - ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, Caixa Postal 9. CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: macedo-rs@hotmail.com

<sup>(8)</sup> Pós-Doutorando, Universidade de Brasília/Embrapa - Centro Pesquisa Agropecuária do Cerrado, BR 020 km 18. CEP 73310-970 Planaltina (DF). E-mail: kleberonws@gamil.com

**mineral dos sedimentos recém-depositados. A composição mineralógica da fração argila revelou presença significativa de argilominerais 2:1, mas sem grande variabilidade entre os perfis. Esses resultados refletiram-se em elevada soma e saturação por bases, caracterizando solos eutróficos e com argila de atividade alta.**

**Termos de indexação: solos hidromórficos, horizonte glei, solos da Amazônia, DRX.**

**SUMMARY: CHARACTERIZATION AND CLASSIFICATION OF GLEYSOILS ON THE FLOODPLAIN OF THE SOLIMÕES RIVER (IRANDUBA AND MANACAPURU), AMAZONAS, BRAZIL**

*The floodplains of the Solimões River are areas periodically flooded with predominance of Gleysols, where have lived a large number of small farmers of the region. The purpose of this study was to characterize and classify five profiles of Gleysoils distributed in three floodplain areas of the Middle Amazon basin, located in the municipalities of Manacapuru and Iranduba. After the morphological description, the soil horizons were sampled to perform physical, chemical and mineralogical analyses. Similarly, significant gleization was observed in all profiles of the soil matrix, with gray to gray-green color in the surface, and light to dark gray in the subsurface horizons, denoting iron reduction. The highest levels of the sand fraction in the subsurface horizons indicated the presence of different layers of fluvial deposition, while the high silt contents evidenced the nature of recent sediments and the low degree of pedogenetic development of these soils. The predominant soil cations were  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ , with a percentage of exchangeable sodium (ESP), varying from 0.70 to 2.09. The organic carbon contents were lower than  $80 \text{ g kg}^{-1}$ , indicating recently deposited mineral sediments. The mineralogical composition of the clay fraction showed a significant presence of 2:1 clay minerals, but little variability among profiles. These results are reflected in high sum of bases and base saturation, characterizing eutrophic soils with high clay activity.*

*Index terms: hydromorphic soils, gley horizon, Amazon soils, XRD.*

## INTRODUÇÃO

As várzeas do rio Solimões são áreas inundáveis com predomínio de Gleissolos, onde se estabeleceu grande parte da população rural do Estado do Amazonas. Esses solos apresentam geralmente elevada fertilidade natural, que é atribuída principalmente às características dos sedimentos que deram origem a esses (Lima et al., 2007; Guimarães, 2010). Apesar do seu elevado potencial agrônômico, pouco são os trabalhos de pesquisa relacionados a esses solos.

Diante da natureza sedimentar recente, os solos desenvolvidos nessas várzeas guardam estreita relação com o seu material de origem, que é proveniente das regiões andina e subandina (Iriando, 1982; Falesi, 1986; Lima, 2001; Lima et al., 2006, 2007; Teixeira et al., 2007). Gleissolos e Neossolos Flúvicos constituem os solos dominantes nas várzeas do rio Solimões. Os primeiros, com cerca de 3.937.723 ha, podem representar até 60 % do total de solos das várzeas (Teixeira et al., 2007). Apesar do potencial para a exploração agrícola, esses solos apresentam limitações de uso e manejo, em razão da elevação do lençol freático durante boa parte do ano, sobretudo os Gleissolos, que estão situados nas posições mais baixas da paisagem.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2006), os Gleissolos são

solos hidromórficos, constituídos por material predominantemente mineral, com horizonte glei iniciando dentro dos primeiros 150 cm da superfície, imediatamente abaixo de um horizonte A ou H pouco espesso.

Os solos das várzeas do rio Solimões frequentemente são eutróficos com baixa acidez, dominância de cátions básicos como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e de baixos teores de  $\text{Al}^{3+}$  no complexo de troca, baixo grau de saturação por alumínio e com minerais silicatados de alta atividade na fração argila (Lima, 2001; Macedo, 2009; Guimarães, 2010; Silva et al., 2011).

Este trabalho teve como objetivos classificar e caracterizar cinco perfis desses solos distribuídos na bacia do Médio Amazonas, com base nos atributos físicos, químicos e mineralógicos, a fim de ampliar o conhecimento e contribuir para o estudo sobre os solos das áreas de várzea do rio Solimões, em particular os enquadrados na classe dos Gleissolos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas três áreas de estudo situadas no Estado do Amazonas. Tais áreas compreendem solos inseridos nas paisagens de várzea do rio Solimões desenvolvidos a partir de sedimentos recentemente

depositados na bacia do Médio Amazonas, localizados nos municípios de Manacapuru e Iranduba, AM (Figura 1). Os locais estudados estão situados mais afastados do curso desse rio, no interior das várzeas sob áreas de floresta, em posição mais rebaixada na paisagem da planície aluvial, onde a ocorrência de solo classificado na classe dos Gleissolos tem maior expressividade. Geralmente, nas faixas de dique marginal desses ambientes, ocorrem solos classificados como Neossolos Flúvicos (Lima, 2001; Teixeira et al., 2007).

Nessa região, o clima é quente e úmido, correspondendo à classificação de Köppen ao tipo Am (Brasil, 1978), com precipitação pluvial anual igual ou superior a 2.000 mm e com médias anuais de temperatura e umidade relativa de 27 °C e 84 %, respectivamente.

Em cada local de estudo foi aberta uma trincheira e realizada a descrição morfológica do perfil do solo, conforme recomendações de Santos et al. (2005). Em seguida, coletaram-se amostras dos horizontes, que foram secas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha para obter a terra fina seca ao ar (TFSA), que, a partir dessa, foram realizadas as análises físicas, químicas e mineralógicas.

As análises físicas e químicas foram feitas, de acordo com Embrapa (1997, 1999), a saber: análise granulométrica (método da pipeta); densidades do solo - Ds (método do anel volumétrico de Kopec); densidade de partículas - Dp (método do picnômetro); pH (em água e em solução KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); Al<sup>3+</sup> extraído com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e quantificado por titulometria com solução NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>; acidez potencial (H +

Al), extraída com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7 e determinada por titulometria com solução de NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>; P, K e Na extraídos por Mehlich-1 e quantificados, respectivamente, por colorimetria e fotometria de chama; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e quantificados por titulometria; e C orgânico total (COT), por oxidação via úmida.

Adicionalmente, foi feita a separação da fração argila para serem realizadas análises mineralógicas por difratometria de raios-X (DRX). A matéria orgânica presente foi eliminada pela adição de peróxido de hidrogênio (30 %); posteriormente, a fração argila foi separada por sedimentação e tratada com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), para a remoção dos óxidos de ferro existentes nas amostras, visando melhorar a intensidade das reflexões dos minerais presentes, conforme Embrapa (1997), Whittig & Allardice (1986) e USDA (1996). As análises foram conduzidas em equipamento Shimadzu XRD 6000, equipado com anodo de Cu, em intervalo de varredura entre 3 e 60 °2θ.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Atributos morfológicos

De acordo com os resultados da caracterização morfológica (Quadro 1), todos os solos apresentaram expressivo processo de gleização, conforme os padrões de cores de redução observados, incluindo mosqueados. Tais características, provavelmente, estão relacionadas ao processo de redução química e

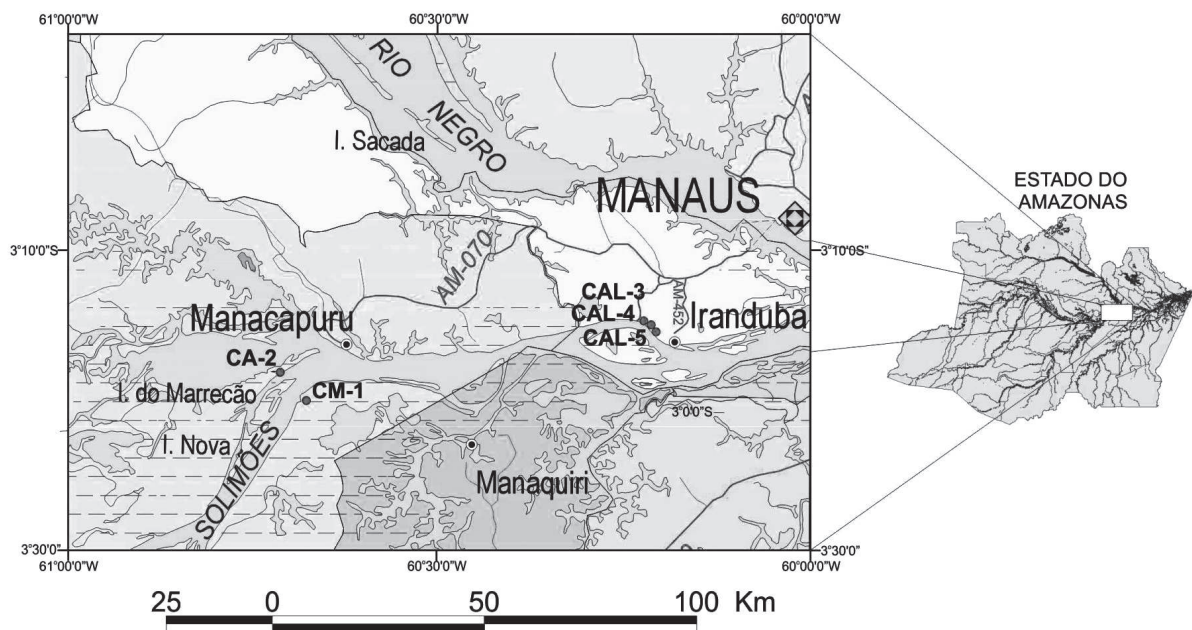


Figura 1. Localização geográfica das áreas de estudo. CM-1: Perfil 1, na Costa do Marrecão; CA-2: Perfil 2, no Cabaleana; CAL-3: Perfil 3, no Caldeirão; CAL-4: Perfil 4, no Caldeirão; e CAL-5: Perfil 5, no Caldeirão.

**Quadro 1. Características morfológicas e texturais de Gleissolos da várzea do rio Solimões, AM**

Hor.	Prof. (cm)	Fundo (Matriz)	Cor - solo úmido <sup>(1)</sup>				Classe textural <sup>(4)</sup>
			Mosqueado (Arrançamento)				
			Código (Munsell)	Quantidade <sup>(2)</sup> (<2; 2-20; >20 %)	Tamanho (<5; 5-15; >15mm)	Contraste <sup>(3)</sup> (em relação ao fundo)	
Área 1 - Costa do Marrecão/Manacapuru							
P1 - Gleissolo Háptico Ta eutrófico típico							
Ag	0-20	10G 6/1	7,5YR 5/8	po	média	proem.	Argilossiltosa
Cg <sub>1</sub>	20-65	10G 6/1	7,5YR 5/8	ab	grande	proem.	Franco-argilossiltosa
Cg <sub>2</sub>	65-90	10G6/1	7,5YR 7/4	ab	média	proem.	Franco-argilossiltosa
2Cg <sub>3</sub>	90-130	10G 7/1	7,5YR 6/8	ab	média	proem.	Franco-arenosa
Área 2 - Paraná do Cabaleana/Manacapuru							
P2 - Gleissolo Háptico Ta eutrófico típico							
Ag	0-13	10G 5/1	7,5YR 5/8	co	média	proem.	Argilossiltosa
Cg <sub>1</sub>	13-33	10G 6/1	7,5YR 5/8	ab	grande	proem.	Franco-siltosa
Cg <sub>2</sub>	33-52	N 6/	7,5YR 6/8	ab	média	proem.	Franco-siltosa
Cg <sub>3</sub>	52-85	N 5/	7,5YR 6/8	ab	média	proem.	Franco-argilossiltosa
Área 3 - Caldeirão/Iranduba							
P3 - Gleissolo Háptico Ta eutrófico neofluviussólico							
Ag	0-7	10YR 4/1	10YR 6/8	co	média	dist.	Franco-siltosa
Cg <sub>1</sub>	7-22	10YR 5/1	5YR 4/6	ab	grande	proem.	Franco-argilossiltosa
-	-	-	7,5YR 5/8	co	grande	dist.	-
Cg <sub>2</sub>	22-60	-	10YR 3/6	ab	grande	dist.	Franco-siltosa
-	-	-	10YR 2/2	co	grande	dist.	-
-	-	-	10YR 5/8	co	grande	dist.	-
Cg <sub>3</sub>	60-132	10YR 5/1	10YR 6/8	ab	grande	dist.	Franco-siltosa
-	-	-	10YR 3/3	co	grande	dist.	-
Cg <sub>4</sub>	132-180+	10YR 6/1	10YR 6/6	ab	grande	dist.	Franco-siltosa
-	-	-	10YR 4/2	co	grande	dist.	-
P4 - Gleissolo Háptico Ta eutrófico neofluviussólico							
Ag	0-3	10YR 5/1	10YR 6/8	po	média	dist.	Franco-siltosa
Cg <sub>1</sub>	3-49	10YR 6/1	7,5YR 5/8	ab	grande	dist.	Franco-siltosa
Cg <sub>2</sub>	49-76	10YR 5/1	7,5YR 5/8	co	média	dist.	Franco-siltosa
Cg <sub>3</sub>	76-117	2,5Y 6/1	7,5YR 6/8	ab	grande	dist.	Franco-argilossiltosa
2Cg <sub>4</sub>	117-155	N 6/	7,5YR 5/8	ab	grande	proem.	Franco-argilossiltosa
P5 - Gleissolo Háptico Ta eutrófico chernossólico							
Ag	0-25	10YR 6/1	7,5Y 5/6	ab	grande	dist.	Franco-siltosa
Cg <sub>1</sub>	25-43	10YR 5/1	5YR 5/6	ab	grande	dist.	Franco-siltosa
-	-	-	7,5YR 5/8	ab	grande	dist.	-
Cg <sub>2</sub>	43-70	N 6/	7,5YR 5/8	ab	grande	proem.	Franco-siltosa
Cg <sub>3</sub>	70-150	N 5/	7,5YR 5/8	ab	grande	proem.	Franco-argilossiltosa

Hor.: horizonte; Prof.: profundidade; <sup>(1)</sup> Munsell Color (2000); <sup>(2)</sup> po: pouco, ab: abundante, co: comum; <sup>(3)</sup> proem.: proeminente, dist.: distinto; <sup>(4)</sup> Classificação textural, realizada por meio do Programa SCCLAT (1997).

transporte do ferro no perfil, como consequência dos períodos de alagamentos nesse sistema, corroborando outros estudos que também destacam a forte influência da flutuação do lençol freático sobre as propriedades morfológicas do solo (Lima et al., 2006; Bispo et al., 2011).

### Atributos físicos

Em relação às classes texturais primárias ou grupamentos (IBGE, 2005), os perfis estudados apresentaram-se desde a classe argilosa até a arenosa, com predominância argilosa nos horizontes

superficiais de P1 e P2 e siltosa, nos P3, P4 e P5 (Quadro 1). Nos horizontes glei, houve prevalência da classe de textura franco-siltosa, sobretudo no P2, P3 e P5, seguida da textura franco-argilossiltosa no P2 e P5, verificando-se maior variação no perfil P1. Os resultados da composição granulométrica (Quadro 2) indicaram predominância das frações mais finas (argila e silte), com elevados teores de silte em todos os perfis, revelando menor contribuição das frações mais grosseiras (areia grossa e areia fina). Essa distribuição granulométrica reflete a natureza sedimentar recente das partículas minerais que constituem os solos desse ambiente, evidenciando menor grau de desenvolvimento dos perfis na paisagem de várzea. Esses resultados não diferiram de outros estudos, que também observaram o mesmo comportamento textural em solos da várzea do Solimões (Lima, 2001; Macedo, 2009). É importante destacar, ainda, que, apesar da tendência observada de decréscimo nos teores de areia em profundidade,

valores mais elevados dessa fração foram observados nos horizontes de subsuperfície com maior evidência de deposições fluviais diferentes como 2Cg1 do P1, 2Cg4 do P4 e 2Cg2 do P5 (Quadro 2).

Os valores de argila dispersa em água (ADA) foram relativamente elevados em todos os perfis estudados (Quadro 2). Os maiores teores de ADA foram encontrados nos horizontes subsuperficiais. Esses elevados teores podem estar relacionados às características da argila presente no sistema e provavelmente ao maior teor de matéria orgânica na superfície, que pode contribuir para o aumento das cargas elétricas do solo, diminuindo a atividade de elementos responsáveis pela agregação e floculação dessas partículas. A densidade do solo (Ds) e de partículas (Dp) apresentaram valores (Quadro 2) dentro do que normalmente se observa em solos pouco desenvolvidos e com teores de carbono orgânico mais elevados nas camadas superficiais (Quadro 3), que contribuíram na redução dos valores de Ds e Dp.

**Quadro 2. Características físicas de Gleissolos da várzea do rio Solimões, AM**

Hor.	Prof.	AG <sup>(1)</sup>	AF <sup>(2)</sup>	Silte	Argila	ADA <sup>(3)</sup>	GF <sup>(4)</sup>	Dp <sup>(5)</sup>	Ds <sup>(6)</sup>
	cm	g kg <sup>-1</sup>					%	Mg m <sup>-3</sup>	
Perfil 1 - Gleissolo Háptico Ta eutrófico típico									
Ag	0-20	8	5	567	420	263	37	2,50	0,83
Cg <sub>1</sub>	20-65	10	46	612	332	307	8	2,66	1,22
Cg <sub>2</sub>	65-90	22	82	604	292	283	3	2,63	1,47
2Cg <sub>3</sub>	90-130	109	557	238	96	109	-( <sup>7</sup> )	2,66	1,51
Perfil 2 - Gleissolo Háptico Ta eutrófico típico									
Ag	0-13	7	11	447	535	390	27	2,34	0,79
Cg <sub>1</sub>	13-33	2	4	726	268	294	-	2,72	1,25
Cg <sub>2</sub>	33-52	3	7	806	184	282	-	2,72	1,28
Cg	52-85	2	5	679	315	341	-	2,73	1,23
Perfil 3 - Gleissolo Háptico Ta eutrófico neofluvisólico									
Ag	0-7	6	48	738	208	155	25	2,64	0,78
Cg <sub>1</sub>	7-22	4	9	703	284	136	52	2,67	1,03
Cg <sub>2</sub>	22-60	8	127	690	175	152	13	2,73	1,25
Cg <sub>3</sub>	60-132	3	13	733	251	191	24	2,73	1,17
Cg <sub>4</sub>	132-180+	11	19	781	189	233	-	2,74	1,32
Perfil 4 - Gleissolo Háptico Ta eutrófico neofluvisólico									
Ag	0-3	15	37	694	253	170	33	2,48	0,84
Cg <sub>1</sub>	3-49	3	41	726	230	200	13	2,68	1,24
Cg <sub>2</sub>	49-76	81	144	595	180	79	56	2,71	1,45
Cg <sub>3</sub>	76-117	12	11	603	373	336	10	2,71	1,28
2Cg <sub>4</sub>	117-155	518	57	129	297	215	28	2,67	1,44
Perfil 5 - Gleissolo Háptico Ta eutrófico chernossólico									
Ag	0-25	3	27	744	227	172	24	2,63	0,87
Cg <sub>1</sub>	25-43	4	36	747	214	200	7	2,73	1,15
Cg <sub>2</sub>	43-70	125	87	636	152	197	-	2,69	1,27
Cg <sub>3</sub>	70-150	13	27	671	290	204	30	2,73	1,23

(<sup>1</sup>) AG: areia grossa; (<sup>2</sup>) AF: areia fina; (<sup>3</sup>) ADA: argila dispersa em água; (<sup>4</sup>) GF: grau de floculação; (<sup>5</sup>) Dp: densidade de partículas; (<sup>6</sup>) Ds: densidade do solo; (<sup>7</sup>) Traço (-): não determinado.

**Quadro 3. Características químicas de Gleissolos da várzea do rio Solimões, AM**

Hor.	Prof.	pH		P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB <sup>(1)</sup>	CTC <sup>(2)</sup>	T <sup>(3)</sup>	V <sup>(4)</sup>	m <sup>(5)</sup>	PST <sup>(6)</sup>	CO <sup>(7)</sup>
		H <sub>2</sub> O	KCl														
		cm		mg kg <sup>-1</sup>				cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				%		g kg <sup>-1</sup>			
Área 1 - Costa do Marrecão/Manacapuru																	
P1 - Gleissolo Háplico Ta eutrófico típico																	
Ag	0-20	4,40	3,69	15	0,23	0,27	8,18	3,52	4,71	1,86	12,20	14,06	33,48	86,7	27,9	1,92	20,63
Cg <sub>1</sub>	20-65	5,11	3,72	2	0,17	0,19	7,39	4,44	2,62	0,56	12,19	12,75	38,40	95,6	17,7	1,50	1,92
Cg <sub>2</sub>	65-90	5,66	3,73	3	0,22	0,26	9,83	6,10	0,00	0,12	16,41	16,52	56,58	99,3	0,0	1,58	1,60
2Cg <sub>3</sub>	90-130	6,12	4,23	68	0,13	0,15	4,44	3,70	0,00	1,11	8,42	9,52	99,17	88,4	0,0	1,55	0,18
Área 2 - Paraná do Cabaleana/Manacapuru																	
P2 - Gleissolo Háplico Ta eutrófico típico																	
Ag	0-13	4,65	3,93	13	0,28	0,28	16,42	4,23	1,19	0,43	21,20	21,63	40,43	98,0	5,3	1,29	31,34
Cg <sub>1</sub>	13-33	6,16	4,48	4	0,19	0,33	12,41	6,32	0,00	0,15	19,25	19,40	72,39	99,2	0,0	1,68	3,41
Cg <sub>2</sub>	33-52	6,48	4,64	6	0,18	0,37	11,66	6,54	0,00	2,41	18,75	21,16	115,00	88,6	0,0	1,73	2,09
Cg <sub>3</sub>	52-85	6,56	4,85	9	0,19	0,38	11,32	5,20	0,00	1,22	17,09	18,31	58,13	93,3	0,0	2,09	1,44
Área 3 - Caldeirão/Iranduba																	
P3 - Gleissolo Háplico Ta eutrófico neofluvisólico																	
Ag	0-7	4,72	4,25	79	0,33	0,11	11,23	2,29	0,46	1,55	13,96	15,51	74,57	90,0	3,2	0,70	16,94
Cg <sub>1</sub>	7-22	4,51	3,75	64	0,21	0,17	8,42	2,58	3,01	0,46	11,38	11,84	41,69	96,1	20,9	1,47	12,39
Cg <sub>2</sub>	22-60	5,91	4,34	72	0,15	0,25	8,53	3,51	0,00	0,96	12,43	13,39	76,51	92,9	0,0	1,85	1,76
Cg <sub>3</sub>	60-132	6,22	4,38	52	0,18	0,31	10,70	4,39	0,00	7,87	15,58	23,46	93,65	66,4	0,0	1,33	3,27
Cg <sub>4</sub>	132-180 <sup>+</sup>	6,72	4,62	47	0,15	0,49	10,67	5,38	0,00	3,53	16,69	20,22	106,98	82,5	0,0	2,41	1,20
P4 - Gleissolo Háplico Ta eutrófico neofluvisólico																	
Ag	0-3	3,92	3,64	76	0,24	0,17	9,73	1,94	2,74	2,46	12,08	14,54	57,47	83,1	18,5	1,14	36,27
Cg <sub>1</sub>	3-49	5,14	4,04	49	0,17	0,19	8,85	2,61	0,91	2,97	11,83	14,80	64,35	79,9	7,2	1,29	3,53
Cg <sub>2</sub>	49-76	5,55	4,27	43	0,16	0,15	7,25	2,29	0,00	2,10	9,85	11,95	66,39	82,5	0,0	1,27	1,12
Cg <sub>3</sub>	76-117	5,59	4,16	11	0,23	0,22	12,15	4,11	0,00	5,99	16,71	22,70	60,86	73,6	0,0	0,98	2,95
2Cg <sub>4</sub>	117-155	5,56	4,20	15	0,12	0,12	7,34	2,47	0,00	2,43	10,05	12,47	42,06	80,6	0,0	0,98	0,96
P5 - Gleissolo Háplico Ta eutrófico chernossólico																	
Ag	0-25	4,43	3,77	65	0,25	0,17	0,20	2,42	2,06	1,83	11,80	13,63	60,18	86,6	14,9	1,47	10,93
Cg <sub>1</sub>	25-43	5,87	4,72	59	0,21	0,14	0,22	3,11	0,00	2,28	13,99	16,27	76,21	86,0	0,0	1,36	3,27
Cg <sub>2</sub>	43-70	5,95	4,84	45	0,18	0,16	0,22	2,85	0,00	1,09	12,71	13,80	90,79	92,1	0,0	1,61	1,90
Cg <sub>3</sub>	70-150	5,76	4,88	28	0,17	0,22	0,28	3,68	0,00	0,63	15,56	16,18	55,89	96,1	0,0	1,75	2,87

Hor.: horizonte; Prof.: profundidade.<sup>(1)</sup> SB: soma de bases; <sup>(2)</sup>CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; <sup>(3)</sup> T: atividade da fração argila; <sup>(4)</sup> V: saturação por bases; <sup>(5)</sup> m: saturação por alumínio; <sup>(6)</sup> PST: percentagem de sódio trocável; <sup>(7)</sup>CO: carbono orgânico total.

### Caracterização química

A acidez ativa dos solos apresentou classes entre extremamente ácida e praticamente neutra, segundo o intervalo de variação nos valores de pH observados (Quadro 3) e valor médio de 5,4, o que implicou em pH moderadamente ácido, conforme critérios de classificação adotados em Embrapa (2006). Os valores de pH em KCl, em geral, foram inferiores aos de pH na água, resultando em ΔpH negativo, o que evidenciou o predomínio de carga líquida negativa.

Os teores de Al<sup>3+</sup> (Quadro 3) variaram entre baixo e alto, segundo as classes adotadas por Tomé Júnior (1997). O valor mais elevado foi observado no perfil P1, localizado na várzea de Manacapuru, enquanto os menores valores foram observados no P2, situado

no mesmo município. Em geral, os teores mais elevados foram encontrados nos horizontes de superfície. Adicionalmente, os níveis de Al trocável estão associados com os índices de pH do solo, pois, conforme o comportamento químico desse elemento em solução, a atividade dele é baixa ou nula nos valores de pH acima de 5,5, como pode ser observado nos perfis avaliados (Quadro 3).

Em todos os solos avaliados, os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram elevados (Quadro 3), destacando-se os elementos predominantes no complexo de troca, que notadamente contribuíram para os altos valores de soma (SB) e de saturação por bases (V), resultando na característica eutrófica (V > 50 %) para todos os solos (Quadro 3). O teor mais elevado de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foi observado no horizonte Ag do P2, na várzea de

Manacapuru, o que pode ser atribuído à expressiva quantidade de sítios trocáveis do solo, como foi evidenciado pelos valores mais elevados da CTC no P2. Valores elevados de Ca e Mg em solos de várzea na Amazônia Central têm sido reportados também em outros trabalhos sobre Gleissolos (Brasil, 1978; CETEC, 1986). Os teores expressivos desses nutrientes podem ser atribuídos à natureza recente dos constituintes minerais e alta atividade química da fração argila nesses solos.

Os teores de  $K^+$  nos solos evidenciaram valores variando entre baixo e alto, segundo as classes adotadas por Tomé Júnior (1997). Os valores mais elevados foram encontrados nas camadas superficiais, exceto no P5 (Quadro 3). Os teores de  $Na^+$  nos solos são relativamente baixos, com teor médio de  $0,24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ; o solo da várzea de Manacapuru (P2) revelou o teor médio mais elevado de  $Na^+$ . Mesmo com os valores de  $Na^+$  mais elevados, quando comparado com aqueles normalmente observados nos solos de terra firme da região, os níveis apresentados dentro da seção de controle ficaram abaixo do necessário para caracterizar esses solos como sódicos (Porcentagem de sódio trocável - PST  $\geq 15 \%$ ), ou ainda como solódicos ( $6 \leq \text{PST} < 15$ ) (Quadro 3). Os valores desses componentes refletem a natureza e a composição dos sedimentos trazidos em suspensão pelo rio Solimões e depositados sobre essas áreas (Gaillard et al., 1997; Queiroz et al., 2009).

O teor de fósforo (P) encontrado variou entre baixo e alto, conforme as classes adotadas por Tomé Júnior (1997). Em geral, observaram-se os valores mais elevados nas camadas superficiais, com exceção dos perfis P1 e P2 localizados na várzea de Manacapuru (Quadro 3). O teor mais elevado de P foi encontrado no horizonte superficial Ag do P4 em Iranduba, enquanto o menor, nos horizontes ACg e Cg1 do P1, bem como no horizonte Cg1 do P2, em Manacapuru. Esses resultados não diferiram de outros estudos que também registraram valores dessa natureza, para P disponível em solos de várzea da região (Lima et al., 2006; Macedo, 2009; Silva, 2008; Silva et al., 2011). Em contraste com os perfis da várzea, os teores de P disponível normalmente são inferiores a  $5 \text{ mg kg}^{-1}$ , naqueles solos mais intemperizados e profundos da paisagem de terra firme da Amazônia brasileira (Rodrigues, 1996; Lima, 2001).

O teor de carbono orgânico (CO) nos solos apresentou grande variação (Quadro 3). Encontraram-se valores mais elevados nas camadas superficiais dos perfis estudados. Esses teores de C refletiram a natureza das partículas minerais recentemente depositadas no ecossistema de várzea.

### Caracterização mineralógica

Os difratogramas de raios-X revelaram minerais silicatados do tipo 2:1 e 1:1, com a presença de vermiculita, montmorilonita, ilita e caulinita (Figuras

2 e 3), indicando elevada heterogeneidade de componentes minerais na fração argila desses solos. Além disso, esses mostraram que os perfis e horizontes avaliados não apresentaram grandes variações. Esses resultados concordam com os de outros estudos sobre a mineralogia de perfis da várzea do Solimões (Lima, 2001; Horbe et al., 2007; Macedo, 2009; Silva et al., 2011). No trabalho conduzido por Guyotet al. (2007) em área próxima ao local deste estudo, os sedimentos em suspensão no rio Solimões continham elevada concentração de minerais com baixo grau de intemperismo químico, evidenciando a expressiva variedade de componentes na assembleia mineralógica, provavelmente oriundos de processos erosivos nas regiões Andinas.

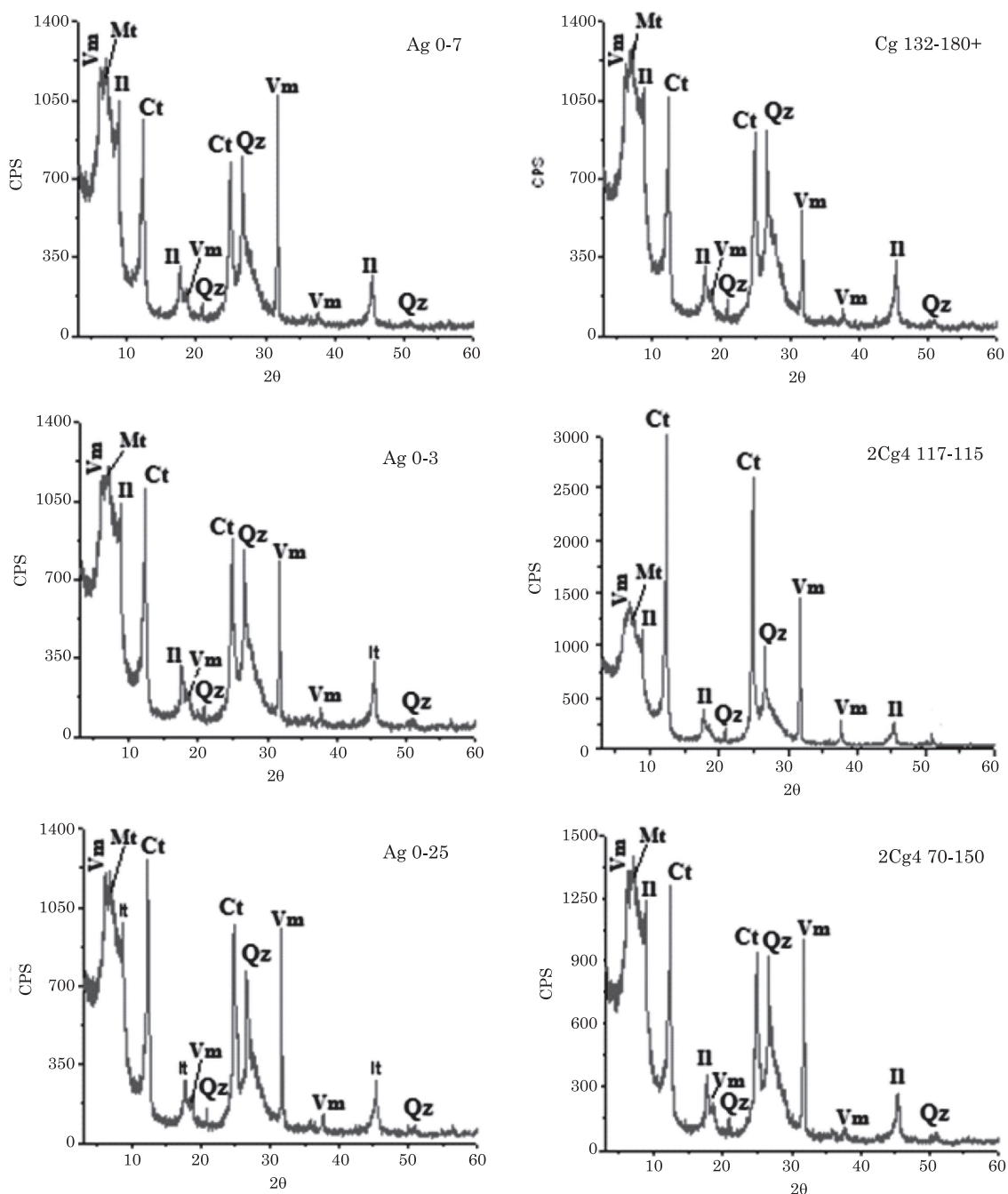
A presença desses constituintes minerais indica que os solos desse ecossistema são dominados por compostos minerais de alta atividade química na fração argila, o que se deve provavelmente à elevada superfície específica, geralmente atribuída aos minerais de argila 2:1, implicando em solos com alta capacidade de reter nutrientes catiônicos no complexo de troca, como foi evidenciado pelas variáveis químicas desses solos, como os valores de CTC e a soma de bases. Adicionalmente, os compostos minerais de natureza recente podem ser considerados como potenciais reservas de nutrientes para esse sistema. Essa característica mineralógica reflete o baixo grau de desenvolvimento pedogenético dos solos estudados. Portanto, os perfis de solos nas várzeas apresentam, do ponto de vista químico e de fertilidade, potencial para o uso agrícola e para produção de alimentos, em comparação com aqueles mais bem desenvolvidos e profundos da terra firme.

### Classificação do solo

Com base nos dados morfológicos e analíticos, todos os perfis foram classificados até o quarto nível categórico do SiBCS (Embrapa, 2006). As classes distinguidas foram: perfis P1 e P2, Gleissolo Háptico Ta eutrófico típico; P3 e P4, Gleissolo Háptico Ta eutrófico neofluvíssólico; e P5, Gleissolo Háptico Ta eutrófico chernossólico. A classificação taxonômica relevou variações entre os solos estudados, notadamente no quarto nível categórico.

## CONCLUSÕES

1. Os cinco perfis de Gleissolos apresentaram variações quanto à classificação taxonômica, notadamente no quarto nível categórico, com considerável diferença em relação aos atributos físicos e químicos. Entretanto, não se constataram grandes variações mineralógicas.



**Figura 2.** Difratoigramas de raios-X da fração argila desferrificada de Gleissolos da várzea do rio Solimões, AM: CAL-3: Caldeirão (Cg<sub>1</sub> 0-7; Cg<sub>5</sub> 132-180+); CAL-4: Caldeirão (Ag 0-3; 2Cg<sub>4</sub> 117-115); CAL-5: Caldeirão (Cg<sub>1</sub> 0-25; Cg<sub>4</sub> 70-150). Vm: vermiculita; Mt: montmorilonita; Il: ilita; Ct: caulinita; e Qz: quartzo.

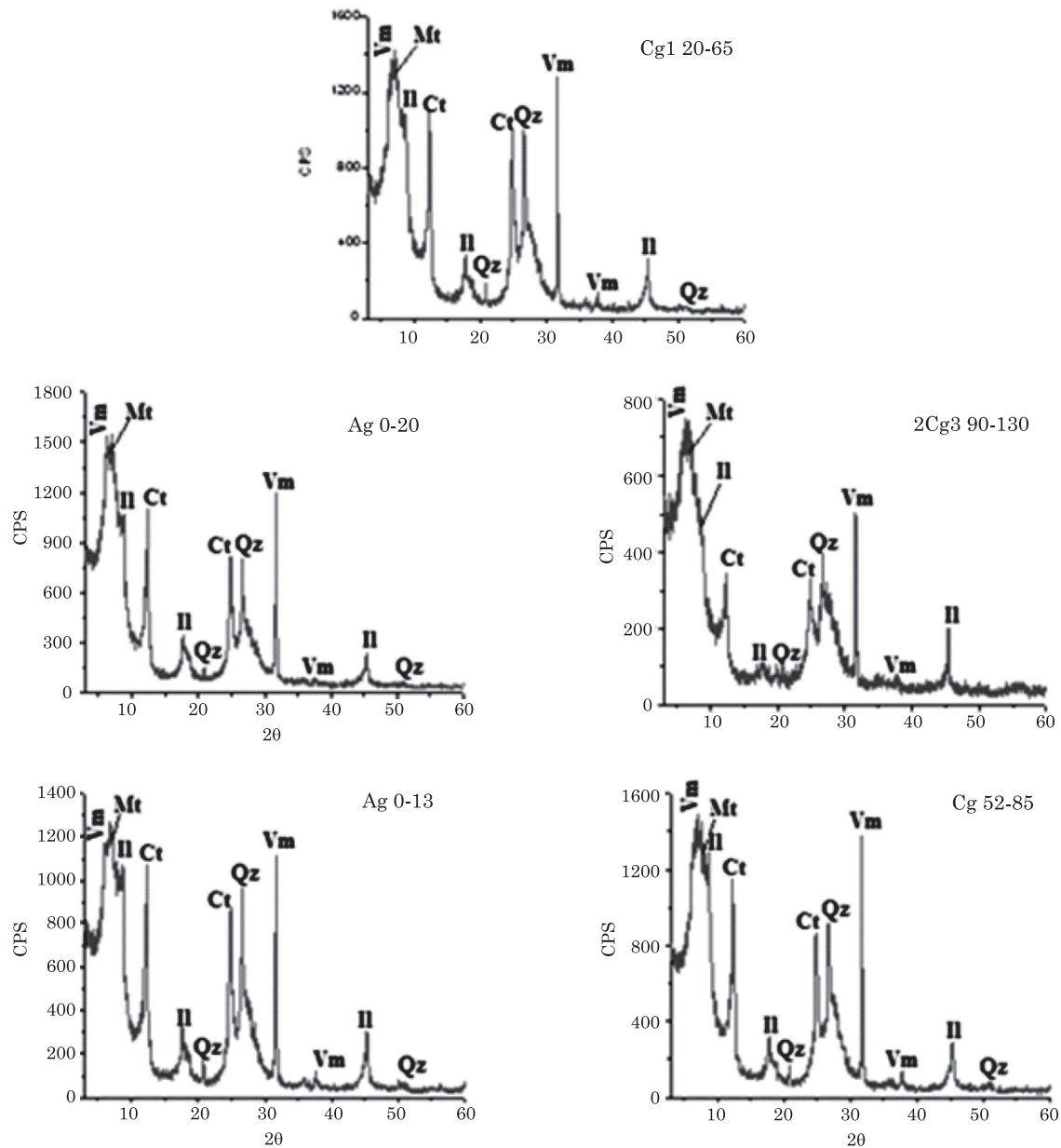
2. Os elevados teores de silte evidenciaram a natureza sedimentar e o baixo grau de desenvolvimento pedogenético dos solos estudados.

3. Os nutrientes catiônicos predominantes nos solos foram Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>. Os elevados valores de base e de saturação por bases são resultantes dos altos teores de cátions básicos no complexo de troca, em conformidade com a mineralogia desses.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Amazonas; à CAPES, pela concessão da bolsa de estudo; ao CNPQ - Projeto Casadinho, pelos recursos para os estudos dos solos de várzea; UFAM/UFV; à Prof<sup>a</sup>. Adriana Horbe, pelo uso e pelas facilidades ao laboratório de Difração de raios-X do Departamento de Geologia da UFAM; e ao Dr. Aldemir Fontana, da Embrapa Solos, pelas valiosas sugestões.





**Figura 3. Difratomogramas de raios-X da fração argila desferrificada de Gleissolos da várzea do rio Solimões, AM: CM-2: Costa do Marrecão (Ag 0-20; Cg<sub>1</sub> 20-65; 2Cg<sub>3</sub> 90-130); CAL-3: Caldeirão (Ag 0-13; Cg<sub>3</sub> 52-85): Vm: vermiculita; Mt: montmorilonita; Il: ilita; Ct: caulinita; e Qz: quartzo.**

### LITERATURA CITADA

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SA. 20 Manaus: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1978. 628p. (Levantamento de Recursos Naturais, 18)

BISPO, F.H.A.; SILVA, A.C. & TORRADO, P. V. High lands of the upper Jequitinhonha Valley, Brazil. I - Characterization and classification. R. Bras. Ci. Solo, 35:1069-1080, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

- FALESI, I.C. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia brasileira. In: SIMPOSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., Belém, 1986. Anais... Belém, 1986. p.168-191.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC. Levantamento de reconhecimento de solos e aptidão agrícola em áreas abrangidas pelo PDRI - AM: Município de Manacapuru. Belo Horizonte, 1986. 185p.
- GAILLARD, J.; DUPRÉ, B.; ALLÈGRE, C.J. & NÉGREL, P. Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin. *Chem. Geol.*, 142:141-173, 1997.
- GUIMARÃES, S.T. Caracterização e classificação de Gleissolos da várzea do rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas. Manaus, Universidade Federal do Amazonas, 2010. 75p. (Dissertação de Mestrado)
- GUYOT, J.L.; JOUANNEAU, J.M.; SOARES, L.; BOAVENTURA, G.R.; MAILLET, N. & LAGANE, C. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. *Catena*, 71: 340-356, 2007.
- HORBE, A.M.C.; PAIVA, M.R.P.; MOTTA, M.B. & HORBE, M.A. Mineralogia e geoquímica dos perfis sobre sedimentos neógenos e quaternários da bacia do Solimões na região de Coari AM. *Acta Amaz.*, 37:81-90, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manual técnico de pedologia. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 300p.
- IRIONDO, M.H. Geomorfologia da planície Amazônica. In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, 4, 1982, Rio de Janeiro. Atas... Rio de Janeiro: SBG/SE, 1982. p.323-48.
- LIMA, H.N. Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 176p. (Tese de Doutorado)
- LIMA, H.N.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER C.E.G.R.; KER, J.C. & LIMA, A.M.N. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:59-68, 2006.
- LIMA, H.N.; TEIXEIRA, W.G. & SOUZA, K.W. Os solos da paisagem da várzea com ênfase no trecho entre Coari e Manaus. In: FRAXE, T.J.P.; PEREIRA, H.S. & WITKOSKI, A.C., orgs. Comunidades ribeirinhas amazônicas: Modos de vida e uso dos recursos naturais. Manaus, Universidade Federal do Amazonas, 2007. p.35-52.
- MACEDO, R.S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) em área de várzea do rio Solimões, AM. Manaus, Universidade Federal do Amazonas, 2009. 73p. (Dissertação de Mestrado)
- MUNSELL COLOR COMPANY. Munsell soil color charts. Rewashable Edition. Gretag Macbeth, 617 New Windsor, Little Britain Road, NY12533, 2000.
- QUEIROZ, M.M.A.; HORBE, A.M.C.; SEYLER, P. & MOURA, C.A.V. Hidroquímica do rio Solimões na região entre Manacapuru e Alvarães -Amazonas - Brasil. *Acta Amaz.*, 39:941-950, 2009.
- RODRIGUES, T.E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG, SBCS/UFV/BDPS, 1996. p.19-60.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.
- SILVA, F.W.R. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos da Amazônia (Terras Pretas de Índio) entre Coari-Manaus-AM. Manaus, Universidade Federal do Amazonas, 2008. (Dissertação de Mestrado)
- SILVA, F.W.R.; LIMA, H.N.; TEIXEIRA, W.G.; MOTTA, M.B. & SANTANA, R.M. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (Terra Pretas de Índio) na Amazônia Central. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:673-681, 2011.
- SCCLAT - Sistema Computadorizado de Classificação Textural dos Solos, versão Beta. LAMIM, A.S. LAGESOLOS - Laboratório de Geomorfologia Experimental e Erosão dos Solos: UFRJ, 1997.
- TEIXEIRA, W.G.; CRUZ, M.E.G.; LIMA, H.N.; CORREIA, M.R.D. & SOARES, C.B. Mapa de Solos do Município de Iranduba (Escala 1: 200.000). In: Mapas Pedológicos de Municípios do Médio Solimões: Área de Estudo do Piatam-Embrapa, UFAM, SIPAM. Manaus, EDUA, 2007.
- TOMÉ JÚNIOR, J.B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba, Agropecuária, 1997. 247p.
- UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. Soil survey laboratory methods manual. Version 3.0, 1996. 693p. (Soil Survey Investigations Report, 42)
- WHITTIG, L.D. & ALLARDICE, W.R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. Madison, American Society of Agronomy, 1986. Part 1. p.331-362.