

Número, 21

Dezembro,1999

# EFEITO DA INUNDAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES DE UM GLEISSOLO SÁLICO SÓDICO DE VÁRZEA DO RIO DOS MORCEGOS, NO MUNICÍPIO DE PRIMAVERA, PA



## 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

# EFEITO DA INUNDAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES DE UM GLEISSOLO SÁLICO SÓDICO DE VÁRZEA DO RIO DOS MORCEGOS, NO MUNICÍPIO DE PRIMAVERA, PA

Waldemar de Almeida Ferreira Sônia Maria Botelho



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 Expedito 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 Ilton Moraes - FCAP

João Elias Lopes F. Rodrigues - Embrapa Amazônia Oriental Raimundo Freire de Oliveira - Embrapa Amazônia Oriental

### Expediente

Coordenação Editorial: Leopoldo Brito Teixeira Normalização: Silvio 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. Efeito da inundação sobre as propriedades de um gleissolo sálico sódico de várzea do rio dos Morcegos, no município de Primavera, PA. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 24p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 21).

ISSN 1517-2228

1. Solo inundado. 2. Gleissolo - Efeito da inundação. 3. Propriedades física e química do solo - Brasil - Pará - Primavera. 4. Várzea do rio dos Morcegos. I. Botelho, S.M., colab. II. Embrapa. Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental (Belém, PA). III. Título. IV. Série.

CDD: 631.41098115

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	6
MATERIAL E MÉTODOS	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

# EFEITO DA INUNDAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES DE UM GLEISSOLO SÁLICO SÓDICO DE VÁRZEA DO RIO DOS MORCEGOS, NO MUNICÍPIO DE PRIMAVERA, PA

Waldemar de Almeida Ferreira<sup>1</sup> Sonia Maria Botelho<sup>2</sup>

RESUMO: Estudou-se, durante 72 dias, em laboratório, o efeito da inundação sobre as propriedades do solo da várzea do rio dos Morcegos, no município de Primavera, na região litorânea do Estado do Pará. O solo, antes dos tratamentos, apresentou características químicas que permitem enquadrálo como Gleissolo sódico sálico típico A moderado textura muito argilosa. As caraterísticas salinas deste solo e seus elevados teores de sódio exigiram que as amostras fossem submetidas a um processo de dessalgamento, antes de serem analisadas, para a caracterização química do mesmo, para evitar que o teor de sódio trocável, da soma de bases (S) e da CTC fossem superestimados pela contribuição do excesso de sódio. A inundação causou aumentos nos teores de cálcio, cobre, manganês, ferro, fósforo, magnésio, potássio e alumínio e decréscimo no valor do potencial redox (Eh) do solo.

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

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Quím.-Ind., M.Sc., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Caixa Postal 48, CEP 66017-970, Belém, PA.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Eng.-Agr., M.Sc., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental.

# PROPERTIES OF SUBMERGED SOIL OF BAT RIVER IN PRIMAVERA, PA

ABSTRACT: During seventy two days, in the laboratory, the flooding effect on soil properties were studied for soils of the floodlands of Bat river, in the counties of Primavera, State of Pará, Brazil. Flooding increased phosphorus, aluminium, iron, manganese, copper, sodium, potassium, calcium, magnesium, aluminium contents and pH and decreased the redox potencial.

Index terms: soil, soil chemistry, flood plain, water chemistry, soil fertility, salinity.

# INTRODUÇÃO

Estima-se que na região do estuário amazônico existam cerca de 3.000.000 hectares de várzeas, que, em sua maioria, possuem solos de média a alta fertilidade e apresentam teores de cálcio e magnésio relativamente elevados (Falesi, 1972). Essa fertilidade é proporcionada pela deposição de sedimentos orgânico-minerais em suspensão, carreados através de inundações periódicas das águas barrentas do rio amazonas e seus afluentes (Lima, 1956; Falesi et al., 1967).

Em que pese suas características químicas, esses solos apresentam propriedades físicas desfavoráveis para a maioria das culturas tradicionais, por serem mal a imperfeitamente drenados, apresentando lençol freático alto. Entretanto, são poucas as pesquisas realizadas nas várzeas amazônicas que possam permitir que, além da agricultura de subsistência nela praticada, projetos visando uma agricultura racional, para produção de grãos, sejam desenvolvidas, para abastecer tanto a Região Norte, quanto outras regiões do país.

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

Sioli (1951) dividiu os rios da região em três grupos: 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; rios de
"água preta", que possuem águas transparentes, de cor variando do verde-oliva até marrom-escuro e marromavermelhado. O rio dos Morcegos é classificado como "rio
de água branca", carregando nas suas águas, elevada quantidade de materiais em suspensão.

A inundação de um solo ou seu alagamento, até a saturação, cria um ambiente caracterizado por decréscimos na concentração de oxigênio molecular que pode, em poucos dias, tornar-se nula. Isto ocorre porque a taxa de difusão do oxigênio, na água, é dez mil vezes menor do que no ar (Howeler, 1973), o que permite que as bactérias aeróbicas absorvam todo o O2 existente no solo para, em seguida, morrer e ceder seu lugar às bactérias anaeróbicas e anaeróbicas facultativas. Estas tendem a substituir o oxigênio molecular por outras fontes orgânicas e inorgânicas, oxidadas no solo. Ponnamperuma (1972) explica que essa redução do solo solubiliza alguns elementos, como o ferro e o manganês que, às vezes, atingem níveis tão elevados podendo causar toxidez às plantas e variações nas propriedades do solo. O trabalho foi desenvolvido visando contribuir para o entendimento das transformações nas características dos solos de várzeas causadas pela inundação e avaliar o erro causado pelos métodos tradicionais de análise sobre os resultados de solos salinos, particularmente, sobre o teor de sódio trocável e capacidade de troca de cátions.

# MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas 20 amostras superficiais, na profundidade de 0-20 cm, de solo da várzea do rio dos Morcegos, no município de Primavera. O solo é classificado como Gleissolo sálico sódico típico, A moderado, textura muito argilosa.

As coletas foram feitas com auxílio de uma espátula de madeira, especialmente confeccionada para este fim (Ferreira et al. 1998). As amostras simples foram misturadas, acondicionadas em sacos de polietileno de 40 kg e, em seguida, conduzidas para o laboratório. Após, foram secas ao ar, destorroadas com rolo de madeira e passadas em peneira de plástico de 2 mm de abertura de malha.

Depois de peneiradas foram transferidas para caixas de isopor com capacidade para três litros, com quatro repetições, e inundadas com água deionizada até obter-se uma lâmina d'água de três centímetros de altura (Ferreira et al. 1998).

Antes da inundação, para a medição do potencial redox, foi introduzido, em cada caixa, um eletrodo de platina e outro de calomelano, que permaneceram até o final das avaliações (Ferreira et al. 1998).

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 retiradas com um "trado" adaptado de uma seringa de 20 ml de capacidade, da qual foi retirado o fundo do cilindro externo, conforme é mostrado por Ferreira et al. (1998).

Após cada coleta, eliminou-se o excesso de água com o auxílio de papel absorvente. Uma parte da amostra foi secada em estufa a 105°C, para determinação do fator de umidade. As amostras dos solos foram analisadas úmidas e os resultados corrigidos para terra fina seca em estufa.

O fósforo, potássio e o sódio, foram extraídos com extrator de Mehlich e dosados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente (Embrapa, 1997). Além da extração do sódio trocável pelo método preconizado pela Embrapa, procedeu-se à extração e dosagem do sódio trocável, após lavagem das amostras com solução de álcool etílico absoluto (dessalgamento das amostras).

O cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco solúvel, foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica, sendo o cálcio e o 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 com solução, pela ação oxidante do dicromato de potássio em meio ácido e dosado por titulação 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 pH das amostras de solo coletadas foram feitas segundo a metodologia da Embrapa (1997).

O ferro livre (Fe<sub>d</sub>) 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, percentagem de saturação de alumínio e percentagem de saturação com sódio foram calculados de acordo com o Manual de Métodos da Embrapa (1997).

# **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Tabela 1 estão apresentados os teores totais e solúveis de cobre, ferro, manganês e zinco do solo de várzea do rio dos Morcegos, no município de Primavera, antes da inundação, em amostras analisadas como terra fina seca ao ar (TFSA). Os dados mostraram que os teores totais e solúveis obedeceram à seguinte ordem decrescente em concentração: Fe> Mn> Zn> Cu. Esta tendência foi a mesma observada em solos de várzea do rio Guamá, nos municípios de Belém e Santa Isabel (Ferreira et al. 1998). Embora o teor de ferro total deste solo (58.427,0 mg/kg) tenha sido menor que os encontrados na várzea do rio Guamá, em Santa Isabel (99.064,00) e em Belém (67.222,0), a concentração solúvel (421,44)mg/kg) foi deste elemento maior que os 140,48 Santa Isabel ma/ka encontrados em OS 149,41 mg/kg dosados em Belém (Ferreira et al. 1998). Os teores de ferro, zinco e cobre solúveis deste solo podem ser considerados elevados, quando comparados com os da maioria dos solos da região (Ferreira et al. 1998 e Singh, 1984).

TABELA 1. Teores de cobre, ferro, manganês e zinco (mg/kg) de amostras de solo, coletadas na profundidade de 0-20 cm, na várzea do rio dos Morcegos, no município de Primavera, PA.

(	Cu	Fe		N	∕ln	Zn		
Total	Solúvel	Total	Solúvel	Total	Solúvel	Total	Solúvel	
8,55	0,17	58.427,00	421,44	71,05	22,37	34,96	4,31	

A Tabela 2 mostra a análise granulométrica, os teores de macronutrientes, relação carbono/nitrogênio, pH em água e em KCI, soma de bases (S), capacidade de troca de cátions efetiva (T), percentagem de saturação de bases (V), percentagem de saturação de alumínio (m), e percentagem de ferro livre (Fe<sub>d</sub>) do solo, analisado antes da inundação, em amostras de terra fina seca ao ar.

Os resultados da análise granulométrica permitem que o solo seja caracterizado como da classe muito argiloso, com 620 g/kg de argila total, 380 g/kg de limo e isento de areias (0 g/kg).

Quanto às características químicas, o solo mostrou valores de pH em água e em KCl iguais (Tabela 2), que é uma indicação de elevada presença de oxi-hidróxidos. O teor de fósforo disponível (6,71 mg/kg), embora superior em aproximadamente duas e cinco vezes aos encontrados por Ferreira et al. (1988), respectivamente no solo de várzea do rio Guamá, em Belém e em Santa Isabel, é considerado baixo e reflete o estado oxidado desse solo. Os teores de cálcio (86,60 mmol<sub>c</sub>/kg), magnésio (149,80 mmol<sub>c</sub>/kg), potássio (15,40 mmol<sub>c</sub>/kg) e sódio (14,92 mmol<sub>c</sub>/kg) são bastante elevados, guando comparados com os encontrados por Ferreira et al. (1998) na várzea do rio Guamá e apenas o sódio contribuiu com cerca de 34.37% da CTC (28,98 mmol<sub>o</sub>/kg) do solo. O teor zero de alumínio trocável é certamente resultante do efeito dos elevados teores de bases, particularmente o cálcio e o magnésio, que mesmo com o solo apresentando valor de pH = 5,1 induziram a precipitação do alumínio como hidróxido insolúvel.

TABELA 2. Características físicas e químicas de solo de várzea do rio dos Morcegos no município de Primavera.

Areia	Limo	100	rgila Natural	С	M.O.	Ν	Fe₄	pH H₂O KCI	P mg/kg	Ca	Mg	Na*	к	н	AI	s	т	V%	m%
			g/kg										mm	ol₀/kg -			••••••		
	380	620	440					 		00.00	140.00		15.40				399,72	91,74	0,00

<sup>\*</sup> Após o dessalgamento.

Na Tabela 3, são apresentados os valores da capacidade de troca de cátions efetiva (E), capacidade de troca de cátions total (T) e teor de sódio trocável (Na), antes e após o dessalgamento das amostras. Os resultados mostram que para o Gleissolo sálico sódico típico, este procedimento torna-se necessário, porque evita que os dados de caracterização do mesmo sejam interpretados de maneira equivocada. e a fração de sódio, principal responsável pela salinização do solo, seja extraída pelos métodos convencionais de laboratório e considerada como sódio trocável. Os resultados mostram que a lavagem das amostras com álcool etílico antes das extrações, causou uma redução no teor de sódio de 70,53 % gerando, como consequência, decréscimo de 50,46 % e 50,15 %, respectivamente na CTC total e CTC efetiva. Esta redução, na realidade, deve ser interpretada como uma correção dos resultados.

TABELA 3. Capacidade de troca de cátions efetiva CTC (E), capacidade de troca de cátions total CTC (T) e teor de sódio trocável do solo, determinados antes e após o dessalgamento das amostras.

CTC(E)	CTC(E) *	CTC(T)	CTC(T)*	Na	Na*								
mmole/kg													
87,06	43,40	58,50	28,98	58,58	14,92								

<sup>\*</sup> Após o dessalgamento.

Esta característica química deste solo certamente está associada à qualidade da água do rio dos Morcegos, que é grandemente influenciada pela água do oceano, devido tratar-se de uma várzea litorânea. Além disso, a salinização fica ainda mais acentuada durante o período de estiagem da região, que vai do início do mês de julho até o início de dezembro, período em que foram coletadas as amostras. Quando se

calcula a saturação por sódio (ST) trocável, ou seja, a extensão na qual o complexo de adsorção do solo é ocupado por sódio trocável sem (67,29 mmol<sub>o</sub>/kg) e com dessalgamento do solo (51,48 mmol<sub>o</sub>/kg), observa-se que esse tratamento prévio das amostras elimina uma superestimação dos resultados em cerca de 15,81 mmol<sub>o</sub>/kg.

Na Tabela 4 é mostrada a variação dos teores de macro e micronutrientes, pH e Eh do solo, com o tempo de inundação. Estes resultados, quando comparados com os das Tabelas 1 e 2, indicam que a inundação, logo no primeiro dia, causou aumentos no teor de cobre, ferro, zinco, potássio, cálcio e fósforo, no valor do pH, e diminuição no teor de alumínio trocável.

Após a inundação, o solo mostrou um nítido decréscimo nos valores do potencial redox (Fig. 1). Os baixos valores após a submersão refletiram o estado (oxi-redox) reduzido do solo, ao passo que os valores iniciais elevados são indicativos do meio aeróbico, ou do estado oxidado do solo (Sanchez, 1981). O potencial redox certamente é a principal propriedade que diferencia um solo bem drenado de um solo inundado e, por isso, torna-se importante para auxiliar na diferenciação entre um solo de terra firme e um solo de várzea.



FIG. 1. Variação do potencila redox (Eh) do solo de várzea do rio dos Morcegos com o tempo de inindação.

15

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

20 002 0		Dias de inundação														
Nutrientes .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14	19	27	36	45	54	72
								mmol <sub>o</sub> /	kg							
K	30,20	26,80	25,30	25,80	17,60	65,60	19,30	20,50	18,60	23,00	35,30	29,20	29,76	32,70	35,60	36,9
Ca	139,50	155,20	158,00	164,60	108,90	153,50	¥	115,50	243,10	÷	126,60	107,20	129,10	154,50	112,50	99,60
Mg	127,80	132,40	135,20	149,30	101,60	140,90	ş	112,40	388,10	·	173,30	165,90	138,20	167,70	158,00	143,60
Na	121,80	133,80	121,70	160,20	154,60	118,40	324,40	284,90	302,90	2	9	208,50	179,00	193,00	255,90	282,20
Al	10,30	3,90	7,50	6,90	9,50	9,10	10,60	15,10	4,10	¥	5,70	4,60	ä	ē	ē	Ŧ.
	***********		************					1	mg/kg							
Р	77,48	63,59	76,14	94,14	61,30	90,17	119,31	119,64	124,61	¥	166,07	162,7	179,37	185,43	211,16	263,09
Cu	0,55	0,74	0,68	1,24	1,25	1,31	0,93	0,78	0,78	*	0,27	0,26	0,40	0,31	×	0,38
Fe	187,48	226,65	3375,67	411,05	438,87	407,84	589,88	526,77	486,83	×	844,35	697,42	7425,90	775,81	2	842,35
Mn	18,94	21,81	20,34	24,69	22,93	20,60	24,81	28,70	24,02	*	28,08	24,43	24,97	24,16	2	26,79
Zn	6,06	7,31	5,80	6,96	6,91	7,37	7,29	5,02	7,27	*	6,29	7,56	8,09	7,49	25	9,20
рН	7,20	6,40	6,60	6,70	6,70	6,80	6,90	6,80	6,80	6,60	6,70	٠	6,50	6,60	120	1327
Eh	+ 390	+ 220	+ 140	+ 70	+40	+ 35	+ 30	+ 20	+ 10	- 5	+ 20	+ 120	+ 90	+ 40		12

O Eh variou de + 390 mV, no primeiro dia de amostragem, a - 5 mV no 14º dia de submersão. Esse comportamento do Eh do solo, com o tempo de inundação, foi influenciado, provavelmente, pelas características do próprio solo. Este longo período de tempo com o Eh apresentando valores positivos foi devido a elevados teores de nitrato no solo, isto é, teores acima de 275 mg/kg de NO₃ de acordo com Ponnamperuma et al. (1964) e Ponnamperuma (1965), citado por Ponnamperuma (1972).

Ferreira et al. (1998), trabalhando com solos de várzea do rio Guamá, em Belém e em Santa Isabel, Estado do Pará, observaram que no solo de Belém, o Eh apresentou comportamento diferente do solo de Santa Isabel pois, já a partir do quinto dia de inundação mostrou Eh negativo (Eh = -97,5 mV), e chegou a -240 mV no 29º dia de inundação, enquanto no solo de Santa Isabel, o Eh só tornou-se negativo no 54º dia de inundação. Os autores, para explicarem tal comportamento, consideraram a diferença nos teores de manganês nos dois solos, pois solos com baixos teores do elemento, como o de Santa Isabel (54 mg/kg), podem potenciais manter positivos por diversas semanas (Ponnamperuma et al. 1964; Ponnamperuma, 1965), citado por Ponnamperuma (1974), ao contrário do que ocorre com solos como o de Belém, que apresentou 493 mg de Mn/kg. Possivelmente, o comportamento do Eh desse solo, assemelhando-se ao do solo de Santa Isabel, também seja devido ao seu baixo teor de manganês total (71,05 mg/kg).

Os nutrientes que sofreram maiores variações em sua solubilidade foram aqueles envolvidos em reações de oxirredução, como o ferro, o manganês e o fósforo e, destas mudanças na solubilidade, a do ferro é, possivelmente, a mais importante variação química que ocorre quando um solo é inundado e tem seu potencial de oxirredução diminuído. Esta mesma tendência já havia sido observada pelos autores Ferreira et al. (1998).

O teor de ferro aumentou de um mínimo de 187,38 mg/kg, no primeiro dia, ao máximo de 842,35 mg/kg, no 72º dia de inundação, implicando assim, em um aumento de aproximadamente 450%. Estas variações são mostradas na Fig. 2.



FIG. 2. Variação do teor de ferro do solo de várzea do rio dos Morcegos com o tempo de inundação.

Estes resultados estão próximos aos encontrados por Asami (1970) citado por Ponnamperuma (1972), que observou 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. No entanto, os valores do Fe (II) trocáveis e Fe (II) solúveis em água devem ser vistos com cautela, porque são altamente dependentes do pH, conforme pode ser observado na equação pH + Log Fe $^-**$  = 5,4, e obedece ao equilíbrio Fe $_2O_4$  =  $O_2O_4$  =  $O_3O_4$  =  $O_3O$ 

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

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

A inundação também causou aumentos nos valores do pH, cuja tendência é mostrada na Fig. 3. O pH variou de 5,1 no solo seco, para 7,2, com apenas um dia de inundação. No entanto, logo no segundo dia decresceu para 6,4, aumentando gradativamente, até atingir 6,9 no sétimo, decrescendo lentamente até o 45º dia, quando atingiu 6,6 (Tabelas 2 e 4). Os aumentos nos valores do pH deste solo, com o tempo de inundação eram esperados, por se tratar de solo ácido (Ponnamperuma, 1972). Neste tipo de solo onde os teores de óxidos hidratados de Fe (III) predominam sobre algum outro oxidante, o aumento no valor do pH após a inundação pode ter ocorrido devido à redução do ferro (III), fato que já havia sido observado em pesquisas realizadas por Ponnamperuma (1972) e Ferreira et al. (1998). Embora alguns autores tenham encontrado pequenas reduções nos valores do pH nos primeiros días de inundação, aos quais atribuíram como causa a elevada concentração de CO2 no solo, proveniente da respiração das bactérias aeróbicas, que existiam no solo antes da inundação. Ferreira et al. (1998), trabalhando com solos de várzea do rio Guamá, em Belém e Santa Isabel, no Estado do Pará, não constataram essa redução. Provavelmente, o efeito da intensa redução de óxidos hidratados de ferro, superou o do CO2 produzido pelas bactérias, ocasionando estes aumentos.



FIG. 3. Variação dos valores de pH do solo de várzea do rio dos Moecegos nomunicípio de Primevera.

Ferreira et al. (1998), trabalhando com solos de várzea do rio Guamá, em Belém e em Santa Isabel, atribuíram aos maiores teores de óxidos hidratados de ferro, a principal razão não só do aumento no pH desses solos, como também, desses aumento terem sido mais intensos no solo de Belém, o qual apresentou maiores teores de ferro total. É possível ainda, que o equilíbrio dos valores do pH, a partir do terceiro dia, tenha sido regulado pela pressão de gás carbônico, pois tanto solos alcalinos quanto solos ácidos são altamente sensíveis às variações em seus conteúdos de gás carbônico (Ponnamperuma, 1972) e Ponnamperuma et al. (1969a). Esta também deve ter sido a razão do decréscimo no valor do pH, de 7,2 para 6,4, do primeiro para o segundo dia de inundação.

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<sup>+</sup>) ou um aumento líquido na concentração de oxidrilas (OH<sup>-</sup>), o que significa dizer um decréscimo na acidez ou no aumento de pH. Bostron (1967) citado por Ponnamperuma (1972) observou, no entanto, que o aumento de pH não é determinado apenas pelo número de H<sup>+</sup> consumido ou de OH<sup>-</sup> produzido, mas sim pela razão entre H+ consumido e OH<sup>-</sup> produzido.

Na Fig. 4 são mostradas as variações nos teores de fósforo dos dois solos com o tempo de inundação. Estes resultados, quando comparados com os teores antes da inundação (Tabela 2), indicam que aos 72 dias de inundação, o teor de fósforo de 263,09 mg /kg correspondeu a 39 vezes o teor inicial de 6,71 mg/kg encontrado antes da inundação e que, apenas no primeiro dia de submersão do solo, este teor inicial havia aumentado em 11,5 vezes, ou seja, atingido 77,48 mg P/kg.

Os aumentos ocorridos nos teores de fósforo do solo, provavelmente foram devidos à liberação dos fosfatos, dos de ferro e alumínio predominantes no mesmo, fato que já havia sido observado por Stum e Morgan (1970) e mencionado por Ferreira et al. (1998).



FIG. 4. Variação do teor de fósforo do solo de várzea do rio dos Morcegos em função do tempo de submersão.

Ocorre que a inundação de solos ácidos pode causar aumentos nas concentrações de fósforo solúvel, pela hidrólise dos fosfatos de ferro e alumínio, pela liberação de fósforo ligado à argila e óxidos hidróxidos de Fe (III) e Al, e pela redução do Fe (III) para Fe (II), com liberação do fósforo sorvido ou ligado quimicamente. Autores como Savant & Ellis (1964), atribuem o aumento na solubilidade de fósforo, tanto ao decréscimo no Eh, como ao aumento na concentração do Fe (II).

As variações nos teores de manganês com o tempo de inundação são apresentados na Fig. 5. As quantidades extraídas após a inundação foram bastante próximas às obtidas no solo seco (22,37 mg/kg), conforme mostra a Tabela 1, embora os teores de manganês solúvel tenham mostrado nítida tendência a aumentar com o tempo a partir do primeiro dia de inundação (18,94 mg/kg), atingindo o teor máximo de 28,70 mg/kg no oitavo dia de inundação (Tabela 4).

Os decréscimos que ocorreram após a 19º dia de inundação, provavelmente foi devido à precipitação do manganês como carbonato, e/ou a reoxidação do Mn (II) deslocado para a interface oxigenada do solo, conforme mencionado por Ponnamperuma (1972) e Ponnamperuma et al. (1969b).



FIG. 5. Variação do teor de manganês do solo de várzea do Rio do Morcegos com o tempode inundação.

Quanto ao teores finais, próximo aos 25 mg/kg alcançado pelo solo após a estabilização, ao 27º dia, foi influenciado, possivelmente, pelos teores de matéria orgânica e de manganês existentes no solo. Resultados semelhantes já haviam sido obtidos por Cho & Ponnamperuma (1971) e Ferreira et al. (1998), trabalhando com solos ácidos com diferentes teores de matéria orgânica e manganês.

Os aumentos nos teores de cobre e zinco solúveis, a partir do primeiro dia de inundação (Tabelas 1 e 4), podem estar relacionados com a redução de óxidos hidróxidos de Fe (III) e Mn (IV) e produção de agentes orgânicos complexantes. Por outro lado, o aumento no pH e a formação de sulfetos pode ter sido a causa do decréscimo na concentração do cobre após o sétimo dia de inundação (Fig. 6).

O efeito da inundação sobre os teores de alumínio são mostrados na Fig. 6. Os resultados certamente foram influenciados pelo aumento nos valores do pH, que podem ter ocasionado a precipitação do alumínio trocável como hidróxido (Tabela 4).



FIG. 6. Variação do teor de alumínio trocável do solo de varzea do rio dos Morcegos com o tempo de inundação.

# **CONCLUSÃO**

A inundação causou aumentos no valor do pH e nos teores de fósforo, ferro, manganês solúvel e no teor de alumínio trocável e potencial redox do solo.

O dessalgamento das amostras de solos influenciados por sais (salinos e sódicos) é um procedimento indispensável para evitar que os teores de sódio trocável e CTC sejam superestimados.

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

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

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLOOMFIELD, C. Experiments on the mechanism of gley formation. **Soil Science**. 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 dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia brasileira. In: INSTITUTO DE PESQUISA AGROPECUÁRIOA DO NORTE (Belém, PA). Zoneamento agrícola da Amazônia: 1º 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 de um glei pouco húmico de várzea do rio Guamá, nos municípios de Belém e Santa Isabel, PA. Belém: Embrapa-CPATU, 1998. 23p. (Embrapa-CPATU. Boletim de Pesquisa, 207).
- HOWLER, R.H. La quimica de suelos inundados. Cali, CIAT, 1973. mimeografado.
- JACKSON, M.L. Soil Chemical Analysis: advanced course. Madison: University of Wisconsin, Departament 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.; CASTRO, R. V.; VALENCIA, C. M. Experimental study of the influence of the partial pressure of carbon dioxide on the pH values of aqueous carbonate systems. **Soil Science Proceedings**, v.33, n.2, p.239-241, 1969a.
- 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 oxisoil 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. 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 accid titration method. Soil Science, v.37, p.29-38, 1934.



## Amazônia Oriental

Ministério da Agricultura e do Abastecimento Trav. Dr. Enéas Pinheiro ş/n, Caixa Postal 48, Fax (91) 276-9845, Fone (91) 276-6333,CEP 66095-100 e-mail: cpatu@cpatu.embrapa.br

