

**PROPRIEDADE DE UM GLEISSOLO
HÁPLICO SÓDICO TÍPICO A MODERADO
TEXTURA MUITO ARGILOSA DE
VÁRZEA DO RIO CAETÉ, NO MUNICÍPIO
DE BRAGANÇA-PA, SOB INUNDAÇÃO**

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente

Fernando Henrique Cardoso

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO

Ministro

Marcus Vinícius Pratini de Moraes

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

Presidente

Alberto Duque Portugal

Diretores

**Dante Daniel Giacomelli Scolari
Elza Ângela Battaggia Brito da Cunha
José Roberto Rodrigues Peres**

Chefia da Embrapa Amazônia Oriental

**Emanuel Adilson Souza Serrão - Chefe Geral
Jorge Alberto Gazel Yared - Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento
Antonio Carlos Paula Neves da Rocha - Chefe Adjunto de Comunicação, Negócios e Apoio
Antonio Ronaldo Teixeira Jatene - Chefe Adjunto de Administração**

**PROPRIEDADES DE UM GLEISSOLO
HÁPLICO SÓDICO TÍPICO A MODERADO
TEXTURA MUITO ARGILOSA DE VÁRZEA
DO RIO CAETÉ, NO MUNICÍPIO DE
BRAGANÇA-PA, SOB INUNDAÇÃO**

Waldemar de Almeida Ferreira
Sônia Maria Botelho

Embrapa

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Amazônia Oriental

Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/n

Telefones: (91) 276-6653, 276-6333

Fax: (91) 276-9845

e-mail: cpatu@cpatu.embrapa.br

Caixa Postal, 48

66095-100 – Belém, PA

Tiragem: 200 exemplares

Comitê de Publicações

Leopoldo Brito Teixeira – Presidente

Antonio de Brito Silva

Antonio Pedro da S. Souza Filho

Exedito Ubirajara Peixoto Galvão

Joaquim Ivanir Gomes

Maria do Socorro Padilha de Oliveira

Maria de N. M. dos Santos – Secretária Executiva

Revisores Técnicos

Carlos Alberto Costa Veloso – Embrapa Amazônia Oriental

Emmanuel de Souza Cruz – Embrapa Amazônia Oriental

João Elias Lopes F. Rodrigues – Embrapa Amazônia Oriental

Expediente

Coordenação Editorial: Leopoldo Brito Teixeira

Normalização: Sílvia Leopoldo Lima Costa

Revisão Gramatical: Maria de Nazaré Magalhães dos Santos

Antonio Ronaldo Camacho Baena (texto em Inglês)

Composição: Euclides Pereira dos Santos Filho

FERREIRA, W. de A.; BOTELHO, S.M. Propriedades de um gleissolo háplico sódico tipo A moderado textura muito argilosa de várzea do rio Caeté, no município de Bragança-PA, sob inundação. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 27p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 22).

ISSN 1517-2228

1. Solo inundado. 2. Propriedade físico-química do solo – Brasil – Pará – Bragança. 3. Gleissolo. 4. Solo de várzea. 5. Várzea do rio Caeté. I. Botelho, S.M., colab. II. Embrapa. Centro de Pesquisa Agroflorestral da Amazônia Oriental (Belém, PA). III. Título. IV. Série.

CDD: 631.41

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	6
MATERIAL E MÉTODOS.....	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
CONCLUSÃO.....	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

PROPRIEDADES DE UM GLEISSOLO HÁPLICO SÓDICO TÍPICO A MODERADO TEXTURA MUITO ARGILOSA DE VÁRZEA DO RIO CAETÉ, NO MUNICÍPIO DE BRAGANÇA, PA, SOB INUNDAÇÃO

Waldemar de Almeida Ferreira¹
Sonia Maria Botelho²

RESUMO: Estudou-se, durante 72 dias, em laboratório, o efeito da inundação sobre as propriedades de solo de várzea do rio Caeté, no município de Bragança, Estado do Pará, com o objetivo de verificar as mudanças químicas provocadas pelo alagamento nesse tipo de solo. A inundação, logo no primeiro dia, causou aumentos nos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, cobre, ferro, manganês e zinco, e no valor do pH do solo. No decorrer do tempo de submersão, observaram-se decréscimos no potencial redox e no teor de sódio que, no solo seco, era relativamente alto. Os nutrientes que sofreram maiores variações em seus teores foram aqueles envolvidos em reações de oxirredução. Com esses resultados, pode ser observado que a secagem dos solos de várzea, para análise, não reproduz as características químicas e eletroquímicas dos mesmos, em condições de campo.

Termos para indexação: solo, química do solo, várzea, química aquática, fertilidade do solo.

¹Quím. -Ind., M.Sc., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Caixa Postal 48, CEP 66095-100, Belém, PA.

²Eng.-Agr., M.Sc., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental.

ESTUDY OF GLEYSOL HAPLIC SODIC TIPIC MODERATED A CLAY TEXTURE PROPERTIES OF SUBMERGED SOIL OF CAETÉ RIVER IN BRAGANÇA/PA UNDER FLOODING

ABSTRACT: During seventy two days, in the laboratory, the flooding effect on soil properties were studied for soils of the floodlands of Caeté river, in the county of Bragança, Pará State, Brazil, to verifie the chemicals variations caused by flooding. Flooding on the first day increased phosphorus, potassium, calcium, magnesium, aluminium, iron, manganese, copper, zinc and pH. During all the flooding time, a decrease occured on the redox potencial and on the sodium level, that was relatively elevated in the dry soil. The larger variations in nutrients levels was observed on nutrients presents in oxiredution reactions. It was observed that drying submerged soils analysis, does not reproduce its chemical and eletrochemical characteristics under field conditions.

Index terms: soil, soil chemistry, flood plains, water chemistry, soil fertility.

INTRODUÇÃO

Na região do estuário amazônico existem, aproximadamente, três milhões de hectares de áreas de várzea que, na maioria, apresentam solos com média a alta fertilidade e teores de cálcio e magnésio relativamente elevados (Falesi et al. 1972). Segundo Falesi et al. (1967) e Lima (1956), essa fertilidade é proporcionada pela deposição de sedimentos orgânicos e minerais em suspensão, carreados pelas inundações periódicas das águas barrentas do rio Amazonas e de seus afluentes

Esses solos apresentam boas características químicas, entretanto, suas propriedades físicas são consideradas desfavoráveis para a maioria das culturas tradicionais, por serem mal a imperfeitamente drenados, com lençol freático muito superficial (Falesi de al. 1967).

Mesmo ocorrendo em uma grande área da Amazônia, ainda são poucas as pesquisas realizadas nas várzeas dessa região para permitir que, além da agricultura de subsistência na qual hoje é praticada, sejam desenvolvidos projetos visando uma agricultura racional, para produção de grãos, para abastecer tanto a Região Norte, como outras regiões do Brasil.

São raras, também, as informações sobre a qualidade da água dos rios da Amazônia e sua influência sobre as propriedades ou características físicas, químicas e físico-químicas desses solos, embora Lima (1956), Sioli (1951) e Sioli (1960) já afirmassem que a água exerce influência nos solos, tanto devido à inundação, como pela diferença de cota nos níveis do lençol freático.

De acordo com Sioli (1951), os rios da região amazônica são divididos em três grupos, conforme a coloração de suas águas: rios de "água branca", que possuem água turva, barrenta ou amarela; rios de "água limpa", que possuem águas transparentes, de cor verde-amarelo até verde-escuro; e rios de "água preta", que possuem águas transparentes, de cor variando do verde-oliva até marrom-escuro e marrom-avermelhado. O rio Caeté é classificado como rio de "água branca.

Um solo inundado, portanto, alagado até o estado de saturação, possui um ambiente caracterizado por decréscimos na concentração de oxigênio molecular que pode, em poucos dias, tornar-se nulo, porque a taxa de difusão do oxigênio, na água, é dez mil vezes menor do que no ar (Howeler, 1973). Isto permite que as bactérias aeróbicas absorvam todo o O_2 existente no solo para, em seguida, morrerem e cederem seus lugares às bactérias anaeróbicas e anaeróbicas facultativas. Estas tendem a substituir o oxigênio molecular por outras fontes orgânicas e inorgânicas, oxidadas no solo. Ponnampertuma (1972) explica que essa reação de redução que se verifica no solo, torna solúveis alguns elementos, como o ferro e o manganês, os quais, às vezes atingem níveis tão elevados, que podem se tornar tóxicos para as plantas e causar variações nas propriedades do solo.

A química dos solos submersos ou química aquática é de interesse científico e ecológico. Em termos científicos, está relacionada com a sua aplicação em geoquímica, pedologia, agricultura, liminologia, oceanografia e poluição. O interesse ecológico está relacionado à qualidade da água, que é utilizada tanto para consumo humano, como para a sobrevivência dos animais e plantas aquáticos, devendo ser conservada.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de contribuir para o entendimento das transformações observadas nas propriedades de solos de várzea, do rio Caeté, sob inundação.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas 20 amostras superficiais, na profundidade de 0-20 cm, de solo da várzea do rio Caeté, no município de Bragança, PA. O solo é classificado como Gleissolo Háptico Sódico típico, A moderado, textura muito argilosa.

As coletas foram efetuadas utilizando-se uma espátula de madeira especialmente confeccionada para esta finalidade. As amostras simples foram misturadas, acondicionadas em sacos de polietileno com capacidade para 40 kg e conduzidas ao laboratório. Após, foram secadas ao ar, destorroadas com rolo de madeira e passadas em peneira de plástico de 2 mm de abertura de malha.

Depois de secadas, as amostras de solo foram colocadas em caixas de isopor com capacidade para três litros, com quatro repetições, e inundadas com água deionizada até obter-se uma lâmina d'água com três centímetros de altura.

Para a medição do potencial redox foi introduzido, em cada caixa, antes da inundação, um eletrodo de platina e outro de calomelano, que permaneceram até o término das avaliações.

O valor do pH foi medido na própria caixa, minutos antes da coleta das amostras para análise, inserindo-se no solo um eletrodo combinado de vidro e calomelano. As amostras de cada caixa, para análise química, foram coletadas com um "trado" adaptado de uma seringa hipodérmica da qual foi retirado o fundo do cilindro externo.

Após cada coleta, o excesso de água foi eliminado utilizando-se papel absorvente. Uma parte da amostra foi seca em estufa a 105°C, para determinação do fator de umidade.

As amostras dos solos inundados foram analisadas úmidas e os resultados corrigidos para terra fina seca em estufa.

O fósforo, o potássio e o sódio foram extraídos com o extrator de Mehlich e dosados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente (Embrapa, 1997).

O cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco solúveis foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica, sendo o cálcio e magnésio extraídos com solução 1 N de cloreto de potássio e os demais com solução 0,1 N de ácido clorídrico.

O nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl, enquanto o carbono orgânico foi extraído com solução, pela ação oxidante do dicromato de potássio em meio ácido e dosado por titulação com solução 0,1 N de sulfato ferroso amoniacal (Walkley & Black, 1934).

Os teores totais de cobre, ferro, manganês e zinco foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica no extrato nítrico perclórico.

A análise granulométrica e a determinação do valor do pH foram efetuadas segundo a metodologia da Embrapa (1997).

O ferro livre (Fe_d) foi extraído pelo citrato-ditionito-bicarbonato (CDB), de acordo com Jackson (1969).

A soma de bases (S), capacidade de troca de cátions efetiva (T), percentagem de saturação de bases e percentagem de saturação de alumínio foram calculadas de acordo com o manual de métodos da Embrapa (1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização física e química do Gleissolo utilizado no estudo estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

TABELA 1. Caracterização física do Gleissolo háplico sódico coletado na várzea do rio Caeté, no município de Bragança, PA.

Análise granulométrica (g . kg ⁻¹)				
Areia	Limo	Argila		Grau de floculação
		Total	Natural	
0	380	620	420	320

Na Tabela 3 estão apresentados os teores totais e solúveis de cobre, ferro, manganês e zinco do solo de várzea do rio Caeté, no município de Bragança, antes da inundação.

Estes resultados são considerados elevados quando comparados com a maioria dos solos da região, principalmente com relação aos teores de cobre e de zinco (Singh, 1984).

TABELA 2. Caracterização química do Gleissolo háplico sódico coletado na várzea do rio Caeté, no município de Bragança, PA.

		Características químicas															
		mg.kg ⁻¹ ----- mmole . kg ⁻¹ -----															
→		pH	P	K	Ca	Mg	Na	H	Al	S	T	V	Sat. Na	C	M.O	N	C / N
	H ₂ O	KCl															
		4,6	4,9	9,6	60,8	105,5	124,1	69,0	5,3	300,0	374,3	1,4	33,2	28,0	48,1	2,2	33,2

TABELA 3. Teores de cobre, ferro, manganês e zinco (mg.kg^{-1}) de amostras de solo, coletadas na profundidade de 0-20 cm, na várzea do rio Caeté, no município de Bragança, PA.

Cu		Fe		Mn		Zn	
Total	Solúvel	Total	Solúvel	Total	Solúvel	Total	Solúvel
7,12	0,25	74.298,0	59,70	78,30	22,61	31,50	2,25

Comparando-se com o solo da várzea do rio Guamá, em Belém e em Santa Isabel (Ferreira et al. 1998), os teores de ferro, manganês e zinco totais são maiores que os de Belém e menores que os de Santa Isabel, enquanto o de cobre total é mais baixo. Esse comportamento é semelhante no que se refere aos teores solúveis, com exceção do ferro, cujo teor na várzea do rio Caeté é menor que na do rio Guamá, nesses dois municípios.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das análises químicas do solo coletado na várzea do rio Caeté, em Bragança, após a inundação. Estes resultados, quando comparados com os do solo antes da inundação (Tabelas 2 e 3), mostram que esta, logo no primeiro dia, causou aumentos nos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, ferro, zinco, manganês e cobre, e nos valores de pH. A única exceção foi o sódio, que no solo seco apresentou um teor relativamente alto ($124,1 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$) e, logo no primeiro dia, já caiu para $56,6 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$.

TABELA 4. Variação dos teores de macro e de micronutrientes, pH e Eh do solo de várzea do rio Caeté, com o tempo de inundação, no município de Bragança, PA.

Tempo de Inundação (dias)	mg.kg ⁻¹ ----- mmol.dm ³ ----- mg.kg ⁻¹ -----										pH	Eh
	P	K	Ca	Mg	Na	Al	Cu	Fe	Mn	Zn		
1	39,63	15,7	66,5	151,8	56,6	10,6	0,62	173,44	27,97	3,89	6,23	+ 290
2	31,51	15,6	68,8	149,9	54,9	9,0	0,84	317,64	29,57	4,84	5,80	+ 220
3	42,75	13,6	67,6	149,7	62,2	7,2	0,96	409,30	28,61	4,27	6,13	+ 160
4	50,27	15,1	68,0	151,9	6,7	7,6	1,51	607,15	31,41	4,75	6,37	+ 140
5	55,06	13,9	71,7	151,4	50,9	16,2	1,45	633,93	30,14	4,82	6,67	+ 70
6	67,74	14,3	76,2	157,3	66,3	11,8	1,52	740,72	31,15	6,17	6,73	+ 60
7	85,97	2,9	---	---	107,4	7,7	1,22	703,70	30,45	4,62	6,80	+ 60
8	88,48	7,7	51,9	119,3	10,6	16,3	1,15	871,34	34,23	4,59	6,73	+ 45
9	82,35	6,0	64,6	144,4	109,1	8,7	0,82	800,23	31,30	4,19	6,93	+ 20
14	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	6,97	+ 20
19	154,57	18,8	47,9	157,3	7,7	5,9	0,28	2481,61	32,26	4,36	6,97	+ 30
27	186,82	16,4	35,6	159,1	67,7	8,0	0,62	3366,34	36,96	6,48	---	+ 120
36	174,97	16,3	39,4	165,2	54,1	---	0,69	1943,07	32,94	5,41	6,83	- 450
45	164,99	15,1	56,9	156,2	50,0	---	0,49	1741,02	29,74	5,24	6,93	- 600
54	218,10	18,0	42,6	149,3	77,5	---	---	---	26,12	---	---	---

Na Fig.1 e Tabela 4 são mostradas as variações dos teores de fósforo no solo de várzea, com o tempo de inundação. Estes resultados, quando comparados com o teor antes da inundação, indicam aumentos da ordem de 44,5 vezes. Observa-se que a solubilidade do fósforo no solo aumentou desde o primeiro dia, quando passou para $39,63 \text{ mg.kg}^{-3}$. Nos nove primeiros dias, houve um aumento gradativo, até que no 19º dia ocorreu uma abrupta elevação do teor de fósforo, quando este passou para $154,57 \text{ mg.kg}^{-1}$, permanecendo próximo desse valor até o 54º dia, quando sofreu novo aumento, passando para $218,10 \text{ mg.kg}^{-1}$. No 72º dia de inundação observou-se um ligeiro decréscimo ($188,89 \text{ mg.kg}^{-1}$) ficando, porém muito acima do teor do elemento, determinado no solo seco.

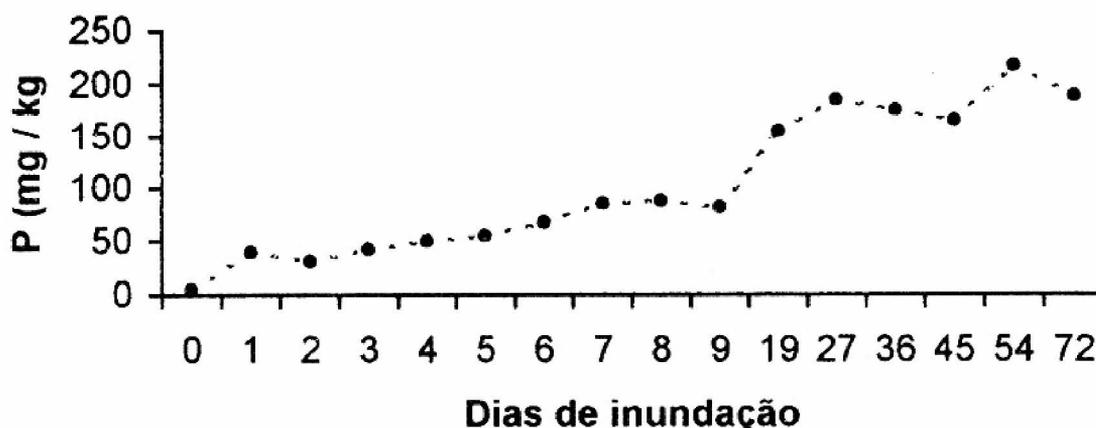


FIG. 1. Variação no teor de fósforo do solo de várzea do rio Caeté, em função do tempo de inundação.

Os aumentos ocorridos no teor de fósforo, provavelmente foram devido à liberação dos fosfatos de ferro e de alumínio. A inundação de solos ácidos pode causar aumentos nas concentrações de fósforo solúvel pela hidrólise dos fosfatos de ferro e de alumínio, pela liberação de fósforo ligado à argila e óxidos hidróxidos de Fe^{+++} e Al , e pela redução do Fe^{+++} para Fe^{++} , com liberação do fósforo sorvido ou ligado quimicamente. Ponnampertuma (1964) e Savant & Ellis (1964) atribuem o aumento da solubilidade de fósforo, tanto ao decréscimo no Eh, como ao aumento da concentração do Fe^{++} . Quando comparados com os valores do teor de

fósforo encontrados por Ferreira et al. (1998) no solo de várzea do rio Guamá, em Belém e em Santa Isabel, verifica-se que esses valores na várzea do rio Caeté são mais elevados, o que, provavelmente, está relacionado com o maior teor de ferro total existente (Tabela 3) e com a natureza eutrófica do solo desta várzea.

As variações nos teores de potássio, cálcio e magnésio do solo de várzea do rio Caeté, com a inundação, mostradas na Tabela 4, deveu-se em grande parte, ao deslocamento desses cátions, dos sítios de troca, pelas elevadas concentrações de ferro em solução.

Observa-se que o teor de potássio (Fig. 2) aumentou significativamente do primeiro ($15,7 \text{ mmolc} \cdot 1\text{kg}^{-1}$) ao sexto ($14,3 \text{ mmolc} \cdot 1\text{kg}^{-1}$) dias de inundação. No sétimo dia, ocorreu uma drástica redução, quando chegou a $2,9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, sofrendo redução de 69,8%, para retomar o crescimento, que continuou até o 72º dia, quando atingiu o valor de $19,1 \text{ mmolc} \cdot \text{dm}^{-3}$, que foi o maior teor de potássio encontrado nesse solo.

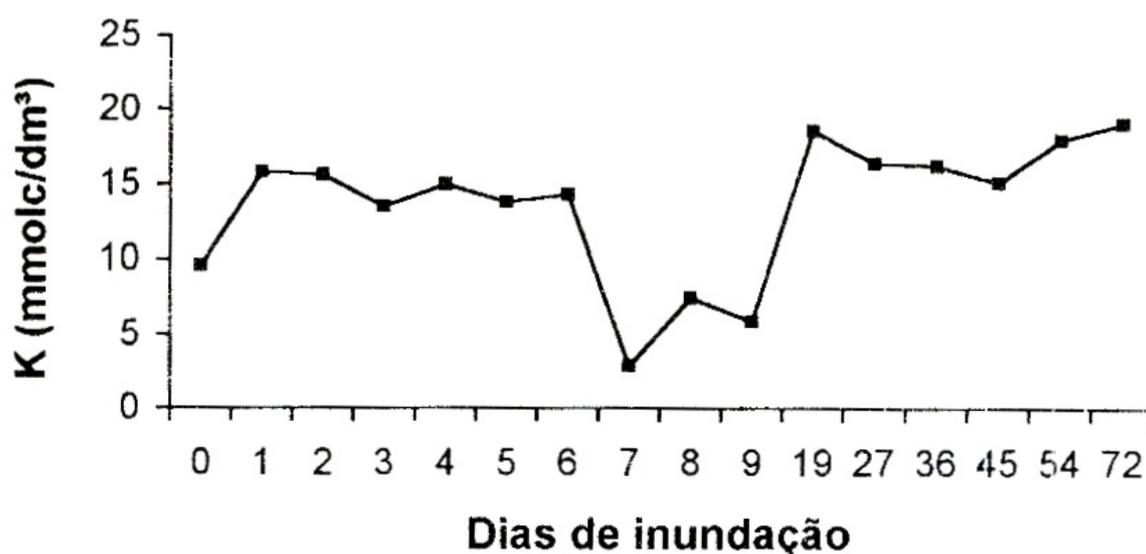


FIG. 2. Variação no teor de potássio do solo de várzea do rio Caeté, em função do tempo de inundação.

O teor de cálcio (Fig. 3) aumentou gradualmente com a inundação, do primeiro até o sexto dia, passando, respectivamente, de $66,5 \text{ mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ para $76,2 \text{ mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$. No oitavo, diminuiu para $51,9 \text{ mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$, valor este, abaixo daquele que foi obtido antes da inundação. No nono dia, sofreu um ligeiro acréscimo e, a partir do 19º dia, voltou a apresentar valores menores que o observado no solo seco ($60,8 \text{ mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$), até que no 72º dia, chegou a $77,7 \text{ mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Tabela 4).

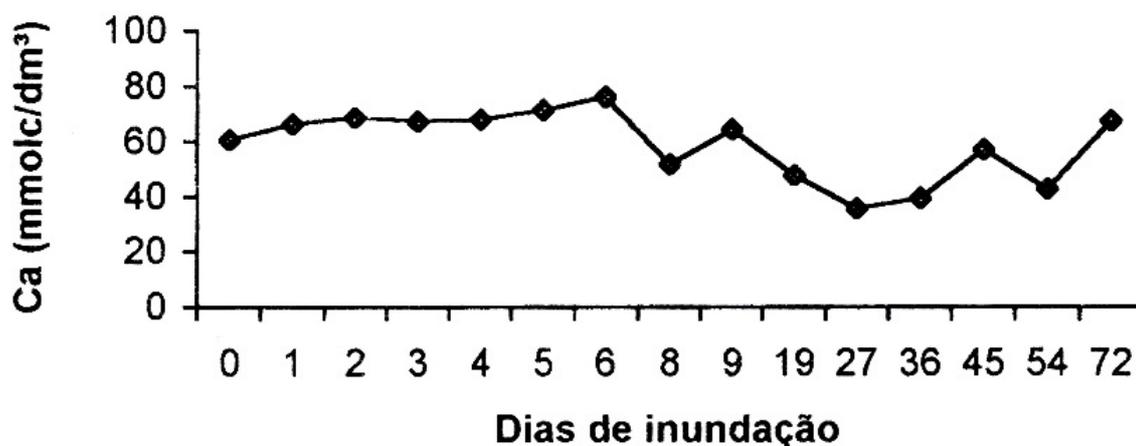


FIG. 3. Variação no teor de cálcio do solo da várzea do rio Caeté, em função do tempo de inundação.

O comportamento do magnésio (Fig. 4) foi semelhante, aumentando do primeiro ($151,8 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) ao sexto ($157,3 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) dia de inundação. No oitavo dia apresentou um ligeiro decréscimo, baixando para $119,3 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, para retomar sua elevação a partir do nono dia, continuando a aumentar até o 36º dia, quando atingiu o maior valor observado. Do 45º ao 72º dia, observou-se um pequeno decréscimo continuando, porém, acima do valor inicial ($105,5 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$), conforme os resultados analíticos antes da inundação (Tabelas 2 e a Tabela 4).

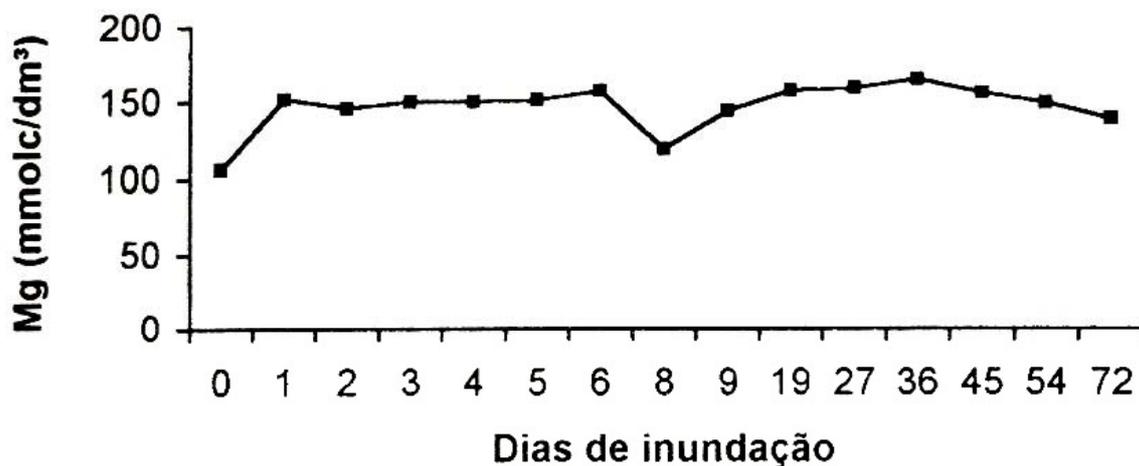


FIG. 4. Variação no teor de magnésio do solo de várzea do rio Caeté, em função do tempo de inundação.

É importante destacar que o teor de magnésio deste solo é cerca de duas vezes maior que o de cálcio e que essa relação foi mantida durante o tempo em que permaneceu inundado.

Como pode ser verificado na Fig. 5, o teor de alumínio no solo de várzea do rio Caeté aumentou gradualmente, com o tempo de inundação, até o oitavo dia, passando de $5,3 \text{ mmolc.dm}^{-3}$ no solo seco para $16,3 \text{ mmolc.lkg}^{-1}$, com oito dias depois de inundado. Do nono ao 27º dia, houve uma ligeira diminuição nos teores, possivelmente, pela precipitação do alumínio trocável, como hidróxido, porém, seus valores ainda foram superiores àquele determinado no solo seco, conforme pode ser observado nas Tabelas 2 e 4.

Na Fig. 6 estão representadas as variações ocorridas no teor de sódio, em função do tempo de inundação. O teor desse elemento que era relativamente elevado, antes da inundação, sofreu uma redução de 54,4% (Tabelas 2 e 4), no primeiro dia de inundação. No quarto dia, houve uma drástica diminuição no teor de sódio, de 94,6% para, novamente, aumentar a partir do quinto dia sem voltar, porém, ao valor inicial, obtido no solo seco. Essa diminuição do sódio, com o tempo de inundação, provavelmente esteja relacionada com o aumento da concentração do fósforo solúvel causada pela inundação do solo.



FIG. 5. Variação no teor de alumínio do solo do rio Caeté, em função do tempo de inundação.

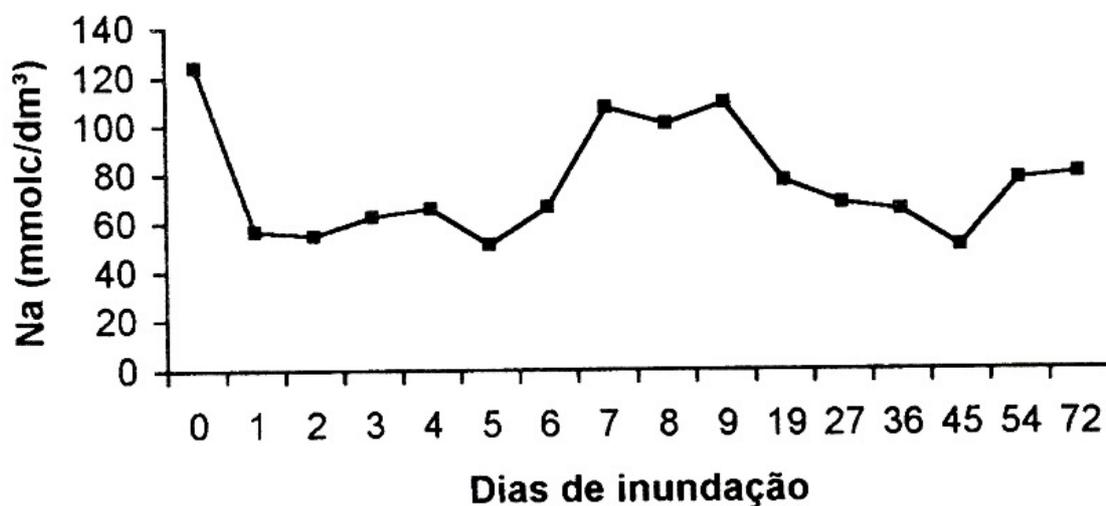


FIG. 6. Variação no teor de sódio do solo da várzea do rio Caeté, em função do tempo de inundação.

A inundação também causou aumentos nos valores do pH, do solo, conforme é mostrado na Fig. 7 e Tabela 4. Observou-se que o valor do pH variou de 4,6, no solo seco (Tabela 2) para 6,93, aos 45 dias de inundação. No entanto, logo no primeiro dia, o pH atingiu o valor de 6,23 e o maior valor medido (6,97) ocorreu aos 14 e 19 dias (Tabela 4) registrando, assim, o aumento de 2,37 unidades de pH, bastante próximo do valor de 2,3 unidades de pH, encontrado para o solo de várzea do rio Guamá, em Belém e em Santa Isabel, por Ferreira et al. (1998).

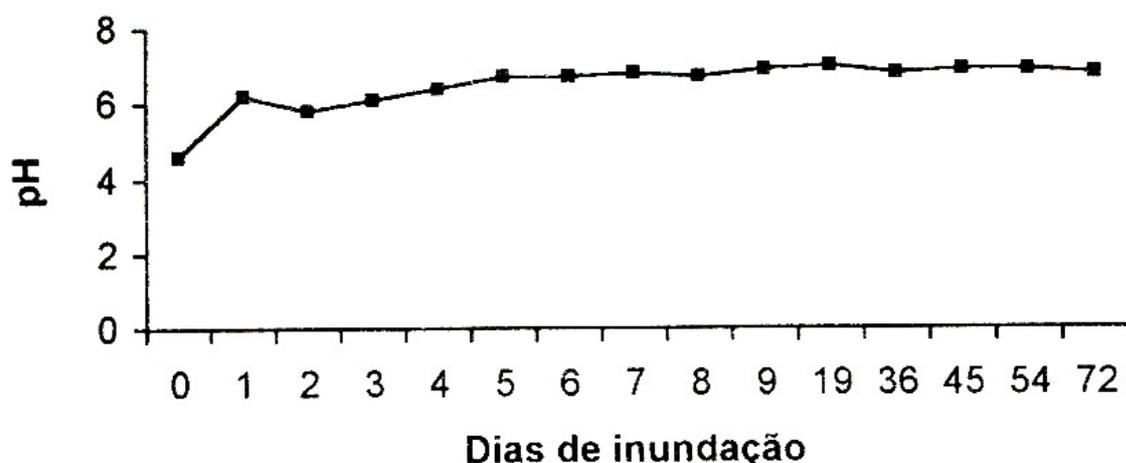


FIG. 7. Variação do pH do solo do de várzea rio Caeté, em função do tempo de inundação.

O aumento nos valores do pH desses solos, com o tempo de inundação, era esperado, por se tratar de um solo  cido (Ponnamperuma, 1972). Nestes solos onde os teores de óxidos hidratados de Fe^{+++} predominam sobre algum outro oxidante, o aumento no valor do pH, após a inundação, pode ter ocorrido devido à redução do Fe^{+++} , fato que havia sido observado em pesquisas realizadas por Ponnamperuma, (1972).

Para melhor explicar os aumentos nos valores do pH dos solos, deve-se lembrar que todas as reações de redução, que ocorrem na natureza, envolvem consumo de prótons (H^+) ou um aumento líquido na concentração de oxidrilas

(OH⁻), o que significa um decréscimo na acidez ou aumento de pH. Bostron (1967), citado por Ponnampereuma (1972) observou, no entanto, que o aumento de pH não é determinado apenas pelo número de H⁺ consumidos ou OH⁻ produzidos, mas sim pela razão entre H⁺ consumidos e OH⁻ produzidos.

As variações nos teores de manganês com o tempo de inundação são apresentados na Fig. 8. Conforme pode ser observado, os teores de manganês solúvel tendem a aumentar, com o tempo de inundação, embora tenha havido um ligeiro decréscimo a partir do 45º dia, quando atingiu o valor de 29,74 mg.kg⁻¹ que ficou, ainda, acima de 22,61 mg.kg⁻¹, obtidos no solo seco. Os resultados indicaram aumentos nos teores de manganês que variaram entre 15,52% e 63,47%, com relação ao solo sem inundação, tendo o menor aumento (26,12 mg.kg⁻¹) ocorrido no 72º dia e o maior (36,96 mg.kg⁻¹), no 27º dia.



FIG. 8. Variação no teor de manganês do solo da várzea do rio Caeté, em função do tempo de inundação.

O decréscimo no teor desse elemento, que ocorreu no solo após a quinta semana de inundação, provavelmente foi devido à precipitação do manganês como carbonato, e/ou à reoxidação do Mn⁺⁺ deslocado para a interface oxigenada do solo, conforme mencionado por Ponnampereuma (1972) e Ponnampereuma et al. (1969).

Quanto ao teor final alcançado após a estabilização, aos 72 dias, provavelmente, foi influenciado pelos teores de matéria orgânica e de manganês. Resultados semelhantes já haviam sido obtidos por Cho & Ponnampereuma (1971), trabalhando com solos ácidos com diferentes teores de matéria orgânica e de manganês e por Ferreira et al. (1998) para o solo de várzea do rio Guamá, em Belém e em Santa Isabel.

Os aumentos iniciais nos teores de cobre (Fig. 9) e de zinco (Fig. 10), após a inundação do solo, mostrados na Tabela 4, podem estar relacionados com a redução de óxidos hidróxidos de Fe^{+++} e Mn^{+++} e produção de agentes orgânicos complexantes. Por outro lado, o aumento no pH e a formação de sulfetos podem ter sido a causa do decréscimo da concentração do cobre, observada do nono ao 45º dia, após a inundação.

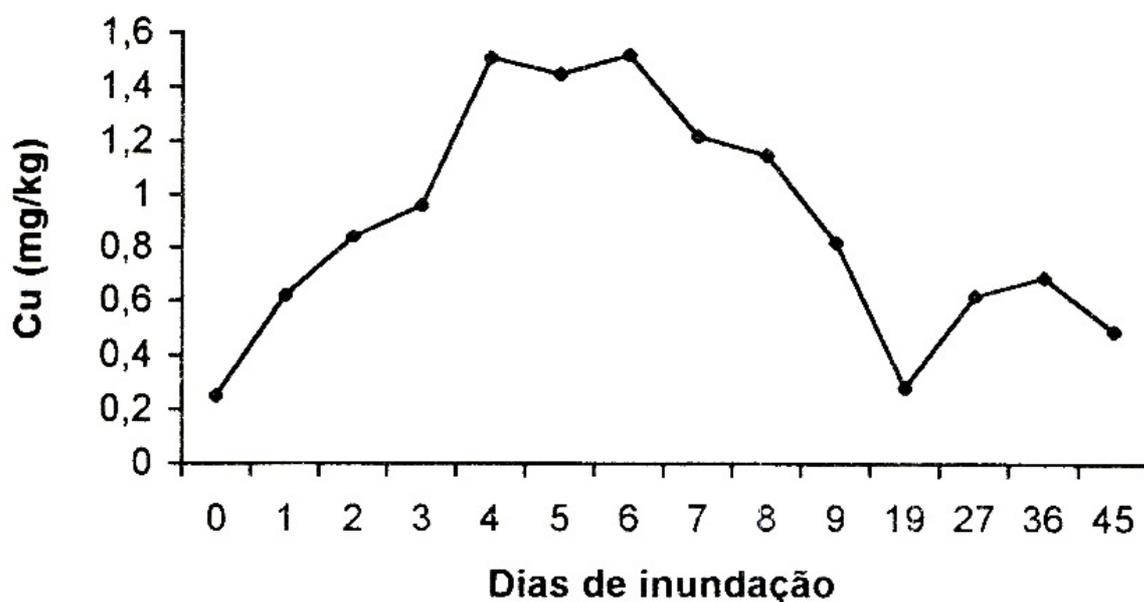


FIG. 9. Variação no teor de cobre do solo de várzea do rio Caeté, em função do tempo de inundação.

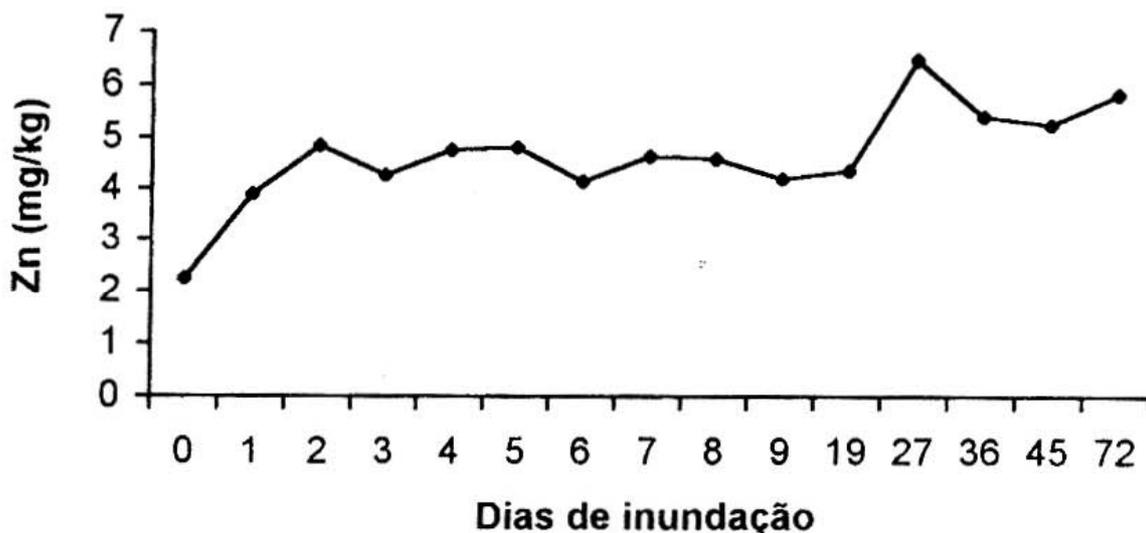


FIG. 10. Variação do teor de zinco do solo de várzea do rio Caeté, em função do tempo de inundação.

Os nutrientes que sofreram maiores variações em suas solubilidades, nos dois solos, foram aqueles envolvidos em reações de oxirredução, como o ferro e o manganês. A mudança na solubilidade do ferro é, provavelmente, a mais importante variação química que ocorre quando um solo é inundado e tem seu potencial de óxirredução diminuído.

O teor de ferro no solo de Bragança variou do mínimo de $173,44 \text{ mg.kg}^{-1}$ no primeiro dia, ao máximo de $3\ 366,34 \text{ mg.kg}^{-1}$, no 27º dia de inundação. Em seguida, esse valor decresceu para $1.943,07 \text{ mg/kg}^{-1}$ no 36º dia, $1.741,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ aos 54 dias e $1.594,32 \text{ mg.kg}^{-1}$ aos 72 dias de inundação, variações estas mostradas na Fig. 11. Estes resultados estão próximos aos encontrados por Ferreira et al. (1998) para a várzea do rio Guamá, em Belém e em Santa Isabel, e por Asami (1970) citado por Ponnampereuma (1972) ao observar que, cerca de 5% a 50% dos óxidos de ferro livre presentes no solo podem ser reduzidos em poucas semanas de submersão, dependendo da temperatura, conteúdo de matéria orgânica e cristalinidade dos óxidos. Quanto menor o grau de cristalinidade, maior a percentagem de redução.

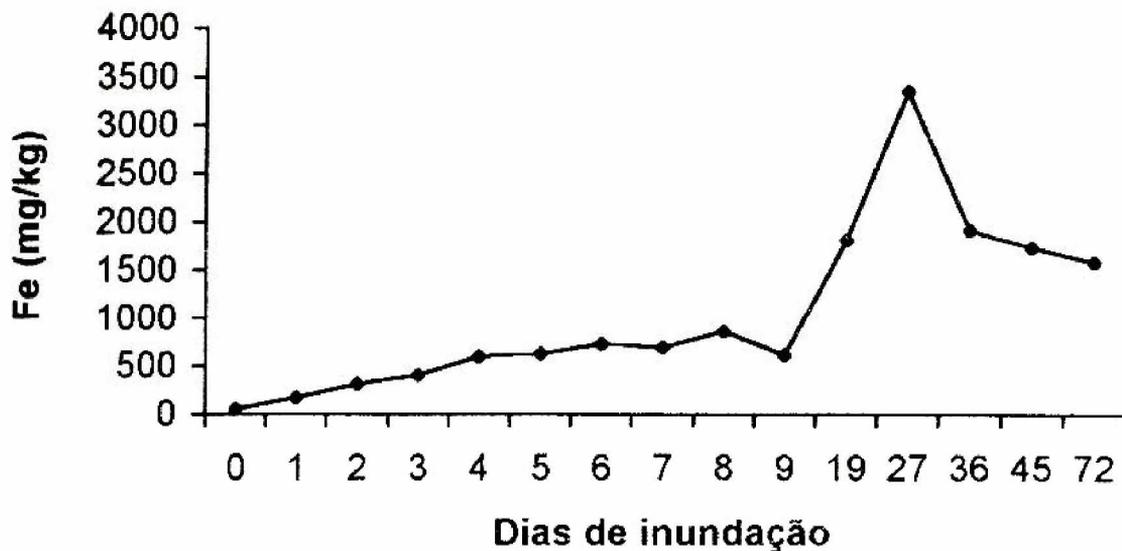


FIG. 11. Variação no teor de ferro do solo de várzea do rio Caeté, em função do tempo de inundação.

No entanto, os valores do Fe^{++} trocáveis e Fe^{++} solúveis em água devem ser vistos com cautela porque são altamente dependentes do pH, conforme pode ser observado na equação $pH + \text{Log } Fe^{+++} = 5,4$, e obedece ao equilíbrio $Fe_2O_4 = H_2O = Fe^{++} = (\text{argila})$ (Ponnamperuma, 1972).

A redução é uma consequência do metabolismo de bactérias anaeróbicas e parece ser, principalmente, uma redução química por metabolitos de bactérias (Bloomfield, 1951).

De todas as propriedades do solos, a mais indicada para distinguir um solo de terra firme, bem drenado, de um solo de várzea ou submetido à inundação, é o potencial redox (Eh).

Após a inundação, o solo mostrou um nítido decréscimo nos valores do potencial redox (Tabela 4). Os baixos valores, após a submersão, refletiram o estado reduzido do solo, ao passo que os valores iniciais elevados, são indicativos do meio aeróbico, ou do estado oxidado do solo (Sanchez, 1981).

No solo de Bragança o Eh variou de +290 mV, no primeiro dia de amostragem, a -450 mV no 36º dia e -600mV no 45º dia após a inundação. Este comportamento do Eh, com o tempo de inundação, provavelmente foi influenciado pelas propriedades do próprio solo (Ferreira et al. 1998).

O valor do Eh permaneceu positivo até o 27º dia e, finalmente, decresceu para -450 mV no 36º dia de medição. Estes valores positivos poderiam ser devidos a elevados teores de nitrato no solo, isto é, teores acima de 275 mg.kg⁻¹ de NO₃ (Ponnamperuma, 1965).

Uma possibilidade para explicar o comportamento do Eh deste solo com o tempo de inundação, pode estar relacionada com o seu baixo teor de Mn, pois solos com baixos teores deste elemento mantêm potenciais positivos por diversas semanas (Ponnamperuma et al., 1969; Ponnamperuma, 1964). Isto também ocorreu quando Ferreira et al. (1998) estudaram as variações nas propriedades do solo de várzea do rio Guamá, em Santa Isabel, que apresentou 54,0 mg.kg⁻¹ de Mn total, ao contrário dos resultados encontrados para o solo de várzea, deste mesmo rio em Belém, cujo teor total do elemento foi 493,0 mg.kg⁻¹, considerado elevado, e que mostrou rápida mudança nos valores de Eh.

CONCLUSÃO

Os nutrientes que sofreram maiores variações em seus teores foram aqueles envolvidos em reações de oxirredução.

A secagem de amostras para a análise dos solos de várzea estudados não reproduz as características químicas e eletroquímicas dos mesmos, em condições de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLOOMFIELD, C. Experiments on the mechanism of gley formation. **Soil Science**. Oxford, v.2, n.2, p.196-211, 1951.
- CHO, D.Y.; PONNAMPERUMA, F.N. Influence of soil temperature on the chemical kinetics of flooded soils and the growth of rice. **Soil Science**, v.112, n.3, p.184-194, 1971.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).
- FALESI, I.C. O estado atual de conhecimento sobre os solos da Amazônia brasileira. In: INSTITUTO DE PESQUISA E EXPERIMENTAÇÃO AGROPECUÁRIAS DO NORTE (Belém, PA). **Zoneamento agrícola da Amazônia: 1ª aproximação**. Belém, 1972. p.17-67 (IPEAN. Boletim técnico, 72).
- FALESI, I.C.; VIEIRA, L.S.; SANTOS, M.H.P. dos; OLIVEIRA FILHO, J.P.S. **Levantamento de reconhecimento dos solos da região Bragantina, Estado do Pará**. Belém: IPEAN, 1967. 63p. (IPEAN, Boletim Técnico, 47).
- FERREIRA, W, de A.; MODESTO JUNIOR., M. de S.; BOTELHO, S.M., MASCARENHAS, R.E.B. **Efeito da inundação sobre as propriedades químicas e eletroquímicas do solo de várzea do rio Guamá, nos municípios de Belém e Santa Isabel, PA**. Belém: Embrapa-CPATU. 1998. 29p. (Embrapa-CPATU. Boletim de Pesquisa, 207).
- HOWLER, R.H. **La química de suelos inundados**. Cali: CIAT, 1973. Mimeografado.

- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis: advanced course.** Madison: University of Wisconsin, Department of Soils, 1969, 991p.
- LIMA, R.R. **A agricultura nas várzeas do estuário do Amazonas.** Belém: IAN, 1956. 159p. (IAN. Boletim Técnico, 33).
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy.** New York, v.24, p.29-96, 1972.
- PONNAMPERUMA, F.N. Dynamic aspects of flooded soil. In: PONNAMPERUMA, F.N. The mineral nutrition of the rice plant. Baltimore: I. Hopkins, 1964. p.295-328.
- PONNAMPERUMA, F.N.; LOY, T.A.; TIANCO, E.M. Redox equilibria in flooded soils: II. The manganese oxide systems. **Soil Science.** v.108, p.48-57, 1969.
- SANCHEZ, P.A. Soil management in oxisol savannahs and utisol jungles of tropical South America. In: GREENLAND, D.J. ed. **Characterization of soils in relation to their classification and management for crop production: examples from some areas of the humid tropics: examples from some areas of the humid tropics.** Oxford: Clarendon, 1981. p.214-53.
- SAVANT, N.K.; ELLIS, JUNIOR. R. Changes in redox potencial and phosphorus availability in submerged soil. **Soil Science,** v.98, n.6, p.388-394, 1964.
- SINGH, R. **Disponibilidade de micronutrientes em classes dominantes de solos do Trópico Úmido Brasileiro. 1. Zinco.** Belém: Embrapa-CPATU, 1984. 43p. (Embrapa-CPATU. Boletim Técnico, 55).
- SIOLI, H. **Alguns resultados e problemas da limnologia Amazônica.** Belém: IAN, 1951. p.3-44. (IAN. Boletim Técnico, 24).

SIOLI, H. **Pesquisas limnológicas na região da estrada de ferro de Bragança, Estado do Pará, Brasil.** Belém: IAN, 1960, 91p. (IAN. Boletim Técnico, 37).

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of Degtjareff method for determination soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science.**, v.37, p.29-38, 1934.