

**SUZANA KELLY GOMES DE MENDONÇA**

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS TIOMÓRFICOS DA VÁRZEA DO RIO  
CAMOCIM, CAAPORÃ, PB.**

**Recife-PE**

**2011**

**SUZANA KELLY GOMES DE MENDONÇA**

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS TIOMÓRFICOS DA VÁRZEA DO RIO  
CAMOCIM, CAAPORÃ, PB.**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Agronomia: Ciência do Solo.

Orientador:

Mateus Rosas Ribeiro, PhD.

Co-orientadores:

Valdomiro Severino de Souza Júnior, D.Sc.

Marcelo Metri Corrêa, D.Sc.

Recife-PE

2011

Ficha catalográfica

M539c Mendonça, Suzana Kelly Gomes de  
Caracterização de Solos Tiomórficos da várzea do  
Rio Camocim, Caaporã, PB / Suzana Kelly Gomes de  
Mendonça. -- 2011.  
86 f.: il.

Orientador: Mateus Rosas Ribeiro.  
Dissertação (Mestre em Agronomia - Ciência do Solo) -  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento  
de Agronomia, Recife, 2011.  
Inclui referências e anexo.

1. Solos Tiomórficos 2. Horizonte sulfúrico 3. Várzeas  
4. Cana-de-açúcar 5. Argilominerais 6. Materiais sulfídricos  
I. Ribeiro, Mateus Rosas, orientador II. Título

CDD 631.4

**SUZANA KELLY GOMES DE MENDONÇA**

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS TIOMÓRFICOS DA VÁRZEA DO RIO  
CAMOCIM, CAAPORÃ, PB.**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Agronomia: Ciência do Solo.

Aprovada em 25 / 02 /2011

Examinadores:

---

Mateus Rosas Ribeiro. PhD.  
(Orientador)

---

José Coelho de Araújo Filho. D.Sc.

---

Mateus Rosas Ribeiro Filho D.Sc.

---

Valdomiro Severino de Souza Junior, D.Sc.

## **Ofereço**

Aos meus pais, Jaime (*in memoriam*) e Vallenice  
pelo amor, apoio e dedicação incondicionais  
e por todas as lições de vida transmitidas.  
Sem Deus e sem vocês eu nada seria!

## ***Dedico***

Ao meu esposo Isaias,

por toda dedicação, amor, companheirismo,

paciência e apoio dispensados a mim durante nossa caminhada.

Espero em Deus, que estejamos sempre O servindo e nos ajudando.

*“Deleita-te no Senhor e ele  
concederá o que deseja  
o teu coração”*

*(Sl 37:4)*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo o que Ele é! Por de forma grandiosa, abençoar minha vida, por permitir que mais um sonho se concretizasse, por me surpreender diariamente com a grandeza de seu amor, graça e misericórdia e pelo cumprimento de suas promessas. Jesus, és minha rocha! Obrigada por nunca me desamparar!

Ao meu esposo Isaias, por toda paciência e compreensão, nos inúmeros momentos de minha ausência devido à realização deste trabalho e por todo seu carinho e cuidado, em momentos tão difíceis. Sou grata a Deus por sua vida!

Ao meu pai Jaime (*in memorian*) e minha mãe Vallenice, e minha tia-mãe Ivaleide por serem exemplos de determinação, por tudo que representam em minha vida. Mães queridas, obrigada por seus conselhos e orações.... Como é grande o meu amor por vocês!

Aos meus sogros, novos pais, João e Irene Mendonça, por seu incentivo, carinho e orações!

A toda minha família, aos tios e tias, primos e primas, a minha querida avó Maria, as minhas irmãs Sandra, Sílvia e Silvana, aos meus cunhados e cunhadas, aos meus sobrinhos, a todos que sempre estiveram ao meu lado, me encorajando nas dificuldades e se alegrando com minhas vitórias, a cada um que, ao seu modo, contribuiu grandemente com minha formação.

A Henrique e Mariana, meus irmãos e amigos, pelo companheirismo, amizade, apoio, incentivo e por me ajudar literalmente na realização desse sonho.

Ao meu orientador Mateus Rosas Ribeiro pelo exemplo de profissional que é, pelo conhecimento transmitido e dedicação dispensada a mim durante a condução deste trabalho.

Ao professor Valdomiro Severino de Souza Júnior por toda a dedicação, paciência e compreensão ao longo desse trabalho, pelo esforço incondicional para que o mesmo se realizasse e por todo o conhecimento transmitido.

Aos professores Clístenes, Betânia e Brivaldo, pela imensurável ajuda no desenvolvimento deste trabalho.



As minhas irmãs adotadas Patrícia e Priscila por todo companheirismo, apoio, pelos muitos momentos de alegria. Sou grata a Deus por nossa amizade!

Aos colegas de curso: Maria, Jane, Karla, Alexandra, João Paulo e Marise, pelos momentos de descontração.

A Branca, pela amizade, orações, palavras de encorajamento e por sua alegria contagiante! Você é um presente de Deus amiga!

Aos meus irmãos, integrantes da Juventude Vitória em Cristo, pela amizade, ensinamentos, suas orações e muitas alegrias a mim proporcionadas. Em especial a Flávio, Débora e João pela amizade, zelo e suas orações, vocês são bênção em minha vida!

Aos estagiários Fernando, Juliet, Laércio e Stephany pela contribuição e dedicação as atividades desenvolvidas, sem a cooperação de vocês a realização desse trabalho não seria possível.

Aos funcionários da área de solos, Socorro, Seu Josué e Seu Camilo pela disposição em atender nossas solicitações, e ajuda prestada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado.

A todos que dedicaram sua parcela de contribuição ao longo do curso.

**Que Deus abençoe grandemente suas vidas!**

**Meus sinceros agradecimentos!**

## SUMÁRIO

	Pág
LISTA DE TABELAS	Xi
LISTA DE FIGURAS	Xii
RESUMO GERAL	Xiii
GENERAL ABSTRACT	Xv
INTRODUÇÃO GERAL	17

### CAPÍTULO I - Caracterização e gênese de solos tiomórficos da várzea do rio Camocim, Caaporã, PB, Brasil

RESUMO	22
ABSTRACT	23
INTRODUÇÃO	24
MATERIAL E MÉTODOS	27
RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

### CAPÍTULO II - Solos tiomórficos da várzea do rio Camocim, Caaporã, PB: Mineralogia e extração seqüencial de ferro.

RESUMO	50
ABSTRACT	51
INTRODUÇÃO	52
MATERIAL E MÉTODOS	55
RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

ANEXOS	78
--------	----

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO I - Caracterização e classificação de solos tiomórficos da várzea do rio Camocim, Caaporã, PB, Brasil** Pág.

<b>Tabela 1.</b> Propriedades morfológicas e classificação dos solos.	34
<b>Tabela 2.</b> Granulometria e classe textural.	37
<b>Tabela 3.</b> Análises químicas.	38
<b>Tabela 4.</b> Valores de enxofre total e pH de incubação.	39
<b>Tabela 5.</b> Análise de ânions solúveis, pH e C.E. do extrato da pasta saturada.	41

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO I - Caracterização e classificação de solos tiomórficos da várzea do rio Camocim, Caaporã, PB, Brasil</b>	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Mapa de localização da área do estudo	30
<b>Figura 2.</b> Localização dos perfis no transecto estudado. n.m.r.m (nível médio relativo dos mares).	33
<b>Figura 3.</b> Correlações entre pH, CE, H <sup>+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> e Cl <sup>-</sup> , no extrato da pasta saturada.	42
<b>CAPÍTULO II - Solos tiomórficos da várzea do rio Camocim, Caaporã, PB: Mineralogia e extração seqüencial de ferro.</b>	
<b>Figura 1.</b> DRX dos mosqueados do horizonte superficial nas áreas dos perfis P3 e P4. J (jarosita).	63
<b>Figura 2.</b> DRX da fração areia fina dos solos estudados. Fd (feldspatos), Q (quartzo)	64
<b>Figura 3.</b> DRX da fração areia grossa dos solos estudados. Fd (feldspatos), Q (quartzo)	64
<b>Figura 4.</b> DRX da fração silte dos solos estudados. Fd (feldspatos), Q (quartzo), K (caulinita), M (mica)	65
<b>Figura 5.</b> DRX da fração argila do P1. A) horizonte Ap, B) horizonte Cg, C) teste de Greene-Kelly. E (esmectita), K (caulinita), Gb (gibbsita), Q (quartzo).	65
<b>Figura 6.</b> DRX da fração argila do P2. A) horizonte Ap, B) horizonte Cg, C) teste de Greene-Kelly. E (esmectita), K (caulinita), Q (quartzo).	66
<b>Figura 7.</b> DRX da fração argila do P3. A) horizonte Ap, B) horizonte Cg, C) teste de Greene-Kelly. E (esmectita), K (caulinita), I (ilita), Q (quartzo).	66
<b>Figura 8.</b> DRX da fração argila do P4. A) horizonte Ap, B) horizonte Cg, C) teste de Greene-Kelly. E (esmectita), K (caulinita), I (ilita).	67
<b>Figura 9.</b> DRX da fração argila do P5. A) horizonte Ap, B) horizonte Cg, C) teste de Greene-Kelly. E (esmectita), K (caulinita), I (ilita).	67
<b>Figura 10.</b> Teores de Fe nos solos estudados submetido à extração seqüencial e total.	71

## RESUMO GERAL

As áreas de várzeas no Brasil apresentam um grande potencial para a agricultura, no entanto, estas áreas apresentam algumas limitações ao uso agrícola devido à presença de lençol freático elevado e risco freqüente de inundação. Quando localizadas em áreas litorâneas, estas áreas podem sofrer influência marinha podendo apresentar solos tiomórficos que, quando drenados, formam horizonte sulfúrico, caracterizados principalmente pela elevada acidez, elevados teores de alumínio trocável, podendo causar sérios impactos ambientais no ecossistema onde ocorrem. A incorporação destas áreas no processo produtivo depende de um profundo conhecimento das propriedades físicas, mineralógicas e principalmente químicas, de forma a subsidiar o desenvolvimento de técnicas sustentáveis de manejo. Neste contexto, foi realizada a caracterização física, química, mineralógica, além da extração sequencial de ferro de solos tiomórficos desenvolvidos na várzea do rio Camocim, no município de Caaporã, PB. O objetivo do estudo foi identificar a ocorrência de solos tiomórficos e caracterizá-los, com o fim de obter subsídios para a tomada de decisão de incorporar estas áreas ao cultivo de cana-de-açúcar ou mantê-las nas condições naturais. Para tanto foi feito um transecto perpendicular ao canal principal do rio, a partir das terras altas, onde foram descritos e coletados quatro perfis de solo. Em campo foi realizada a caracterização morfológica dos perfis e coletadas amostras para as análises físicas, químicas e mineralógicas de rotina, além de análises específicas para determinação do enxofre total, pH de incubação, ânions solúveis, CE do extrato da pasta saturada e extração sequencial de ferro. Os solos foram classificados como Gleissolo Háptico Tb Distrófico argissólico (P1), Organossolo Tiomórfico Sáprico típico (P2) e Gleissolo Tiomórfico Órtico organossólico (P3 e P4). A distribuição dos solos na várzea do rio Camocim guarda estreita relação com o relevo, que condiciona a drenagem e, conseqüentemente, os processos de formação relacionados com o excesso de água. A presença de horizonte sulfúrico foi constatada a partir do horizonte superficial nos perfis muito mal drenados da planície de inundação, e a partir de 43 cm, nos solos mal drenados da ombreira. Os solos tiomórficos estudados não apresentam salinidade, sendo a alta condutividade elétrica resultante da formação de ácido

sulfúrico proveniente da oxidação da pirita ( $H^+$  e  $SO_4^{2-}$ ). A degradação do canal em grandes áreas da várzea do rio Camocim, após um ano de cultivo, foi consequência da formação do horizonte sulfúrico com a drenagem da área, tendo em vista que os materiais sulfídricos ocorrem desde a superfície. Os minerais identificados por DRX foram: jarosita, quartzo, feldspatos, caulinita, esmectita (essencialmente montmorilonita), ilita e gibbsita, na fração argila. Quartzo e feldspatos foram os minerais identificados nas frações areia e silte. Os valores da extração sequencial de ferro mostraram predomínio de formas não cristalinas de óxidos de ferro e baixíssimos teores ou ausência de ferro associado à pirita, indicando que os solos tiomórficos estudados apresentam avançado estágio de oxidação, promovido pela drenagem realizada na área de estudo na tentativa de viabilizar o cultivo da cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** Solos de várzea, solos tiomórficos, materiais sulfídricos, horizonte sulfúrico

## GENERAL ABSTRACT

### **Characterization of acid sulfate soils in the floodplain of Camocim river, Caaporã, PB, Brazil**

Low lands in Brazil have a great potential for agriculture, however, they have some limitations due to the presence of high water table and severe risk of flooding. When located near by the sea cost, these floodplains can have influence of the sea water, resulting in the presence of sulfide soils, which, if drained, can develop sulfuric horizons. The sulfuric horizons are mainly characterized by high levels of acidity and exchangeable aluminum, which can result in serious environmental impact to the ecosystem. The agriculture use of these soils requires a deep knowledge of soil physical, chemical and mineralogical properties, in order to support the development of sustainable management practices. The objective of this work was to study chemical and mineralogical properties of acid sulfate soils formed in the floodplain of Camocim river, Caaporã municipality, state of Paraíba. The main aim was to support decisions on the viability of sugarcane cropping in these areas. Soils were characterized morphologically and samples were collected along a transect from the high land towards the river channel. Besides the routine physical, chemical and mineralogical analysis, other determinations were carried out involving total sulfur, incubation pH, soluble anions, electrical conductivity of the saturation extract and sequential iron extraction. The soils were classified as: Argisolic, Dystric Tb Haplic Gleysol (P1) Typic Sapric Sulfide Organosol (P2), Organosolic Orthic Sulfide Gleysol (P3 and P4). Soil distribution in the landscape of the Camocim river floodplain is mainly related to the relief, which determines drainage, water table and, consequently, the soil forming processes related to water excess. The presence of sulfuric horizons occur at the surface, in the very poorly drained soil profiles, and at 43 cm depth in the poorly drained soils close to the river channel. The studied acid sulfate soils do not have salinity at present time, and the high electrical conductivity is determined by the formation sulfuric acid ( $H^+ + SO_4^{2-}$ ) from pyrite oxidation. Sugarcane crop decay in the floodplain of Camocim River, after one year of cultivation was a consequente of the sulfuric horizon formation after the implementation of the drainage system in soils with sulfide materials. The main

soil minerals, indentified by X-ray diffraction, in the clay fraction were jarosite quartz, feldspars, kaolinite, smectite (essentially montmorillonite), illite and gibbsite. Quartz and feldspars were the minerals identified in sand and silt fractions. The results of the iron sequential extraction showed predominance of non crystalline iron oxides and very low amounts or absence of iron associated with pyrite, reflecting the advanced oxidation stage determined by the drainage system.

**Index terms: floodplain soils, acid sulfate soils, sulfide materials, sulfuric horizon.**



## INTRODUÇÃO GERAL

As áreas de várzeas, quando extensas e contínuas, possuem características agronômicas favoráveis e podem apresentar excelente potencial para o desenvolvimento de uma agricultura com altos índices de produtividade. Para atingirem este estágio, porém, as condições essenciais são a grande extensão de suas áreas e a modificação das condições naturais desse ambiente, particularmente a drenagem. Tais áreas necessitam, entretanto, de manejo apropriado, pois se degradam com facilidade e rapidez. Quando degradadas, a sua recuperação, normalmente, deveria passar por processos que as retornasse às condições naturais, o que nem sempre é fácil (HUNGRIA, 1984).

O potencial das áreas de várzeas no Brasil é elevado, sendo que a sua grande maioria ainda não foi utilizada. O Brasil possui aproximadamente 35 milhões de hectares de várzeas, distribuídas em todo território nacional (MORAES *et al*, 2001). São utilizadas com diversas culturas, a exemplo de mandioca, arroz, olerícolas em geral, e cana-de-açúcar.

O nordeste do Brasil tem papel importante na produção de cana-de-açúcar, sendo esta produção concentrada na região litorânea. Essa cultura apresenta-se com uma importante fonte de energia (produção de etanol e cogeração de energia elétrica), além de contribuir significativamente na geração de empregos diretos e indiretos nas localidades onde a atividade é exercida.

A produção de cana-de-açúcar no nordeste brasileiro é realizada basicamente na zona úmida e próxima ao litoral, denominada de Zona da Mata, particularmente nas áreas de terras altas a exemplo dos Tabuleiros Costeiros e áreas do domínio de Mar de Morros. Após o incentivo governamental na década de 80 para a exploração agrícola das áreas de várzeas (Pró-várzeas), houve um incremento significativo na utilização dessas áreas para a produção de cana-de-açúcar. De acordo com dados de produtores dessas regiões, é nas várzeas onde são obtidas as maiores produtividades de cana-de-açúcar da região Nordeste.

De maneira geral os solos encontrados em áreas de várzeas estão relacionados com condições de má drenagem e pertencem às classes dos Gleissolos, Organossolos e Neossolos Flúvicos.

Entre as principais limitações agrícolas deste ambiente destaca-se a presença de lençol freático elevado e risco de inundações ou alagamentos freqüentes. Além disto, quando sob influência marinha, estes solos podem apresentar materiais sulfídricos, caracterizando assim os chamados solos tiomórficos, que quando drenados formam horizonte sulfúrico, gerando os solos ácidos sulfatados, caracterizados principalmente pela elevada acidez gerada pela oxidação dos materiais sulfídricos. Sendo assim, para incorporá-los ao processo produtivo, é necessário conhecer as variáveis envolvidas na formação desses solos, buscando assim níveis satisfatórios de produtividade e manejo adequado.

A drenagem em áreas de solos tiomórficos causa mudanças nas suas condições geoquímicas, principalmente quanto ao estado de oxirredução (SEILER, 1992). De acordo com Pons & van Breemen (1982) a pirita é estável apenas em ambientes reduzidos. Assim a drenagem desses solos provoca a aeração, proporcionando a oxidação dos compostos sulfídricos e conseqüente formação de óxidos ou oxi-hidróxidos de ferro, ácido sulfúrico e sulfatos diversos, tornando os solos improdutivos, podendo inclusive resultar em desastres ecológicos. O processo de oxidação também causa a liberação de metais, como ferro e alumínio (COOK *et al.*, 2000; MACDONALD *et al.*, 2004), bem como metais pesados (VAN BREEMEN, 1973; SMITH & MELVILLE, 2004;).

Sendo assim, a decisão de incorporar ao processo produtivo, as áreas de várzeas próximas à região litorânea, onde é possível a ocorrência de solos tiomórficos, requer conhecimentos de suas propriedades edáficas. Com este propósito este trabalho foi desenvolvido na várzea do rio Camocim, PB, visando identificar a ocorrência de solos ácidos sulfatados (atual ou potencial) e caracterizá-los química, física, morfológica e mineralogicamente, fornecendo subsídios ao desenvolvimento de técnicas de manejo adequadas, que viabilizem sua exploração econômica ou recomendem sua preservação nas condições naturais, para evitar desequilíbrio ambiental das áreas adjacentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COOK, F.J.; HICKS, W.; GARDNER, E.A.; CARLIN, G.D.; FROGGATT, D.W. Export of acidity in drainage water from acid sulphate Soils. **Marine Pollution Bulletin**, v. 41, n. 7-12, p. 319-326, 2000.

HUNGRIA, L. S. Solos de várzeas e algumas de suas propriedades. *In*: Anais do simpósio nacional sobre o aproveitamento de várzeas, **Anais**, Jaboticabal, 1984, p.31-54.

MacDONALD, B.C.T.; SMITH, J.; KEENE, A.F.; TUNKS, M.; KINSELA, A.; WHITE, I. Impacts of runoff from sulfuric soils on sedimentary chemistry in an estuarine lake. **Sc. Total Environm.** 329:115-130, 2004.

MORAES, M. F.; FAGERIA, N. K.; NASCIMENTO, M. O.; KLIEMANN, H. J.; LIMA, D. V. Caracterização dos teores de matéria orgânica em solos de várzea da região central do Brasil. In 4º ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 2001. Viçosa. **Anais do 4º Encontro Brasileiro de substâncias Húmicas**. Viçosa: Editora da Universidade federal de Viçosa, 2001. P. 211-212.

PONS, L. J. & VAN BREEMEN, N. Factors influencing the formation of potential acidity in tidal swamps. In: DOST, H., VAN BREEMEN, H. (Eds.). **Acid sulphate soils**. Wageningen: Inst. Int. for Land Reclamation and Improvement, p.37-51. 1982.

SEILER, E. **Acid sulphate soils – Their formation and agricultural use**. Hannover: Institute for Scientific Co-operation, p.92-110. 1992. (Natural Resources and Development, 35).

SMITH, J.; MELVILLE, M. Iron monosulfide formation and oxidation in drain-bottom sediments of an acid sulfate soil environment. **Applied Geochemistry**. 19:1837-1853, 2004.

VAN BREEMEN, N. Soil forming processes in acid sulphate soils. In: Dost, H. (Ed.). **Acid sulphate soils**. Wageningen: Inst. Int. for Land Reclamation and Improvement, v.1, p.66-128. 1973.

## **CAPÍTULO I**

### **CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS TIOMÓRFICOS DA VÁRZEA DO RIO CAMOCIM, CAAPORÃ, PB, BRASIL**

## RESUMO

Os solos de várzeas litorâneas, onde é possível a ocorrência de tiomorfismo, requerem estudos mais aprofundados sobre sua caracterização e pedogênese, de forma a evitar seu uso indevido, que resulta no fracasso da produção agrícola, além de provocar impactos ambientais por conta da drenagem ácida e suas consequências. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo caracterizar e classificar os solos da várzea do rio Camocim, no município de Caaporã, Estado da Paraíba. O trabalho foi desenvolvido em terras da Destilaria Tabu, onde foi estabelecido um transecto perpendicular a calha principal do rio, com a abertura de quatro trincheiras nas posições de ombreira (P4), planície de inundação (P2 e P3) e terço inferior da encosta para as terras altas (P1). Os perfis foram caracterizados morfologicamente e amostras foram coletadas para a realização de análises físicas e químicas de rotina, além de análises específicas para determinação do enxofre total, pH de incubação, ânions solúveis e CE do extrato da pasta saturada. Os solos foram classificados como Gleissolo Háptico Tb Distrófico argissólico (P1), Organossolo Tiomórfico Sáprico típico (P2) e Gleissolo Tiomórfico Órtico organossólico (P3 e P4). A distribuição dos solos na várzea do rio Camocim guarda estreita relação com o relevo, que condiciona a drenagem e, conseqüentemente, os processos de formação relacionados com o excesso de água. A presença de horizonte sulfúrico foi constatada a partir do horizonte superficial nos perfis muito mal drenados da planície de inundação, e a partir de 43 cm, nos solos mal drenados da ombreira. Os solos tiomórficos estudados não apresentam salinidade, sendo a alta condutividade elétrica resultante da formação de ácido sulfúrico ( $H^+$  e  $SO_4^{2-}$ ) proveniente da oxidação da pirita. A degradação do canal em grandes áreas da várzea do rio Camocim, após um ano de cultivo, foi consequência da formação do horizonte sulfúrico com a drenagem da área, tendo em vista que os materiais sulfídricos ocorrem desde a superfície.

**Palavras-chave:** Solos de várzea, solos ácidos sulfatados, materiais sulfídricos, horizonte sulfúrico

## **ABSTRACT**

### **Characterization and classification of acid sulfate soils in the floodplain of Camocim river, Caaporã, PB, Brazil**

Soils from coastal lowlands, where the occurrence of sulfide soils is possible, require further studies on soil formation and properties, aiming to avoid improper use, which leads to unsustainable agricultural production and environmental impacts due to acid drainage and its consequences. The objective of this study was to characterize and classify soils of the Camocim river floodplain, at Caaporã municipality, state of Paraíba. The work was carried out at Tabu Distillery, along a transect vertical to the river channel. Four soil profile pits were open in the positions of river channel terrace (P4), floodplain (P2 and P3) and highland foot slope (P4). Soils were characterized morphologically and samples were collected along a transect, from the highland towards the river channel. Besides the routine physical, chemical and mineralogical analysis, other determinations were carried out involving total sulfur, incubation pH, soluble anions and electrical conductivity of the saturation extract. The soils were classified as: Argisolic, Dystric Tb Haplic Gleysol (P1) Typic Sapric Sulfide Organosol (P2), Organosolic Orthic Sulfide Gleysol (P3 and P4). Soil distribution in the landscape of the Camocim river floodplain is mainly related to the relief, which determines drainage, water table and, consequently, the soil forming processes related to water excess. The presence of sulfuric horizons occur at the surface, in the very poorly drained soil profiles, and at 43 cm depth in the poorly drained soils close to the river channel. The studied acid sulfate soils do not have salinity at present time, and the high electrical conductivity is determined by the formation sulfuric acid ( $H^+$  and  $SO_4^{2-}$ ) from pyrite oxidation. Sugarcane crop decay in the floodplain of Camocim River after one year of cultivation was a consequence of the sulfuric horizon formation after the implementation of the drainage system in soils with sulfide materials.

**Index terms:** floodplain soils, acid sulfate soils, sulfides materials, horizon sulfuric.

## 1. INTRODUÇÃO

Os solos tiomórficos ocupam uma área de aproximadamente 170.000km<sup>2</sup> ao redor do mundo, associados principalmente às regiões costeiras tropicais e sub-tropicais em países como Austrália (Oceania); Índia, Vietnã, Filipinas (sudeste asiático); ao longo da América latina e da África; e em outras regiões climáticas, a exemplo do norte da Europa, como Finlândia e Suécia e nos países baixos (LJUNG *et al.*, 2009). Apesar de representarem apenas uma pequena área do planeta, esses solos predominam em regiões de grande densidade populacional, especialmente em ambientes estuarinos, os quais recebem grande pressão pelo uso da terra, com atividades agrícolas, industriais, turísticas e uso residencial.

No Brasil não há dados da área recoberta por solos tiomórficos. Considerando apenas as áreas de manguezais, que cobrem aproximadamente 25.000 km<sup>2</sup> (SCHAEFFER & NOVELLI *et al.*, 2000), pode-se inferir que há vastas áreas de várzeas litorâneas onde também podem ocorrer solos tiomórficos (LANI, 1998; SOUZA JÚNIOR, *et al.*, 2001a; VALLADARES *et al.*, 2008 a,b), visto que são ambientes normalmente associados aos manguezais e que receberam ou recebem influência da água do mar.

Os solos tiomórficos, também conhecidos como solos ácidos sulfatados, são caracterizados pela presença de horizonte sulfúrico e/ou material sulfídrico dentro de 100 cm de profundidade a partir da superfície do solo, compreendendo solos das ordens dos Gleissolos e Organossolos, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

De uma maneira geral, estes solos ocorrem em todas as zonas climáticas do planeta, geralmente em áreas costeiras, desenvolvidos em sedimentos flúvio-marinhos Holocênicos (PONS, 1973). Também podem ocorrer em minas de carvão, ouro e urânio (SEILER, 1992).

No Brasil, à semelhança das demais regiões do mundo, sua ocorrência encontra-se associada às regiões litorâneas. Há perfis descritos no município de Campos dos Goytacazes no Estado do Rio de Janeiro, no litoral sul do Estado de São Paulo e no Rio Grande do Sul (OLIVEIRA *et al.*, 1992). Foram também constatados em áreas nas proximidades da foz do Rio Doce, Espírito Santo (LANI, 1998); nas várzeas do Rio Coruripe, Alagoas (SOUZA JÚNIOR *et*



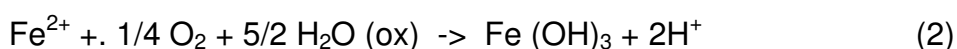
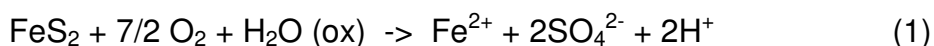
*al.*, 2001a) e, mais recentemente, foram descritos perfis nos Estados da Bahia e Santa Catarina, além de outros em Alagoas, Rio de Janeiro e no Rio Grande do Sul (VALLADARES *et al.*, 2008). Os solos tiomórficos (Gleissolos Tiomórficos e Organossolos Tiomórficos) também foram encontrados nos ambientes de manguezais, como apresentados em estudos recentes desenvolvidos ao longo do litoral paulista (PRADA-GAMERO *et al.*, 2004; FERREIRA *et al.*, 2007; SOUZA JÚNIOR *et al.*, 2008). As descrições realizadas até então mostram a distribuição desses solos na paisagem associada às áreas das planícies litorâneas, sob influência das marés.

Sua formação está diretamente associada ao processo de acumulação de sulfetos, principalmente na forma de pirita (sulfidização) (PONS & van BREEMEN, 1982; FANNING *et al.*, 1989; SEILER, 1992). As condições favoráveis à formação de solos tiomórficos ocorrem em regiões costeiras protegidas de correntes marinhas e ação das ondas, como desembocaduras de rios, baías e bancos de areia, nas quais o acúmulo de sedimentos ocorre durante um período muito longo (DENT, 1986). O processo de sulfidização, um dos principais processos pedogenéticos na formação desses solos, é promovido pelo fornecimento de íons sulfato da água do mar, pelas condições de drenagem impedida, que favorecem o acúmulo de matéria orgânica, pela presença de íons metálicos, principalmente ferro, provenientes dos sedimentos de origem continental, formando sulfetos de ferro, principalmente pirita através da ação de bactérias redutoras de sulfato (DENT, 1986).

A sulfurização é outro importante processo pedogenético na formação de solos tiomórficos, o qual promoverá o desenvolvimento de horizontes sulfúricos em consequência da drenagem. Trata-se da oxidação de materiais sulfídricos, envolvendo processos biogeoquímicos, onde o oxigênio dissociado reage lentamente com os sulfetos, produzindo sulfato, cuja reação é catalisada por bactéria autotróficas em pH próximo à neutralidade.

O horizonte sulfúrico surge quando a quantidade de ácido sulfúrico formado excede a capacidade neutralizante do solo, até o ponto em que o pH atinge valores menores que 4 (PONS & VAN BREEMEN, 1982). Além de gerar a intensa acidez descrita, também promove a liberação de metais associados aos sulfetos (COOK *et al.*, 2000; NORDMYR *et al.*, 2008).

As equações abaixo, de forma simplificada, demonstram os processos da geração de acidez, onde a oxidação da pirita gera íons  $H^+$ , e incrementa a concentração de íons de  $Fe^{2+}$  e  $SO_4^{2-}$  na solução do solo (1). O aumento das condições oxidantes favorece a formação de  $Fe^{3+}$  a partir do  $Fe^{2+}$  em solução, com liberação adicional de íons  $H^+$ , aumentando ainda mais as condições de acidez (2).



Há também uma fase mineral metaestável na formação de solos tiomórficos, que é a jarosita, que ocorre quando há quantidades suficientes de K na solução, além do ferro e sulfato associados ao baixo pH (CARSON *et al.*, 1982) e que, geralmente, se apresenta na forma de mosqueados quando os solos são drenados ou nas paredes de canais de drenagem. A sua formação se dá pela reação abaixo (3):



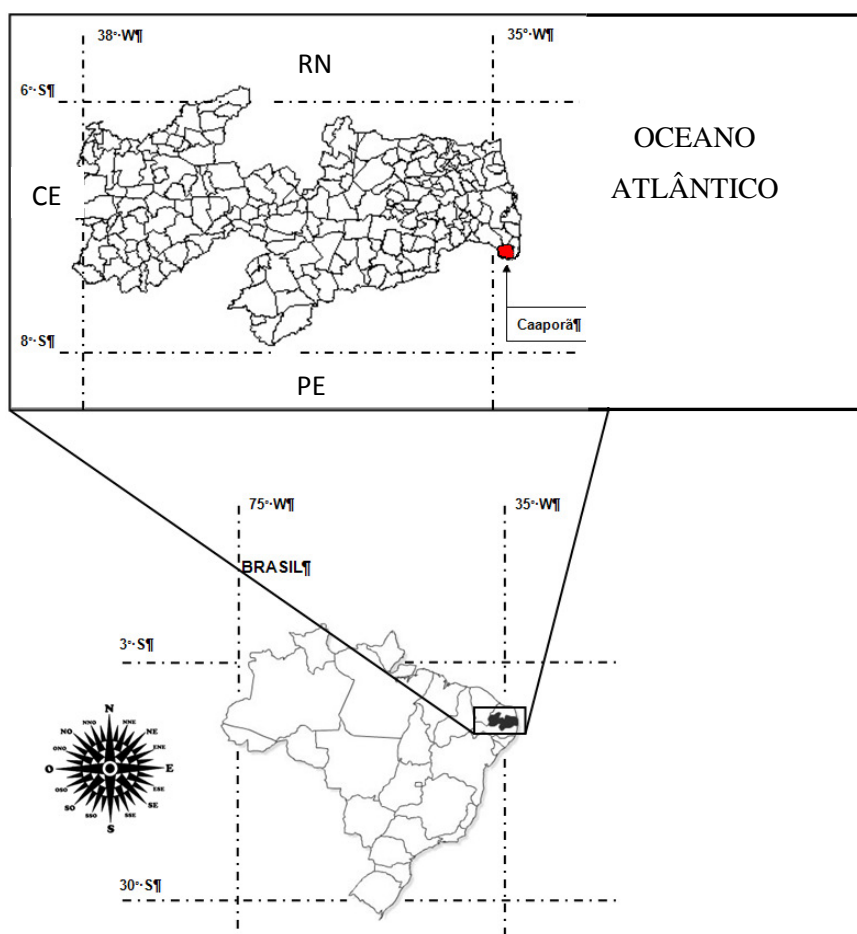
Sendo assim, os solos de várzeas próximas à região litorânea, onde é possível a ocorrência de tiomorfismo, requerem estudos mais aprofundados de suas propriedades sua relação com a pedogênese.

Devido a atual falta de conhecimento sobre esses solos no Brasil, o trabalho tem como objetivo realizar uma caracterização morfológica, física, química e mineralógica, de forma a fornecer subsídios para o desenvolvimento de práticas de manejo agrícola sustentável para evitar o fracasso da produção agrícola e impactos ambientais por conta da drenagem ácida.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área de estudo:

O trabalho foi desenvolvido na várzea do baixo vale do rio Camocim, município de Caaporã, Estado da Paraíba (Figura 1). Os solos dessa área são formados a partir de materiais recentes do Quaternário (Holoceno), constituídos por sedimentos aluviais e depósitos orgânicos da planície de inundação do referido rio, e por sedimentos marinhos depositados durante as últimas transgressões marinhas ocorridas ao longo do Quaternário (BITTENCOURT *et al.*, 1979). Observa-se também a contribuição de materiais transportados das áreas adjacentes à várzea estudada, cujos solos são formados a partir de sedimentos da Formação Barreiras.



**Figura 1:** Mapa de localização da área do estudo.

O clima da área enquadra-se no tipo As' de Köppen, quente e úmido com chuvas de outono-inverno. A precipitação pluviométrica média anual é da ordem de 1.500 mm, sendo o trimestre mais chuvoso os meses de maio, junho e julho. O trimestre mais seco recai nos meses de outubro, novembro e dezembro. A temperatura média anual é de 25° C.

As formações vegetais primárias típicas da área eram a floresta perenifólia de várzea e os campos hidrófilos de várzea. Hoje a vegetação nativa encontra-se totalmente erradicada, encontrando-se a área sob cultivo de cana-de-açúcar, apresentando áreas degradadas, desprovidas de vegetação ou com vegetação rasteira dominada por ciperáceas, devido ao manejo inadequado do solo.

## **2.2. Seleção, coleta e preparo das amostras de solos**

Com base na geomorfologia local foi estabelecida uma transeção partindo da margem do Rio Camocim no sentido das terras altas circundantes, visando identificar os fatores responsáveis pelo arranjo e distribuição dos solos na paisagem.

Foram selecionados 4 (quatro) pontos para a abertura de trincheiras, em função de pequenas variações do relevo, sendo um perfil no terço inferior da encosta das terras altas, dois na planície de inundação da área aluvial e um em posição de ombreira, próximo à calha principal do rio. Todas as áreas selecionadas eram cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar, sendo que nas posições mais baixas da várzea os cultivos estavam degradados e substituídos por campos secundários com predominância de ciperáceas. Toda a várzea é dotada de um sistema de drenagem e, segundo informações locais, as áreas entraram em processo de degradação após um ano de cultivo.

Os perfis foram descritos segundo o manual de descrição e coleta de solo no campo (SANTOS *et al.*, 2005). Após descrição dos perfis, foram retiradas amostras por horizonte, com vistas às análises físicas e químicas. Parte das amostras coletadas foi mantida em câmara refrigerada até a realização das análises químicas específicas. Todas as amostras foram transportadas para a Área de Solos do Departamento de Agronomia da UFRPE, onde foram realizados os procedimentos analíticos.

As amostras que não foram mantidas refrigeradas foram secas ao ar e peneiradas em peneira de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) para a realização das análises de caracterização física e química de rotina.

### **2.3. Procedimentos analíticos**

A análise física realizada foi a composição granulométrica pelo método do hidrômetro (GEE & BAUDER 1986), após a eliminação da matéria orgânica com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, utilizando o hexametáfosfato de sódio e hidróxido de sódio como dispersante [0.015 mol L<sup>-1</sup> (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> + 1.0 mol L<sup>-1</sup> NaOH], sob agitação por 16 horas.

As análises químicas de caracterização geral foram realizadas de acordo com os métodos da Embrapa (1997) e realizadas com as amostras de TFSA: pH em água e KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; cálcio, magnésio e alumínio trocável foram extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, e determinados por espectrometria de absorção atômica; (H + Al) foi extraído com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0 e determinado por titulação com NaOH; fósforo, sódio e potássio foram extraídos com solução de Mehlich- 1, sendo fósforo determinado por colorimetria, sódio e potássio determinados por fotometria de chama.

Também foram determinados carbono orgânico total e enxofre total, utilizando analisador elementar (LECO-CNS model 2000,) após pré-tratamento das amostras com HCl 6 mol L<sup>-1</sup> para eliminar a possível presença de carbono inorgânico.

Para avaliação de sulfato e cloreto solúveis foi obtido o extrato de saturação, pelo método de Rhoades (1996). Os teores de cloreto foram obtidos através do método da titulação potenciométrica (FRANKENBERGER, 1996) e os de sulfato por meio do método colorimétrico (VITTI, 1988). Também foram determinados a condutividade elétrica (CE), utilizando um condutivímetro digital Tecnopon MCA 150, diretamente no extrato de saturação, e o pH, de forma análoga à C.E, utilizando um potenciômetro Digimed 1000.

Para a caracterização de material sulfídrico foi realizado o teste de pH de incubação de acordo com o método da Embrapa (2006). Esse método consiste em incubar o solo na forma de uma camada com 1cm de espessura, sob condições aeróbicas úmidas, em temperatura ambiente, mostram um

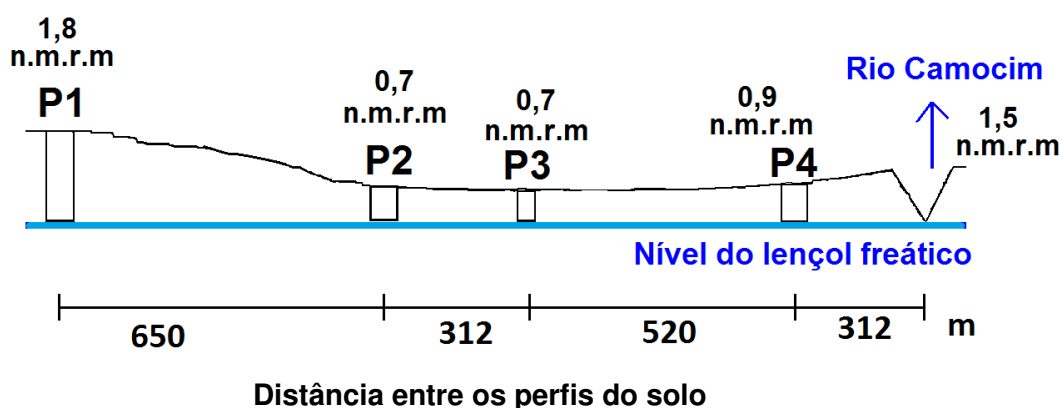
decréscimo no pH de 0,5 ou mais unidades para um valor de pH 4,0 ou menor no intervalo de oito semanas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Morfologia, classificação e granulometria dos solos

A distribuição dos solos ao longo da transeção estudada guarda estreita relação com o relevo, que condiciona a drenagem e, conseqüentemente, os processos de formação relacionados com o excesso de água, bem como influencia a diversificação dos materiais de origem dos perfis ao longo da topossequência (Figura 2).

#### Esquema de distribuição dos solos na paisagem



**Figura 2:** Localização dos perfis no transecto estudado. n.m.r.m (nível médio relativo dos mares).

Na parte mais alta, que corresponde ao terço inferior da encosta das elevações terciárias que margeiam a várzea, o solo é desenvolvido de materiais transportados da formação Barreiras nos horizontes superiores, apresentando os horizontes mais profundos desenvolvidos de sedimentos aluviais, com presença de lençol freático, formando um horizonte glei, a profundidades maiores que 100 cm, o solo foi identificado como P1, e classificado como Gleissolo Háptico Tb Distrófico argissólico.

O perfil P1, Gleissolo Háptico, apresenta sequência de horizontes Ap, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A/Btg e 2Btg, com o 2Btg tendo início a 107 cm, e o lençol freático a 152 cm de profundidade. É um solo imperfeitamente drenado e com uma textura arenosa ou média (leve) até os 107 cm, transitando de forma abrupta e ondulada para textura franco-argilo-arenosa no 2Btg. Na tabela 1 encontra-se as propriedades morfológicas do perfil.

**Tabela 1.** Propriedades morfológicas dos solos estudados.

Horizonte	Profundidade de (cm)	Cor úmida	Estrutura	Transição
<b>P1. GLEISSOLO HÁPTICO Tb Distrófico Argissólico</b>				
Ap	0 – 14	10YR 3/1	fraca pequena média granular	clara e plana
A1	14-46	10YR 3/2	maciça moderadamente coesa	gradual e ondulada
A2	46 – 83	10YR 3/1	Maciça	clara e ondulada
A/Btg	83 – 107	10YR 5/2	maciça moderadamente coesa	abrupta e ondulada
2 Btg	107 - 152 +	2,5Y 7/2	maciça coesa	
<b>P2. ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico</b>				
Hdjp	0 – 20	10YR 2/2	fraca pequena granular	abrupta e ondulada
Hdj1	20-50	10YR 5/2	moderada pequena a média blocos angulares	gradual e plana
Hdj2	50 +	2,5Y 5/1	moderada pequena a média blocos angulares	
<b>P3. GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico</b>				
Ajp	0 – 15	7,5YR	fraca moderada pequena granular	abrupta e ondulada
2Hdj	15-40	7,5YR 4/1	moderada pequena a média blocos angulares moderada e comum	gradual e plana
3Cgj2	40-47 +	7,5Y 5/1	moderada pequena a média blocos angulares moderada e comum	
<b>P4. GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico</b>				
Ap	0 – 20	10YR 3/2	fraca pequena média granular blocos subangulares	abrupta e ondulada
2Hd	20-43	10YR 2/1	fraca pequena a média granular	abrupta e plana
3Cgj1	43-85	10YR 4/1	fraca pequena a média blocos angulares	gradual e plana
3Cgj2	85-97 +	5Y 4/1	fraca pequena a média blocos angulares	

Os perfis P2, P3 e P4 são formados a partir de materiais do Quaternário, que compreendem sedimentos aluviais e sedimentos orgânicos da várzea do rio Camocim. Os perfis P2 e P3 são muito mal drenados e localizados na planície de inundação, porção mais baixa do relevo e afastada da calha principal do rio, apresentando a drenagem pior, cujo lençol freático encontrava-se a partir de 47 cm de profundidade, na estação seca, e provavelmente à superfície na maior parte do ano. Para coleta das amostras dos solos e

classificação dos mesmos, foi necessário rebaixar o lençol freático com auxílio de baldes para retirar o excesso de água.

O perfil P4 ocupa posição de ombreira, próximo à calha do rio, e também apresenta restrição à drenagem, com lençol freático a 98 cm de profundidade, sendo classificado como mal drenado.

O perfil P2, mais próximo da encosta da várzea é constituído por materiais essencialmente orgânicos, sendo classificado como Organossolo Tiomórfico Sáprico típico, com sequência de horizontes Hdjp, Hdj1 e Hdj2, apresentando horizonte sulfúrico desde a superfície (Tabela 1).

A planície de inundação, em condições naturais, normalmente se apresenta mais encharcada na proximidade das encostas, posições mais baixas da várzea, que sofrem influência do lençol freático, constantemente alimentado pela água de drenagem lateral superficial e subperifical das encostas (Figura 2), favorecendo o encharcamento permanente ao longo do ano, o que promove a acumulação de resíduos orgânicos, como consequência é onde formam-se os Organossolos. Arranjo semelhante de solos na paisagem foi constatado por Souza Júnior et al. (2001a), na várzea da rio Coruripe em Alagoas.

O perfil P3 foi classificado como Gleissolo Tiomórfico Órtico organossólico, textura muito argilosa, com sequência de horizontes Ajp, 2Hdj e 3Cgj, com lençol freático a 47 cm de profundidade (Tabela 1). A textura muito argilosa é compatível com as posições baixas da planície de inundação, entretanto, as condições originais de drenagem não foram suficientes para acumular materiais orgânicos com espessura suficiente para formar Organossolos. A presença de horizonte sulfúrico foi constatada morfologicamente desde a superfície, pela ocorrência de mosqueado de jarosita,

O perfil P4, na posição de ombreira, apresenta lençol freático a 98 cm e foi classificado como Gleissolo Tiomórfico Órtico organossólico, textura média/muito argilosa, com sequência de horizontes Ap, 2Hd, 3Cgj1 e 3Cgj2. A melhor condição de drenagem influenciou a profundidade da ocorrência do tiomorfismo, só constatado a partir do horizonte 3Cgj1, a 43 cm de profundidade, pela presença de mosqueado de jarosita. O horizonte hístico que



aparece no perfil tem, também, a espessura reduzida, insuficiente para caracterizar Organossolos.

O caráter tiomórfico, determinado pela presença de materiais sulfídricos, está condizente com a posição dos perfis P2, P3 e P4 na paisagem, ou seja, nas cotas mais baixas da várzea, mas também em relação ao atual nível do mar. As áreas de várzea deste estudo estão localizadas próximas a atual linha de costa, ou seja, fazem parte de uma região estuarina. Este fato justifica o acúmulo de materiais sulfídricos nestes solos, que provavelmente ocorreu ao longo do Quaternário, principalmente no Holoceno durante o último evento transgressivo marinho há aproximadamente 5.000 A.P. (Bittencourt et al., 1979), onde as atuais áreas de várzeas estavam sob influência da água do mar.

Como apresentado por Seiller (1982), a influência de água marinha aportando íons sulfatos; aporte de sedimentos continentais com elementos metálicos, a exemplo do ferro; acúmulo de material orgânico sob condições redutoras e a ação de bactérias redutoras de sulfato e ferro, são as condições propícias para a formação de materiais sulfídricos e como consequência a formação de solos tiomórficos.

A ocorrência de solos com acúmulo de materiais sulfídricos é comum em situação geomorfológicas semelhantes, a exemplo de manguezais em clima tropical (Ferreira et al., 2007, Souza-Júnior et al., 2007) e marismas em clima temperado (Otero e Macia et al., 2003).

Os resultados das análises granulométricas (Tabela 2) estão condizentes com as explicações acima. O perfil 1 apresenta predominância da fração areia, em consequência da participação efetiva de sedimentos do Grupo Barreiras na formação desse solo. Por outro lado os perfis 2 a 4 que estão distribuídos ao longo das cotas mais baixas da várzea, estão sob uma forte influência dos ciclos de inundações do sistema fluvial, aportando uma maior diversidade de sedimentos, principalmente com predomínio de sedimentos com granulometria mais fina (argila e silte), o que é condizente com o sistema hidrodinâmico predominante nas porções dos rios próximos a sua foz, ou seja, um sistema com baixa energia, favorecendo a sedimentação de partículas mais finas.

Ambientes costeiros protegidos da ação de ondas, favorece a sedimentação de partículas finas, silte e argila, em consequência os solos formados nestes ambientes normalmente são essencialmente argilosos ou siltosos (Souza-Júnior, et al., 2007).

De acordo com os dados apresentados nas tabelas 1 e 2 a posição dos solos na paisagem condiciona efetivamente os processos pedogenéticos predominantes para a formação dos solos estudados e estabelece o agrupamento de solos com propriedades morfológicas bem distintas.

**Tabela 2.** Granulometria e classe textural dos solos estudados.

Horizontes	Prof (cm)	Cascalho TFSA		Areia	Silte	Argila	Classe textural
		%					
<b>P1. GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico Argissólico</b>							
Ap	0 – 14	4,7	95,3	892	0	108	areia franca
A1	14 – 46	6,7	93,3	842	50	108	areia franca
A2	46 – 83	3,6	96,4	842	0	158	areia franca
A/Btg	83 – 107	5,0	95,0	842	0	158	areia franca
2 Btg	107 - 152 +	5,0	95,0	692	0	308	franco-argilo-arenosa
<b>P2. ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico</b>							
Hdjp	0 – 20	0	100	392	300	308	franco-argilosa
Hdj1	20-50	2,00	98,0	142	100	758	muito argilosa
Hdj2	50 +	0	100	92	600	308	franco-argilo-siltosa
<b>P3. GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico</b>							
Ajp	0 – 15	1,0	99,0	0	100	900	muito argilosa
2Hdj	15-40	2,0	98,0	0	100	900	muito argilosa
3Cgj2	40-47 +	0	100	42	150	808	muito argilosa
<b>P4. GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico</b>							
Ap	0 – 20	10,4	89,6	742	50	208	Franco argilo arenosa
2Hd	20-43	4,0	96,0	342	200	458	Argilosa
3Cgj1	43-85	0	100	142	300	558	Argilosa
3Cgj2	85-97 +	0	100	142	200	658	muito argilosa

## 3.2. Propriedades químicas

### ***pH, presença de materiais sulfídricos e horizonte sulfúrico***

O perfil 1, Gleissolo Háptico, apresentou valores de pH em água variando de 4,3 a 5,7, com níveis de acidez moderada. Os perfis P2, P3 e P4 apresentaram reação muito ácida a extremamente ácida, sendo mais acentuada nos horizontes subsuperficiais. Os valores de pH nesses perfis variaram de 3,7 a 2,5 (perfis P2 e P3), sendo compatíveis com a existência de horizonte sulfúrico, formado em consequência da instalação de um sistema de drenagem implantado nestas áreas.

No perfil P4, o pH apresentou-se muito ácido apenas em profundidade (3,2 e 2,5), com os horizontes sulfúricos ocorrendo somente a partir de 43 cm (3Cgj1 e 3Cgj2), em virtude da melhor condição de drenagem deste perfil, mais próximo à calha do rio (ombreira). Os horizontes mais superficiais do P4, os valores de pH foram 6,9 e 4,2, respectivamente aos horizontes Ap e 2Hd, não sendo considerados como horizontes sulfúricos. O valor mais elevado em Ap do P4 está relacionado com a adição de calcário para o cultivo da cana-de-açúcar nesta parte da área. A tabela 3 mostra o conjunto das propriedades químicas dos perfis estudados.

O teste de pH de incubação realizado para caracterização da presença de materiais sulfídricos apresentou resultado positivo apenas para os perfis P2, P3 e P4 (Tabela 4), que já apresentavam acidez em virtude da drenagem da área, confirmando os dados do pH destes perfis e a classificação dos solos como tiomórficos no segundo nível categórico. De acordo com a Embrapa (2006), após 8 semanas de incubação, resultando um pH inferior a 3,5 ou uma queda no valor de pH de 1 unidade, está caracterizada a presença de materiais sulfídricos.

Este teste também confirmou que materiais sulfídricos em P4 ocorre a partir de 43 cm de profundidade, devido à melhor condição de drenagem dos mesmos em relação aos perfis P2 e P3. Estes dados nos permitem confirmar a ocorrência de solos tiomórficos nas várzeas do Rio Camocim.

**Tabela 3.** Análises químicas dos solos estudados

Horizontes	pH (1:2,5)		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	H + Al (cmolckg <sup>-1</sup> )	Al (cmolc kg-1)	T	V	m	PST	COT g kg <sup>-1</sup>	Pdisp (mg dm <sup>-3</sup> )
	Água	KCl 1N													
<b>P1. GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico Argissólico</b>															
Ap 0-14	5,4	4,2	1,1	0,7	0,16	0,36	2,2	4,2	0,4	6,4	35	15	5	8,2	10,44
A1 14-48	5,7	4,7	1,8	0,1	0,05	0,31	2,3	2,3	0,2	4,6	60	8	7	5,8	14,06
A2 46-83	5,3	4,2	0,5	0,3	0,03	0,31	1,2	3,4	0,7	4,6	25	37	4	4,4	2,73
A/Btg 83-107	5,0	4,1	0,6	0,3	0,03	0,16	1,1	2,6	1,8	3,7	31	51	7	2,8	3,72
2 Btg 107-152+	4,8	3,8	1,0	1,1	0,04	0,17	2,3	2,1	1,2	4,4	52	35	4	0,7	1,39
<b>P2. ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico</b>															
Hdjp 0-20	3,7	3,4	2,1	0,7	0,41	0,31	3,5	33,4	9,4	36,9	9	73	1	159,2	8,31
Hdj 1 20-60	2,9	2,7	7,8	0,8	0,03	0,21	8,8	43,1	6,1	51,9	17	41	0	195,0	4,16
Hdj2 50-60+	2,5	2,3	7,0	11,5	0,42	0,25	19,2	46,2	6,6	65,4	29	26	0	82,0	11,22
<b>P3. GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico</b>															
Ajp 0-15	3,5	3,0	0,8	0,9	0,07	0,31	2,1	25,8	9,5	27,9	8	82	1	57,0	11,10
2Hdj 15-40	2,7	2,4	3,6	0,9	0,07	0,33	4,9	34,1	7,4	39,0	13	60	1	84,7	4,65
3Cgj2 40-47	2,5	2,3	2,8	9,9	0,03	0,20	12,9	58,4	8,4	71,3	18	39	0	64,7	10,09
<b>P4. GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico</b>															
Ap 0-20	6,9	6,3	4,4	0,7	0,43	0,38	5,9	12,3	9,5	8,2	72	6	2	36,0	200,64
2Hd 20-43	4,2	3,5	4,1	0,2	0,43	0,61	5,4	30,5	7,4	35,9	15	31	2	162,4	38,98
3Cgj1 43-86	3,1	3,0	7,8	0,6	0,18	0,44	9,1	18,8	8,4	27,9	33	45	2	36,1	29,21
3Cgj2 85-97+	2,5	2,3	4,7	0,7	0,03	0,36	5,8	44,8	9,6	50,6	11	64	1	54,4	40,77

**Tabela 4.** Valores de enxofre total e pH de incubação dos solos estudados.

Horizontes	Enxofre Total (%)	pH de incubação			
		15 dias	30 dias	45 dias	60 dias
<b>P1. GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico Argissólico</b>					
Ap 0-14	<0,05	5,2	5,4	5,4	5,3
A1 14-48	<0,05	5,7	5,7	5,8	6,1
A2 46-83	<0,05	5,2	5,3	5,5	5,6
A/Btg 83-107	<0,05	4,9	4,5	5,2	5,2
2 Btg 107-152+	<0,05	4,7	4,6	4,6	4,8
<b>P2. ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico</b>					
Hdjp 0-20	0,71	3,4	3,4	3,3	3,3
Hdj1 20-60	2,32	2,8	2,7	2,7	2,6
Hdj2 50-60+	3,04	2,2	2,5	2,6	2,7
<b>P3. GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico</b>					
Ajp 0-15	0,97	3,2	3,2	3,1	3,3
2Hdj 15-40	2,04	2,8	2,8	2,7	2,9
3Cgj2 40-47	3,60	1,9	1,9	1,9	2,1
<b>P4. GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico</b>					
Ap 0-20	0,22	5,3	5,4	5,3	5,3
2Hd 20-43	1,03	3,8	3,8	3,7	3,8
3Cgj1 43-86	0,17	2,7	2,7	2,7	2,7
3Cgj2 85-97+	0,20	2,2	2,1	2,0	2,2

Ainda na tabela 4 são apresentados os valores de enxofre total. De acordo com os resultados pode-se observar que os horizontes dos perfis 2, 3 e 4 apresentam valores bem mais elevados de enxofre total em relação ao perfil 1, principalmente nos horizontes inferiores. Os perfis P2 e P3 apresentaram valores de enxofre total variando de 7,1 a 36,0 g kg<sup>-1</sup>, o P4 apresentou valores bem menores, variando entre 1,7 e 10,3 g kg<sup>-1</sup>.

Os elevados valores do enxofre total, considerando que os solos apresentam indícios e forte oxidação (valores de pH muito baixos), devem estar associados às formas oxidadas do enxofre, a exemplo da jarosita, a qual foi identificada na área dos perfis 2 e 3 por meio da análise de DRX (dados apresentados do Capítulo II), mas também pode estar associado às formas reduzidas do enxofre, como a pirita, greijita e schwartmanita.

A determinação do enxofre total era recomendada para a caracterização dos materiais sulfídricos, que deveriam apresentar valores maiores que 7,5 g kg<sup>-1</sup>. Por este critério os horizontes 3Cgj1 e 3Cgj2 do perfil P4 não poderiam ser classificados como materiais sulfídricos (Oliveira et al., 1992).

Souza Junior et al. (2001), trabalhando com solos tiomórficos da várzea do rio Coruripe em Alagoas, os caracterizou com valores bem mais baixos de

enxofre total que os encontrados no presente estudo, e observou que muitos horizontes sulfúricos não preencheram este requisito.

Os teores de sulfato solúvel devem ser maiores do que 0,05 % para que um horizonte seja considerado sulfúrico. A determinação do pH é, entretanto, indispensável pois alguns horizontes que atendem ao requisito de sulfato estabelecido pela Embrapa não atendem o requisito do pH Embrapa (1999).

Este critério é importante na caracterização de solos tiomórficos, que neste estudo podem ser confirmados pelos valores de sulfato solúvel determinados no extrato da pasta saturada (Tabela 5). Com base nos teores de sulfato solúvel, pode-se observar que todos os horizontes com pH abaixo de 3,5 apresentaram valores altíssimos deste íon, chegando a atingir valores da ordem de  $67.242 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ , que corresponde a 645 % dos valores de referência. Os valores encontrados nos horizontes com pH de 3,5 ou menor, variaram de 3,5 a 645%, de íon sulfato, com aumento diretamente proporcional à acidez e às condições de deficiência de aeração.

Os elevados valores de sulfato solúvel nos perfis 2 a 4 relacionam-se com avançado estágio de sulfurização que se encontram os solos estudados, devido a densa drenagem que essas áreas sofreram para promover o cultivo da cana-de-açúcar. Em solos tiomórficos preservados, também no Brasil, os teores de sulfato solúvel são significativamente mais baixos ( $< 30 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ) (Ferreira et al., 2007b)

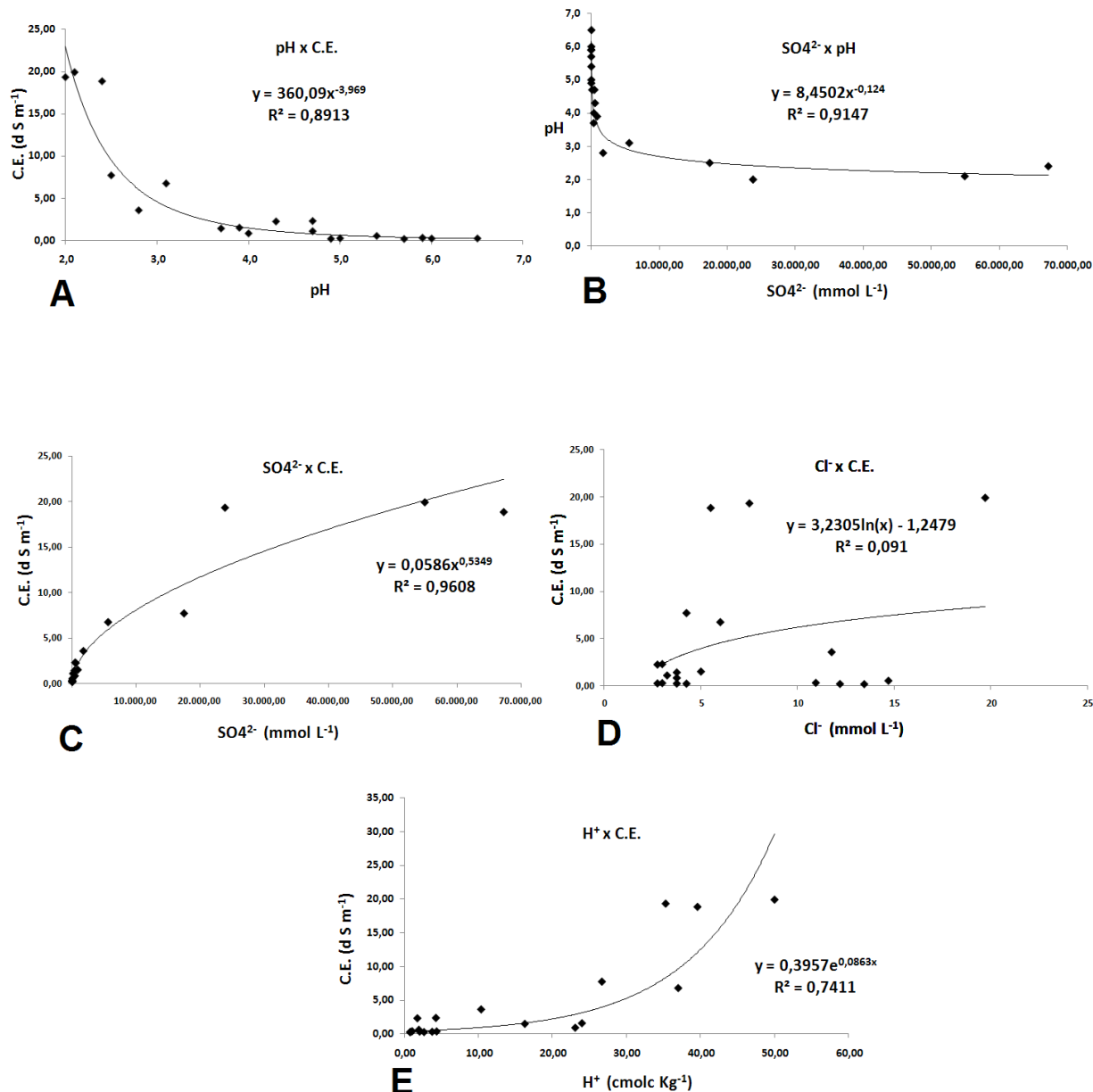
A partir dos dados apresentados na tabela 5 pode-se inferir que os valores da condutividade elétrica só foram maiores que  $4 \text{ dS m}^{-1}$  nos horizontes sulfúricos com pH menor que 2,5, mostrando a estreita correlação entre a condutividade elétrica e a acidez. Isto vem corroborar as observações feitas por Souza Junior et al. (2001), em solo tiomórficos da várzea do rio Coruripe, indicando que a alta condutividade elétrica encontrada naqueles solos tiomórficos não era consequência de alta concentração de sais solúveis, e sim devido a presença do ácido sulfúrico, gerado pela oxidação dos sulfetos.

A figura 3 apresenta uma série de correlações para demonstrar a relação existente entre a geração de acidez nestes solos e a oxidação de materiais sulfídricos. De acordo com os dados apresentados, pode comprovar a ausência de influência marinha atual nas propriedades dos solos.

**Tabela 5.** Análise de ânions solúveis, pH e C.E. do extrato da pasta saturada dos solos estudados.

Horizontes	Profund. (cm)	pH	C.E. (dS m <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup>
<b>P1. GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico Argissólico</b>					
Ap 0-14	<sup>1</sup> 0 – 14	6,5	0,28	3,42	0,38
A1 14-48	14 – 46	5,0	0,30	2,89	0,28
A2 46-83	46 – 83	4,9	0,24	2,12	1,22
A/Btg 83-107	83 – 107	5,7	0,22	2,35	1,35
2 Btg 107-152+	107 - 152 +	6,0	0,27	2,85	0,43
<b>P2. ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico</b>					
Hdjp 0-20	0 – 20	3,9	1,55	87,29	0,50
Hdj1 20-60	20-50	3,1	6,78	560,10	0,60
Hdj2 50-60+	50 +	2,4	18,86	6.724,26	0,55
<b>P3. GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico</b>					
Ajp 0-15	0 – 15	3,7	1,46	36,67	0,38
2Hdj 15-40	15-40	2,5	7,74	1.742,91	0,43
3Cgj2 40-47	40-47 +	2,1	19,93	5.493,97	1,97
<b>P4. GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico</b>					
Ap 0-20	0 – 20	7,7	1,14	15,06	0,33
2Hd 20-43	20-43	4,0	0,88	41,57	0,38
3Cgj1 43-86	43-85	3,1	3,61	175,37	1,18
3Cgj2 85-97+	85-97 +	2,5	19,33	2.381,57	0,75

A figura 3a correlaciona pH e CE e, de acordo com a equação apresentada, ocorre uma forte correlação entre a acidez do solo e a condutividade elétrica do mesmo, o que é reforçado pelas informações apresentadas nas figuras 3b e 3c, que demonstram a forte relação do íon sulfato solúvel com o pH e CE, ou seja, a elevada condutividade elétrica e os baixos valores de pH estão relacionados com a oxidação de materiais sulfídricos e formação de ácido sulfúrico, que ocorre a partir da drenagem destes solos e da vigência do processo de sulfurização. A correlação apresentada na figura 3e, também confirma esta afirmação, demonstrando a estreita relação entre os valores de H<sup>+</sup> e a condutividade elétrica. A atual ausência de influência marinha nas propriedades dos solos estudados pode ser atestada ainda, pela baixíssima correlação entre os valores de cloreto solúvel e a condutividade elétrica (figura 3d).



**Figura 3.** Correlações entre pH e CE (figura A) , SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e pH (figura B), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e CE (figura C), Cl<sup>-</sup> e CE (figura D) e H<sup>+</sup> e CE (figura E), no extrato da pasta saturada.

### **Carbono orgânico total**

Todos os perfis estudados foram enquadrados nas ordens dos Gleissolos e Organossolos, solos que, pelas condições de formação em ambiente de excesso de água, têm normalmente constituição orgânica ou apresentam horizontes minerais com altos teores de matéria orgânica. Os resultados reforçam que as condições de drenagem dos solos condicionam os processos



pedogenéticos que favorecem o acúmulo de carbono orgânico nos solos e suas variações ao longo do perfil.

O perfil 1, Gleissolo Háptico, apresentou teores de carbono de médios a baixos, com valores variando entre 8,2 e 0,7 g kg<sup>-1</sup>, os quais diminuíram de acordo com a profundidade do solo.

Os perfis relacionados com as posições de várzea propriamente dita, ou seja, nas áreas de cotas topográficas mais baixas, apresentaram valores variando de altos a muito altos, em função da profundidade de ocorrência e a posição mais ou menos rebaixada dos solos.

O perfil P2, relacionado com a posição mais rebaixada e de pior drenagem, foi classificado como Organossolo e apresentou valores de carbono orgânico de 159,2; 195,0 e 82,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente nos horizontes Hdj<sub>p</sub>, Hdj<sub>1</sub> e Hdj<sub>2</sub>. Este solos também apresentou teores relativamente altos da fração argila, o que pode ter favorecido a ocorrência de cores mais claras de gleização, a despeito dos teores de matéria orgânica, não apresentando colorações escuras características dos horizontes orgânicos, só ocorrendo cores escuras no horizonte superficial.

O perfil P3, também relacionado com a planície de inundação, apresentou teores de carbono orgânico de 57,0, 84,7 e 64,7 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente nos horizontes A<sub>jp</sub>, 2Hd<sub>j</sub> e 3Cg<sub>j</sub>, sendo classificado como Gleissolo em virtude do horizonte hístico 2Hd<sub>j</sub> não apresentar espessura suficiente (25 cm) para seu enquadramento como Organossolo. Os teores de carbono orgânico são, entretanto, bastante altos ao longo de todo o perfil. Os altos teores de material mineral, constituídos por valores extremamente altos de argila e a forte gleização também são os responsáveis pelas cores cinzentas dos horizontes subsuperficiais.

O perfil P4, com melhor drenagem (em relação aos perfis 2 e 3), apresenta teores de matéria orgânica de 36,0; 162,4, 36,1 e 54,4 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, nos horizontes A<sub>p</sub>, 2Hd, 3Cg<sub>j1</sub> e 3Cg<sub>j2</sub>, sendo classificado como Gleissolo. O horizonte orgânico 2Hd tem espessura menor e os horizontes minerais apresentam teores de carbono mais baixos que os do P2.

### ***Bases trocáveis, alumínio trocável e capacidade de troca de cátions.***

Os dados relativos a este item estão apresentados na tabela 3. Observa-se que o complexo de troca dos perfis P2 e P3, localizados na planície de inundação e com as piores condições de drenagem, apresentaram o cátion magnésio como cátion dominante entre as bases de troca dos horizontes mais profundos, com valores entre 9,9 e 11,5  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ .

A concentração do magnésio trocável nos horizontes mais profundos deve-se, provavelmente, a influência marinha a que esta área este sujeito ao longo do Holoceno (KRAUSKOPF, 1967; BROWNLOW, 1979) e que influenciou na formação dos solos tiomórficos. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza Junior et al. (2001), nas várzeas do rio Coruripe em Alagoas.

O cálcio foi o cátion dominante nos perfis de solos tiomórficos P2, P3 e P4, exceto nos horizontes inferiores do P3 e P4, que apresentaram altos níveis de magnésio. O cálcio apresentou seus maiores valores em profundidade, variando entre 0,8 e 7,8  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . As maiores concentrações do cálcio em profundidade podem ser resultantes da influência de calcários da Formação Gramame, que embasam a Formação Barreiras ao longo da região estudada e que afloram em alguns pontos da área de estudo. Os valores superficiais mais altos de Ca do perfil P4 são resultantes da aplicação de calcário.

O potássio, nos solos da várzea, apresentou valores baixos a médios, variando entre 0,43 e 0,03  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , com a profundidade. São também muito baixos os valores do Na trocável e da saturação por sódio, o que é compatível com o clima úmido da área, pela ausência de minerais fontes e a não influência de aporte de água marinha atualmente.

Nos perfis P2, P3 e P4 a soma de bases (S) aumenta com a profundidade, cujos valores variam de 2,1 a 19,2  $\text{cmol}_c \text{ kg}$ , de forma inversamente proporcional à diminuição do pH, contrariamente ao que ocorre nos solos não tiomórficos. Esta característica pode estar ligada a destruição de minerais do tipo 2:1 (a exemplo de esmectitas), liberando principalmente magnésio e também cálcio para o complexo de troca.

Apesar dos altos valores da soma de bases nos horizontes tiomórficos, o Al apresentam-se como o principal cátion no complexo de troca dos solos. O

processo de sulfurização gerando forte acidez pode promover uma hidrólise muito forte sobre minerais primários, a exemplo dos feldspatos, e secundários como caulinita, liberando o alumínio da estrutura desses minerais para a solução e o complexo de troca.

Os teores de hidrogênio variaram entre 50,0 e 16,3  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , nos horizontes tiomórficos. Deve-se também levar em consideração, em solos tiomórficos sob condições de drenagem, que os altos teores de hidrogênio originam-se principalmente da oxidação dos materiais sulfídricos, e consequente formação de ácido sulfúrico (Seiler, 1992).

Quanto à saturação por bases, todos os perfis da várzea são distróficos, observando-se um aumento com a profundidade nos perfis P2 e P3, e um decréscimo no P4, onde apenas o horizonte superficial apresentou-se eutrófico, com 72 % de saturação por bases, devido à aplicação de calcário, com valores decrescendo até 11% no 3Cgj2. Nos perfis P2 e P3, os valores da saturação por bases variaram entre 8 e 29%.

A CTC mostrou-se muito baixa, no perfil da encosta (P1), de natureza mais arenosa e com baixos teores de carbono orgânico, passando a muito alta, nos solos tiomórficos (P2, P3 e P4), cujos valores variaram entre 35 e 72  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , devido à presença de colóides orgânicos e textura muito argilosa. Valores semelhantes foram observados por Souza Júnior *et al.* (2001) e Lani (1998) em Gleissolos e Organossolos Tiomórficos em Alagoas e Espírito Santo.

#### **4. CONCLUSÕES**

1. A distribuição dos solos na várzea do rio Camocim guarda estreita relação com o relevo, que condiciona a drenagem e, conseqüentemente, os processos pedogenéticos relacionados com o excesso de água e acúmulo de materiais sulfídricos

2. Foi identificada a ocorrência de Organossolos Tiomórficos e Gleissolos Tiomórficos na várzea do rio Camocim, Caaporã, PB, tanto na planície de inundação, como na ombreira, próximo à calha principal do rio.

3. A presença de horizonte sulfúrico foi constatada a partir do horizonte superficial nos perfis muito mal drenados da planície de inundação, e a partir de 43 cm, nos solos mal drenados da ombreira.

4. Os solos tiomórficos estudados não apresentam salinidade, sendo a alta condutividade elétrica resultante da formação de ácido sulfúrico proveniente da oxidação da pirita ( $H^+$  e  $SO_4^{2-}$ ).

5. A degradação do canal em grandes áreas da várzea do rio Camocim, após um ano de cultivo, foi consequência da formação do horizonte sulfúrico, em consequência da drenagem da área, tendo em vista que os materiais sulfídricos ocorrem desde a superfície.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L. & FERREIRA, Y. de A. **Evolução paleogeográfica quaternária da costa do estado de Sergipe e da costa sul do estado de Alagoas**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, nº 2, p. 93-97, 1983.

BROWNLOW, A. H. **Geochemistry**. New Jersey. Prentice-Hall. 1979, 497p.

CARSON, C. D.; FANNING, D. S.; DIXON, J. B. Alfisols and Ultisols with Acid Sulphate Weathering Features in Texas. In: KITTRICK, J. A. *et al.* (Eds.). **Acid Sulphate Weathering**. Madison: Soil Science Society of America, p.127-146. 1982. (SSSA Special Publication Series, 10).

COOK, F.J.; HICKS, W.; GARDNER, E.A.; CARLIN, G.D.; FROGGATT, D.W. Export of acidity in drainage water from acid sulphate Soils. **Marine Pollution Bulletin**, v. 41, n. 7-12, p. 319-326, 2000.

DENT, D. **Acid Sulphate Soils**: a baseline for research in development. Wageningen: Int. Inst. for Land Reclamation and Improvement, 1986. 203p. (Public, 39).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2ª ed. 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **Embrapa**, Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 212p, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **Embrapa**, Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 412p, 1999.

FANNING, D.S.; KERAMIDAS, V.Z.; EL-DESOKY, M.A. Micas. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2nd ed. Madison: SSSA, 1989. p. 551-634.

FERREIRA, T.O.; OTERO, X.L.; VIDAL-TORRADO, P.; MACÍAS, F. Redox Processes in Mangrove Soils under *Rhizophora mangle* in Relation to Different Environmental Conditions. **Soil Science Society of American Journal**, 71:484-491, 2007.

FRANKENBERGER, W.T.; TABATABAI, M.A.; ADRIANO, D.C.; DONER, H.E. Bromine, Chlorine and Fluorine. In: **Methods of Soil Analysis: Chemical Methods**. Part 3. Madison, Wisconsin, USA: SSSA, 1996. p.847-867.

GEE, G.W., BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.), **Methods of Soil Analysis**, Part 1, Physical and Mineralogical Methods, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, p. 383–412. 1986.

KRAUSKOPF, K. B. **Introduction to geochemistry**. New York. Mc. Graw-Hill, 1967, 721p.

LANI, J. L. **Deltas dos Rios Doce e Itapemirim: Solos, com ênfase nos tiomórficos, água e impacto ambiental do uso**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 169p.

LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2ed. Campinas: SBCS/SNLCS, 1984. 45p.

LJUNG K., SELINUS O., OTABBONG E. Metals in soils of children's urban environments in the small northern European city of Uppsala. **Sci Total Environ**, v. 366: 749p-759 p, 2006.

NORDMYR, L.; MATS, A.; PELTOLA, P. Metal pollution of estuarine sediments caused by leaching of acid sulphate soils. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 76: 141 – 152, 2008.

OLIVEIRA, J. B. de; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento.** Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

PONS, L. J. Outline of the genesis, characteristics, classification and improvement of acid sulphate soils. In: Dost, H. (Ed.). **Acid sulphate soils.** Wageningen: Inst. Int. for Land Reclamation and Improvement, v.1, p.3-27. 1973.

PONS, L. J. & VAN BREEMEN, N. Factors influencing the formation of potential acidity in tidal swamps. In: DOST, H., VAN BREEMEN, H. (Eds.). **Acid sulphate soils.** Wageningen: Inst. Int. for Land Reclamation and Improvement, p.37-51. 1982.

PRADA-GAMERO, R.M., VIDAL-TORRADO, P., FERREIRA, T.O., 2004. Mineralogy and physical chemistry of mangrove soils from Iriri river at the Bertioga Channel (Santos, São Paulo, State, Brazil). **Brazilian Journal of Soil Science** 28, 233-243.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezais brasileiros.** São Paulo, Universidade de São Paulo, 1991. 42p. (Tese de Livre Docência)

SEILER, E. **Acid sulphate soils – Their formation and agricultural use.** Hannover: Institute for Scientific Co-operation, p.92-110. 1992. (Natural Resources and Development, 35).

SOUZA JUNIOR, V.S.; RIBEIRO M.R.; OLIVEIRA L.B. Caracterização e classificação de solo tiomórficos da Várzea do Rio Cururipe, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 977-986, 2001 a.

SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO, M.R.; OLIVEIRA, L.B. Propriedades químicas e manejo de solos tiomórficos da várzea do rio Coruripe, Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 811-822, 2001b.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, G.M.; ANJOS, L.H.C. dos; EBELING, G.A. Caracterização de solos Brasileiros com elevados teores de material orgânico. **Magistra, Cruz das Almas-BA**, v.20, n.1, p.95-104, jan./mar., 2008.

VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal: UNESP, 1988. 37p.



## **CAPÍTULO II**

**SOLOS TIOMÓRFICOS DA VÁRZEA DO RIO CAMOCIM, CAAPORÃ,  
PB: Mineralogia e extração seqüencial de ferro.**

## RESUMO

O conhecimento da assembléia mineralogia dos solos de várzeas, em especial aquelas localizadas em regiões litorâneas, nos permite entender sobre os processos geoquímicos predominantes, bem como as relações desses minerais com metais ou outros poluentes que ocorram no solo. Em áreas de várzeas litorâneas quando sob influência marinha podem ocorrer solos tiomórficos, os quais apresentam elevada acidez devido o processo de sulfurização, que ocorre mediante a drenagem dessas áreas, liberando metais pesados, além de apresentar uma composição mineralógica bastante complexa devido a diversas origens e a neogênese de minerais. Desta forma, este trabalho foi desenvolvido na várzea do rio Camocim, em Caaporã, PB, com o objetivo em conhecer a mineralogia e as formas de ferro nesses solos, visando à compreensão dos processos formadores destes solos e possíveis riscos de impacto ambiental devido ao uso desta área. As amostras foram coletadas em quatro trincheiras abertas nas posições de ombreira, planície de inundação e terço médio da encosta. As análises mineralógicas das frações areia, silte e argila foram realizadas por difratometria de raios X (DRX). Também foi realizada a extração seqüencial e análise total de ferro. Os minerais identificados por DRX foram: jarosita, quartzo, feldspatos, caulinita, esmectita (essencialmente montmorilonita), illita e gibbsita, na fração argila. Quartzo e feldspatos foram os minerais identificados nas frações areia e silte. Os valores da extração sequencial de ferro mostraram predomínio de formas não cristalinas de óxidos de ferro e baixíssimos valores ou valores nulo de ferro associado à pirita, indicando que os solos tiomórficos estudados encontram-se em avançado estágio de oxidação, a qual foi promovida pela densa drenagem realizada na área de estudo na tentativa de viabilizar o cultivo da cultura da cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** difração de raios X, argilominerais, teste de Greene Kelly, extração sequencial.

## **ABSTRACT**

### **Acid sulfate soil at the floodplain Camocim river, Caaporã, PB: mineralogy and sequential extraction of iron.**

Knowledge on the mineralogical assembly of floodplain soils, particularly, that ones located in coastal regions, are important to understand the dominant geochemical soil processes and the relations between soil minerals and pollutants. In coastal lowlands under marine influence sulfide soils may occur and can develop high levels of acidity due to the formation of sulfuric horizons if drained. The process of sulfurization, which develops by natural or artificial drainage, can also liberate heavy metals and show a complex mineralogical composition due to different mineral origins and new formations. The objective of this work was to study the mineralogy and the iron forms in these soils at the floodplain of Camocim river, Caaporã, PB, aiming to understand soil forming processes and the environmental impact risks due to the agricultural use of this area. Four soil profile pits were open in the positions of river channel terrace (P4), floodplain (P2 and P3) and highland foot slope (P4). Mineralogical analysis of sand, silt and clay fractions were carried out by X-ray diffraction (XRD). Iron sequential extraction and total iron determinations were also obtained. The main soil minerals identified by X-ray diffraction in the clay fraction were jarosite quartz, feldspars, kaolinite, smectite (essentially montmorillonite), illite and gibbsite. Quartz and feldspars were the minerals identified in sand and silt fractions. The results of the iron sequential extraction showed predominance of non crystalline iron oxides and very low amounts or absence of iron associated with pyrite, reflecting the advanced oxidation stage determined by the drainage system.

**Keywords:** X rays diffraction, clay minerals, Greene Kelly test, sequential extraction.

## 1. INTRODUÇÃO

Na assembléia mineralógica comumente encontrada em solos hidromórficos, além dos minerais primários, a exemplo de quartzo e feldspatos, também é comum a presença de caulinita, illita e esmectita. Estudos recentes com solos tiomórficos em ambientes de manguezais, ecossistema associado às várzeas litorâneas, identificaram uma assembléia mineralógica bastante diversificada e com indicativos de ambiente geoquímico bastante complexo.

Constatou-se a ocorrência simultânea de minerais do grupo das esmectitas, além de illita, caulinita, vermiculita, gibbsita e goethita, sendo os dois últimos minerais associados ao aporte recente de sedimentos. Os demais surgem devido principalmente a processos de neoformação ou carreados das áreas adjacentes (PRADA-GAMERO *et al.*, 2003; SOUZA JÚNIOR, *et al.*, 2008 e SOUZA JÚNIOR *et al.*, 2010).

A despeito do papel dos sulfetos metálicos em solos tiomórficos, os minerais esmectíticos também têm grande relevância em estudos de solos com drenagem impedida, pois devido às suas propriedades químicas e estruturais funcionam como grande adsorvente de poluentes e metais, servindo de barreira a vários tipos de contaminantes inorgânicos e orgânicos (REID-SOUKUP & ULREY, 2002). Outros filossilicatos, tais como caulinita, illita, vermiculita, também encontrados neste ambiente tem sua importância para a compreensão dos processos pedogenéticos recorrentes, da origem de sedimentos, e também para aqueles estudos descritos para as esmectitas.

O conhecimento da assembléia mineralógica nos permite compreender as condições físico-químicas que ocorrem no ambiente do solo, auxiliando na compreensão dos processos pedogenéticos predominantes (VELDE & CHURCH, 1999; KU & WALTER, 2003), bem como nas relações desses minerais com metais ou outros poluentes que ocorram no solo (CALIANI *et al.*, 1997; PREDA & COX, 2002).

O processo de sulfurização em solos tiomórficos, decorrente de sua drenagem e conseqüente oxidação de sulfetos metálicos, provoca a geração de acidez e liberação de formas solúveis de metais a exemplo do ferro, que pode ser transportados através das águas de drenagem para os rios, estuários e ambiente marinho, podendo causar danos ambientais nas áreas

circunvizinhas (POWELL & MARTENS, 2005; NORDMYR *et al.*, 2007; MACDONALD *et al.*, 2007).

Os ambientes de planícies de inundação costeira apresentam importante papel no ciclo biogeoquímico do ferro e enxofre (FERREIRA *et al.*, 2007), devido a formação e acumulação de diversos compostos de sulfetos de ferro. Estudos realizados (HUERTA-DIAZ & MORSE, 1990; KOSTKA & LUTHER, 1995; OTERO & MACÍAS, 2003) mostram que estes ambientes são importantes reservatórios de ferro, além de metais traço, visto que sua geoquímica está também associada aos sulfetos de ferro

A determinação dos teores totais de metais como o ferro em solos, é uma forma pouco eficiente para a compreensão de seu papel nos processos biogeoquímicos, em consequência de sua interrelação com frações específicas que ocorrem no solo, tais como matéria orgânica, óxidos e oxidróxidos de ferro, sulfetos de ferro e argilominerais (LUOMA, 1990; Di TORO *et al.*, 1990). Por outro lado, a especiação de metais determinada através da extração seqüencial, apresenta-se como a forma mais recomendada na determinação de teores de metais em solos e sedimentos (TESSIER *et al.*, 1979; KERSTEN, 2002; GLEYZES *et al.*, 2002).

O emprego da extração seqüencial em solos e sedimentos para estudo da geoquímica do ferro é bastante amplo em várias regiões do mundo, principalmente em ambientes estuarinos (THAMDRUP *et al.*, 1994; KERSTEN, 2002; OTERO & MACÍAS, 2003;) e especificamente em solos tiomórficos (JOHNSTON *et al.*, 2010; CLAFF *et al.*, 2010). No Brasil, esses trabalhos também vêm sendo realizados essencialmente em sedimentos de baías e áreas de manguezais da região sudeste (FARIA & SANCHEZ, 2001; FERREIRA *et al.*, 2007). Os trabalhos com essa abordagem e nesses ambientes ainda são bastante escassos na região nordeste, principalmente no que concerne aos estudos em áreas agrícolas.

Os solos tiomórficos são um dos poucos casos em que a severidade de seus problemas afeta vários aspectos da utilização das terras, principalmente devido ao impacto ambiental causado pelo seu uso (DENT, 1986; POWELL & MARTENS, 2005). Apesar das implicações devido a sua utilização, esses solos vêm sendo cultivados em várias partes do mundo, normalmente adotando

práticas de manejo que evitem ou, pelo menos, reduzam a acidez (KANAPATHY, 1973; SEILER, 1992; SOUZA JUNIOR *et al.*, 2001b; YANG, 2008).

Estudos recentes têm constatado sérios danos ao meio ambiente como resultado da exploração agrícola de áreas com solos tiomórficos, devido à geração de acidez e liberação de metais através das águas de drenagem (COOK *et al.*, 2000; JOHNSTON *et al.*, 2004; POWELL & MARTENS, 2005). Esses problemas atingiram níveis tão alarmantes na Austrália, que levou este país à ações governamentais, regulando o uso, manejo e preservação das áreas cobertas por solos tiomórficos (THOMAS *et al.*, 2003).

Na Austrália, embora existam muitas áreas cultivadas sobre esses solos, especificamente com a cultura da cana-de-açúcar (SMITH *et al.*, 2003; LE *et al.*, 2008), é empregado um manejo adequado a solos tiomórficos, obedecendo uma legislação para evitar danos ao meio ambiente.

A região litorânea do estado de Pernambuco se destaca, historicamente, por sua vocação na produção da cultura da cana-de-açúcar, desenvolvida em áreas de terras altas (tabuleiros costeiros e áreas de Mar de Morro), sendo que uma parte significativa dessa produção está estabelecida em áreas de várzeas, e que foi bastante incentivada por ações governamentais durante a execução do programa “Provárzeas Nacional”. A grande maioria dessas áreas se encontra nas proximidades do litoral, e quando essa localização na paisagem não influencia negativamente nas propriedades dos solos, é onde são obtidas as maiores produtividades de cana-de-açúcar do estado de Pernambuco.

A drenagem de várzeas próximas ao litoral e cultivadas com cana-de-açúcar em alguns estados nordestinos tem promovido o desenvolvimento de horizonte sulfúrico, com redução da produtividade nas áreas mais afetadas, como foi observado no estado de Alagoas por Souza Júnior *et al.* (2001 a, b). Atualmente, por meio de observações de campo e relatos de produtores nos estados da Paraíba e Alagoas, têm-se constatado mais ocorrências de solos tiomórficos, cujas áreas vêm apresentando severas perdas de produtividade e em alguns casos, abandono das terras.

Há uma falta de conhecimento sobre solos tiomórficos e como consequência tem-se o seu uso indevido, levando ao fracasso agrícola e ainda

podendo estar causando impactos ambientais, ainda ocultos. Por conta disto, gestores de algumas empresas do setor sucroenergético da região nordeste tem sentido a necessidade de realizar estudos com esses solos, para a compreensão de suas propriedades, potencialidades e limitações, obtendo subsídios técnicos e científicos para tomada de decisões no sentido de planejar o uso das terras.

Sendo assim, os solos de várzeas próximas à região litorânea, onde é possível a ocorrência de tiomorfismo, requerem conhecimentos mais detalhados de sua composição mineralógica e formas de ferro, relacionando essas propriedades com a distribuição dos solos na paisagem. Assim, o presente trabalho teve o objetivo de realizar uma caracterização mineralógica das frações areia, silte e argila de solos tiomórficos da várzea do rio Camocim, na Paraíba, bem como realizar a extração total e sequencial de ferro destes solos.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Localização e área de estudo:**

O trabalho foi desenvolvido na várzea do rio Camocim no município de Caaporã, Estado da Paraíba. Os solos dessa área foram formados, principalmente, a partir materiais recentes do Quaternário (Holoceno), caracterizados por sedimentos aluviais e depósitos orgânicos da planície de inundação do referido rio e por sedimentos marinhos depositados durante as últimas transgressões marinhas ocorridas ao longo do Quaternário (BITTENCOURT *et al.*, 1983). Ademais, há contribuição de materiais transportados das áreas adjacentes à várzea estudada, cujos solos são formados a partir de sedimentos do Grupo Barreiras.

O clima da área enquadra-se no tipo As' de Koppen, quente e úmido com chuvas de outono-inverno. A precipitação pluviométrica média anual é da ordem de 1500 mm, sendo o trimestre mais chuvoso os meses de maio, junho e julho. O trimestre mais seco recai nos meses de outubro, novembro e dezembro. A temperatura média anual é de 25° C. As formações vegetais típicas da área são a floresta de várzea e os campos de várzea, hoje

totalmente erradicados e sob cultivo da cana-de-açúcar e áreas desprovida de vegetação devido ao mal manejo do solo.

## **2.2. Seleção, coleta e preparo das amostras de solos**

Com base na geomorfologia local foi estabelecida uma transeção partindo da margem do Rio Camocim no sentido das terras altas circundantes, visando identificar os fatores responsáveis pelo arranjo e distribuição dos solos na paisagem. Foram selecionados 4 (quatro) pontos para a abertura de trincheiras, estabelecendo assim os perfis de estudo, cujas áreas foram ou estão sob cultivo de cana-de-açúcar. Os perfis foram descritos segundo o manual de descrição e coleta de solo no campo (SANTOS *et al.*, 2005). Após descrição dos perfis, foram retiradas amostras por horizonte para caracterização mineralógica e visando estudos de especiação de ferro. As amostras logo após a coleta foram resfriadas em campo e assim mantidas até os procedimentos laboratoriais.

Todas as amostras foram transportadas para a Área de Solos do Departamento de Agronomia da UFRPE, onde foram realizados os procedimentos analíticos.

## **2.3. Procedimentos analíticos**

### **2.3.1. Análises Mineralógicas**

As análises mineralógicas das frações areia, silte e argila foram realizadas por difratometria de raios X (DRX) nas amostras de todos os horizontes conforme metodologia proposta por Jackson (1975).

Os difratogramas foram obtidos empregando-se Difrátômetro de Raio X Shimadzu, operando a uma tensão de 40 kv, com corrente de 20 mA, radiação de Cu K $\alpha$ , com monocromador de grafite. As amostras de areia, silte e argila natural foram preparadas e analisadas na forma de pó (não orientadas). A análise foi realizada num intervalo de varredura de 5 a 70° 2 $\theta$  e velocidade de 2,0 °2 $\theta$  min<sup>-1</sup>.



As amostras de argila após os pré-tratamentos de eliminação de carbonatos, óxidos de ferro e matéria orgânica (JACKSON, 1975) foram saturadas com KCl (temperatura ambiente e aquecidas a 350° e 550°C) e saturadas por MgCl<sub>2</sub>, com posterior solvatação com etilenoglicol para as amostras com presença de filossilicatos do tipo 2:1 expansíveis. As argilas foram analisadas na forma de esfregaço sobre lâminas de vidro (amostras orientadas), com uma amplitude de varredura entre 3 e 35° 2θ, quando submetidas a solvatação com glicerol foram varridas entre 3 e 15° 2θ, em todos os casos com velocidade de registro de 1,5° 2θ min<sup>-1</sup>.

Através do tratamento da amostra de argila com Li e posterior aquecimento a 270 °C, efetua-se o efeito *Hofmann and Klemen*, o qual permite a distinção entre esmectitas com predomínio de cargas na camada octaédrica (montmorilonita) e as que apresentam predomínio de cargas na camada tetraédrica (beidelita ou nontronita). A presença de Li impede a expansão da entrecamada da montmorilonita, e permite a expansão no caso da beidelita ou nontronita (Greene-Kelly, 1953; Lim & Jackson, 1986). Com o objetivo de verificar o efeito *Hofmann and Klemen* nas amostras de argila dos solos estudados, as mesmas foram submetidas ao teste de Li (Greene-Kelly, 1953), realizando a saturação em LiCl 1mol L<sup>-1</sup> seguida de aquecimento a 270 °C durante 9 horas. Ao final, foram preparados depósitos de argila orientados sobre lâminas de vidro (Li270) e solvatadas em glicerol (Li270G) para análise por difração de raios X (Lim & Jackson, 1986).

Os critérios empregados para interpretação dos difratogramas e na identificação dos minerais constituintes das frações areia fina e grossa, silte e argila foram baseados no espaçamento interplanar (d) e no comportamento dos picos de difração conforme apresentado por Jackson (1979), Brown & Brindley (1980) e Moore & Reynolds (1989).

### **2.3.2. Extração sequencial e análise total de ferro**

As amostras congeladas foram submetidas à extração sequencial, utilizando 1 grama de solo para 40mL de extrator, para análises das formas de Fe, empregando o método proposto por Claff *et al.*, (2010), adaptado

especificamente para solos ácidos sulfatados, o qual permite diferenciar o elemento estudado em 4 frações (F) distintas da seguinte forma:

**F1** = Extração por  $\text{MgCl}_2$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ : ferro associado a formas solúveis e trocáveis. Agitação por 1 hora em temperatura ambiente, centrifugação a 3.500 rpm por 15 minutos.

**F2** = Extração por  $\text{HCl}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ : ferro associado às formas óxidos e oxiidróxidos de baixa cristalinidade. Agitação por 4 horas em temperatura ambiente, centrifugação a 3.500 rpm por 15 minutos.

**F3** = Extração por DCB – solução de 20 mL de solução de citrato de sódio 0,25 mol  $\text{L}^{-1}$  + bicarbonato de sódio 0,11 mol  $\text{L}^{-1}$  e 3g de ditionito de sódio: ferro associado a formas cristalinas de óxidos e oxiidróxidos. Agitação por 4 horas em temperatura ambiente, centrifugação a 3.500 rpm por 15 minutos;

**F4** = Extração por  $\text{HNO}_3$  concentrado: Extração de pirita. Agitação por 2 horas em temperatura ambiente, centrifugação a 3.500 rpm por 15 minutos.

Antes de se proceder a F4, as amostras foram mantidas sob agitação durante 16 horas com 30 mL de  $\text{HF}$  10 mol  $\text{L}^{-1}$  para eliminar o Fe associado aos silicatos e, posteriormente, durante 2 horas com 10 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado para eliminar a porção associada à matéria orgânica. Entre cada extração o resíduo foi lavado duas vezes com 20 mL de água ultrapura.

O grau de piritização do Fe (DOP) foi determinado segundo a eq. (1) representada a seguir.

$$\text{DOP (\%)} = (\text{Fe pirítico} / \text{Fe reativo} + \text{Fe pirítico}) \times 100 \quad (1)$$

Esta equação estabelece a porcentagem de Fe incorporada na fração pirítica (BERNER, 1970). No presente trabalho o Fe reativo (que pode reagir com sulfetos para formar pirita) é considerado como os oxidróxidos amorfos e pouco cristalinos (Otero & Macias, 2003). Neste, estudo considera-se como Fe reativo a somatória do Fe extraído nas frações F1, F2 e F3.

A extração total de ferro foi realizada com ataque triácido ( $\text{HCl} + \text{HF} + \text{HNO}_3$ ) e digestão em microondas segundo metodologia preconizada pela USEPA,

3052 (USEPA, 1996). Utilizou-se sub-amostras daquelas empregadas na extração seqüencial, após serem secas ao ar e trituradas em almofariz de ágata. O elemento foi analisado por espectroscopia de absorção atômica.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através da difração de raios X e extração sequencial de ferro permitiram identificar nos solos estudados uma assembléia mineralógica geoquimicamente diversificada, tais como minerais primários, filossilicatos do tipo 1:1 e 2:1, hidróxidos de alumínio, além dos minerais inferidos da extração seletiva de ferro, como: ferridrita, akaganeita, schwertmannita e pirita. De uma forma geral, grande parte desta assembléia é formada por minerais autigênicos, mas também muitos são herdados dos solos das áreas adjacentes.

Os minerais identificados por DRX foram: jarosita, quartzo, feldspatos, caulinita, esmectita (montmorilonita) e illita.

A jarosita foi identificada através do pico de difração dos planos basais em 0,309; 0,515 e 0,256 nm. O quartzo foi identificado pelos picos em 0,426 e 0,334 nm, feldspatos pelos picos em 0,686; 0,401; 0,325; 0,321nm, para estes últimos evidencia-se a ocorrência de ambos os grupos de feldspatos (ortoclásios e plagioclásios). A gibbsita foi identificada pelos picos de difração em 0,485 e 0,437 nm, a caulinita foi identificada pelos picos em 0,724 e 0,356 nm que colapsaram com tratamento térmico a 550°C. Mica do tipo illita foi identificada pelos reflexos do espaçamento basal em 1,00 e 0,50 nm, enquanto a esmectita foi identificada pelo pico de difração em 1,42 nm o qual expandiu após solvatação com glicerol.

A presença de jarosita foi relacionada com a presença de mosqueado de coloração amarela que recobria os agregados de solos nas superfícies das áreas dos perfis 2 e 3 (Figura 1), trata-se de um mineral (sulfato de ferro potássico) formado durante os primeiros estágios do processo de sulfurização, onde o ferro que está no estado reduzido ( $Fe^{2+}$ ) na forma de sulfetos é oxidado à  $Fe^{3+}$  e se liga aos sulfatos solúveis (gerados também pela oxidação dos sulfetos) na presença de potássio, que pode ser proveniente da hidrólise de feldspatos, durante a oxidação da pirita (IVARSON *et al.*, 1978).

Os resultados apresentados nas figuras de 2 a 8 referem-se a seleção de dois horizontes considerados como representativos de cada perfil estudado. Nas figuras 2 e 3 encontram-se os DRX das frações areia fina e grossa, respectivamente. De acordo estes resultados observou-se que no perfil 1 (Gleissolos Háplico ), localizado na porção mais elevada do terreno, ocorre exclusivamente quartzo na areia grossa e fina. Esses resultados estão condizentes com o material de origem desses solos, que correspondem aos sedimentos da Formação Barreiras, cuja fração mais grossa é constituída quase que exclusivamente de quartzo.

Ademais, devido estas áreas estarem localizadas em cota menor que 5 metros em relação ao atual nível médio dos mares, parte do material de origem desses solos também podem estar associada a antigos cordões arenosos formados durante os dois últimos eventos transgressivos e regressivos marinhos, ocorrido no Pleistoceno e Holoceno, respectivamente (Bittencourt et al., 1979).

Os perfis 2, 3 e 4 localizam-se em posição mais baixa na paisagem em relação aos perfis anteriores, estando em área sujeita a maior processo deposicional de sedimentos, tanto das terras adjacentes como principalmente daqueles trazidos em suspensão pelo Rio Camocim. Nesta porção da área de estudo, que está sujeita ao recebimento de distintas fontes de materiais de origem, a fração areia (fina e grossa) apresentou quartzo como mineral predominante, mas também feldspatos.

No caso dos feldspatos sua origem pode estar relacionado aos sedimentos trazidos pelo Rio Camocim, provenientes das áreas ao longo de sua bacia hidrográfica que é formada, de acordo com o mapa geológico da Paraíba, por um complexo de ortognaisse (DANTAS *et al.*, 1982).

A presença de feldspatos na fração areia representa reserva mineral (fonte de potássio) para as plantas e no caso de solos tiomórficos, devido a oxidação de sulfeto e geração de acidez, contribui para a formação de jarosita, que foi identificada em parte da área estudada (Figura 1).

A fração silte (Figura 4) apresenta composição mineralógica semelhante à fração areia fina. Porém, no silte também foi identificada a caulinita, que pode estar relacionada com pequenos agregados de argila não eliminados no

processo de dispersão, bem como ser caulinita pseudoamorfa originada de mica ou feldspato (KRETZSCHMAR *et al.*, 1997; JOLICOEUR *et al.*, 2000).

De acordo com os minerais encontrados de forma predominante na fração argila, cujos resultados são ilustrados nas figuras 5 a 8, foi possível distribuir os solos ao longo da sequência estudada em dois ambientes geoquímicos. O primeiro, representado pelo perfil 1, a despeito das condições hidromórficas identificadas em campo, apresenta o predomínio de minerais típicos de solos muito intemperizados como caulinita e gibbsita, ocorrendo também quartzo e traços de minerais esmectíticos, estes últimos ainda em resposta à condição hidromórfica supracitada.

Este resultado está condizente com a posição mais elevada desse solo na paisagem estudada e é explicada pelo seu material de origem, formado por sedimentos da Formação Barreiras. Quanto ao segundo grupo, representado pelos perfis 2, 3 e 4, localizados na porção inferior da paisagem e onde as condições hidromórficas são mais intensas, apresentou uma assembléia mineralógica com significativa presença de esmectitas e illita, e semelhante ao perfil 1, a caulinita ocorre em todos os horizontes, e a gibbsita foi identificada em P4, certamente como contribuição de processos erosivos das terras altas (solos desenvolvidos de sedimentos da Formação Barreiras), contribuindo com aporte de material coluvionar para a formação dos solos nas áreas baixas.

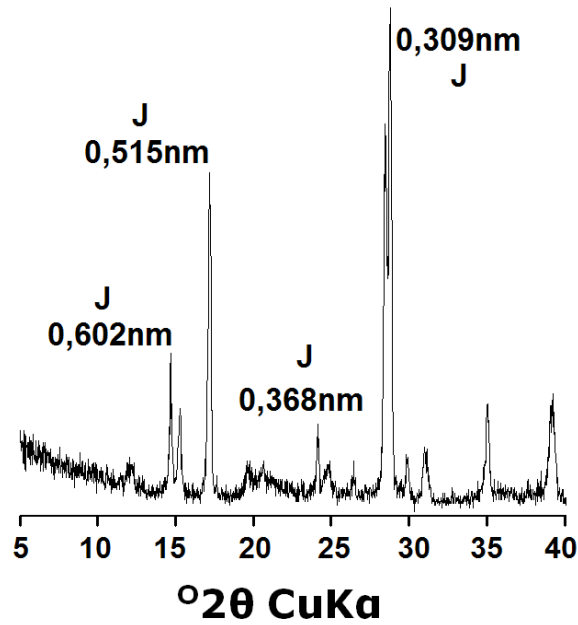
Caulinita e illita nesses solos estão associadas, basicamente ao material transportado das áreas adjacentes, caulinita proveniente principalmente de sedimentos da Formação Barreiras e illita de sedimentos trazidos pelo rio Camocim de áreas de ortognaisse. Enquanto as esmectitas provavelmente têm sua origem em processos autigênicos, condicionados pela drenagem deficiente ao longo desses perfis de solos, favorecendo a re-precipitação dos íons e formando esmectitas.

Os constituintes mineralógicos dos solos estudados na várzea do Rio Camocim foram muito semelhantes a outros solos hidromórficos da classe dos Gleissolos e Organossolos Tiomórficos (MARIUS *et al.*, 1987; PRADA-GAMERO *et al.*, 2004; BEHLING & COSTA, 2004; SOUZA JÚNIOR *et al.*, 2008). Esses estudos também mostram que independente do processo de sulfidização, que leva à formação de sulfetos metálicos e o processo reverso, ou seja, sulfurização, que leva a destruição destes primeiros, as condições

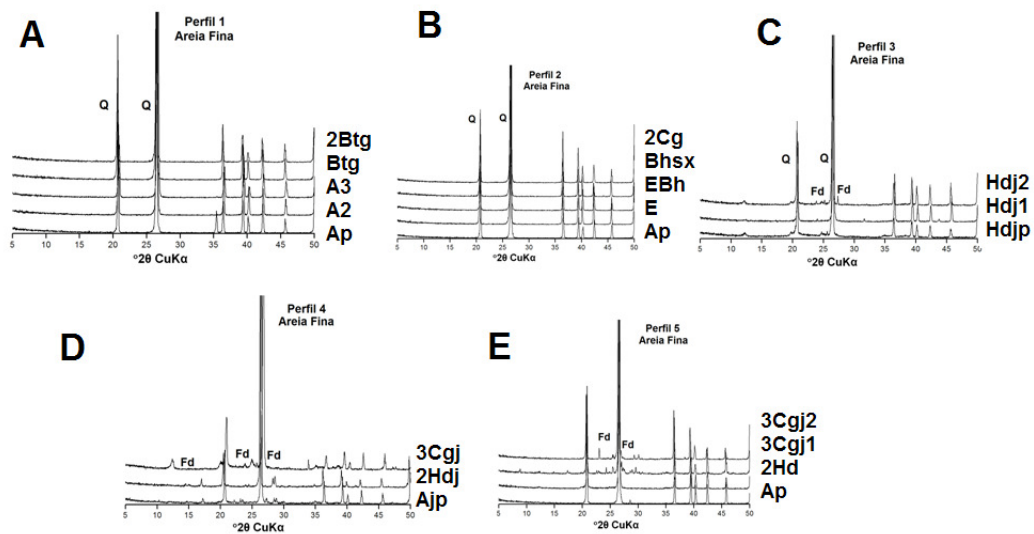
hidromórficas reinantes nesses solos condicionam o acúmulo de silício, alumínio e metais alcalinos e alcalinos terrosos na solução (Si, Al, Mg, Ca, K), permitindo o processo de bissialitização, formando minerais esmectíticos (Chamley, 1989).

Na busca de uma caracterização mais pormenorizada dos minerais presentes na fração argila, foi aplicado o teste de Greene-Kelly (GREENE-KELLY, 1953) para observar o efeito Hofmann e Klemen nos minerais esmectíticos presentes (Figuras 5 a 8). De acordo com os resultados obtidos observou-se que tais minerais apresentam o predomínio do déficit de carga na camada octaédrica, correspondente então à montmorilonita (BORCHARDT, 1989), pois as amostras após serem saturadas com lítio, aquecidas a 270° C e solvatadas com glicerol não apresentaram o deslocamento do pico de difração referente ao espaçamento basal em 1,4nm.

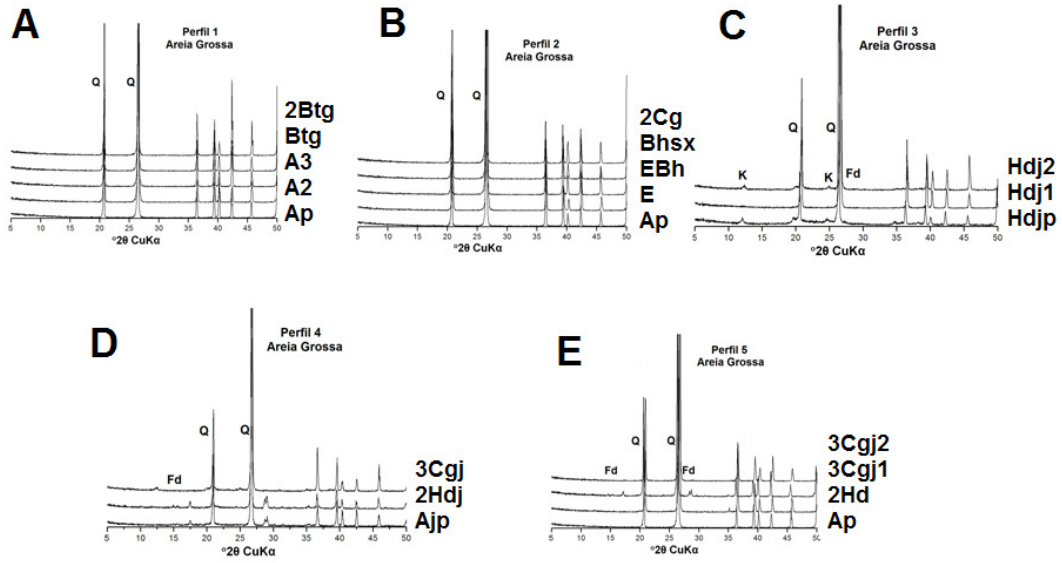
Há poucas referências deste teste em estudos de solos estuarinos, porém Souza-Júnior *et al.* (2010) em seu trabalho ao longo do litoral do estado de São Paulo identificou o predomínio de nontronita em solos de manguezais (Gleissolos e Organossolos, ambos Tiomórficos). Possivelmente o predomínio de montmorilonita nos solos estudados deva-se aos elevados teores de magnésio encontrados nestes solos (dados não apresentados). O fato de não serem encontrados indícios de esmectitas férricas nestes solos pode estar associado aos baixíssimos os valores de ferro encontrados na forma solúvel ou trocável nos solos estudados (Figura 10).



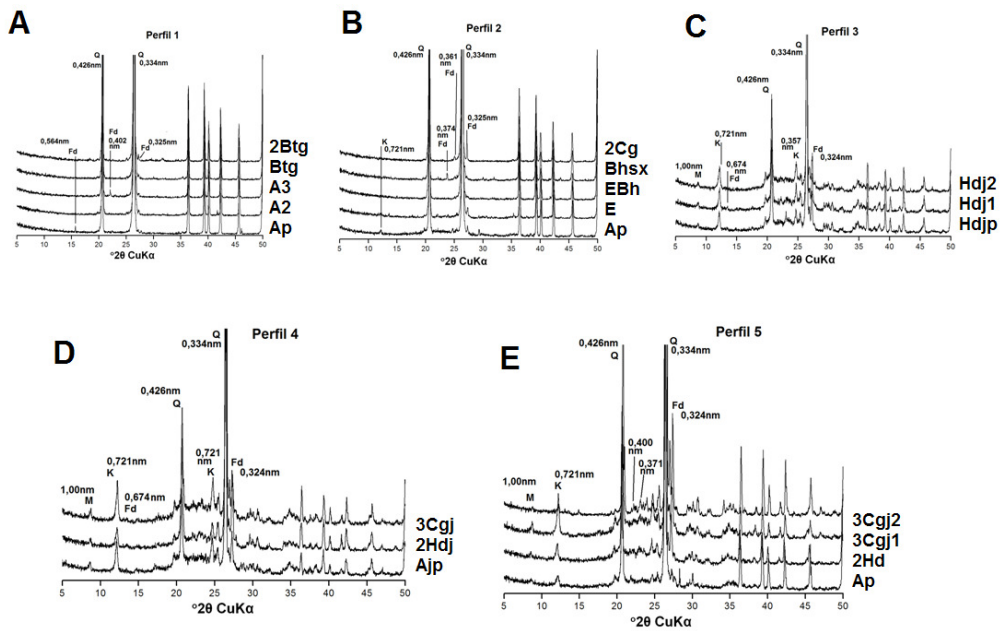
**Figura 1.** DRX dos mosqueados dos horizontes superficiais nas áreas dos perfis P2 e P3. J (jarosita).



**Figura 2.** DRX da fração areia fina dos solos estudados. Fd (feldspatos), Q (quartzo)

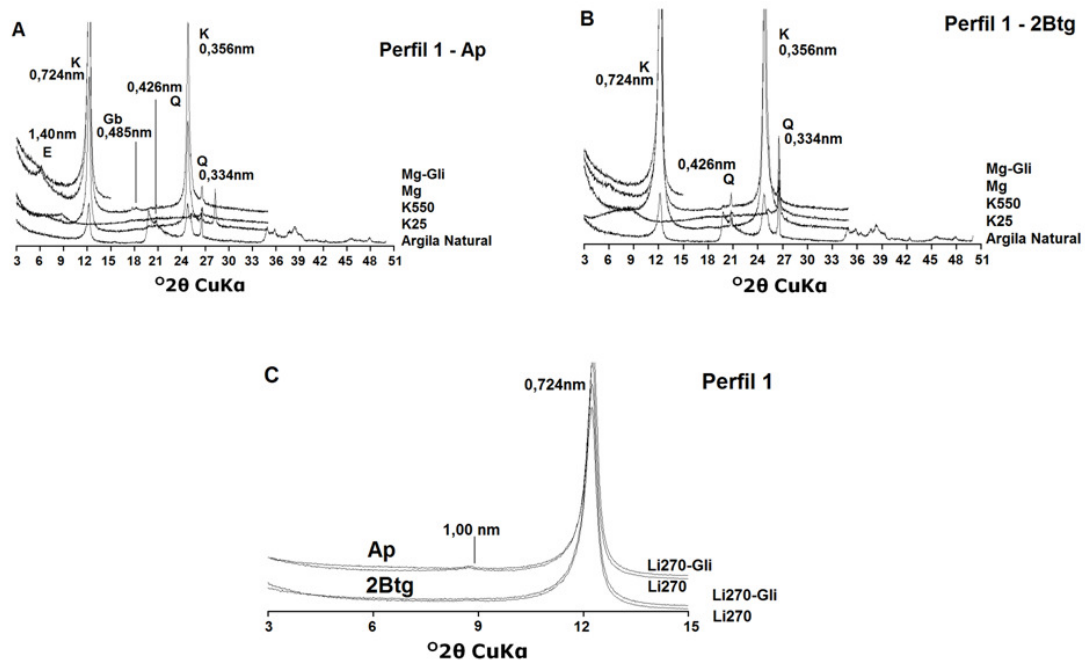


**Figura 3.** DRX da fração areia grossa dos solos estudados. Fd (feldspatos), Q (quartzo)

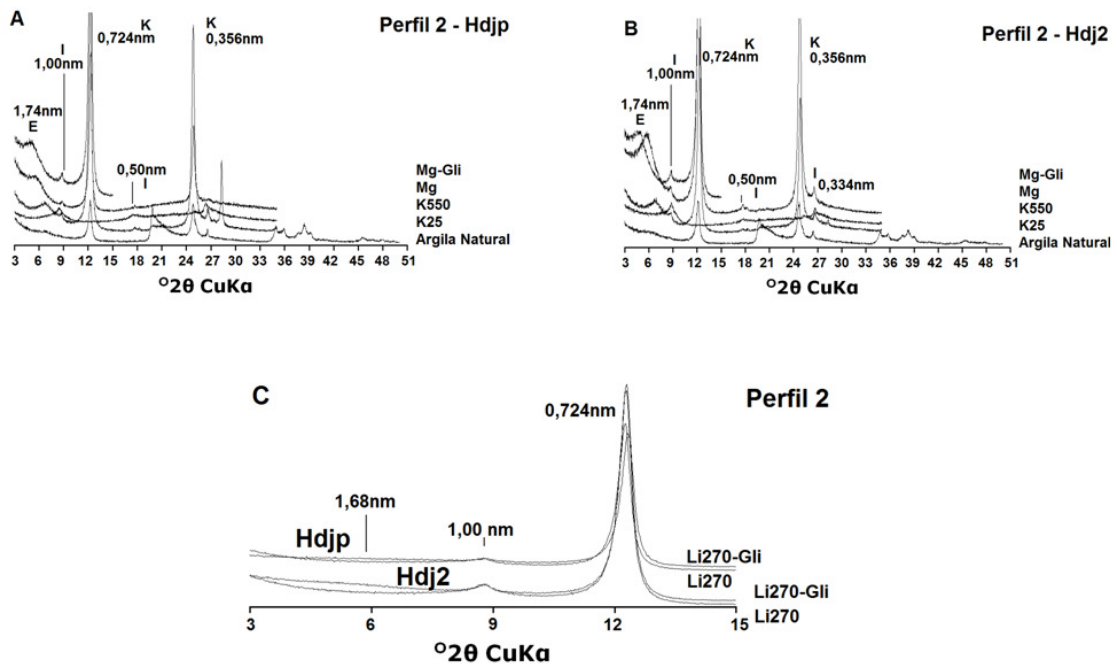


**Figura 4.** DRX da fração silte dos solos estudados. Fd (feldspatos), Q (quartzo), K (caulinita), M (mica)

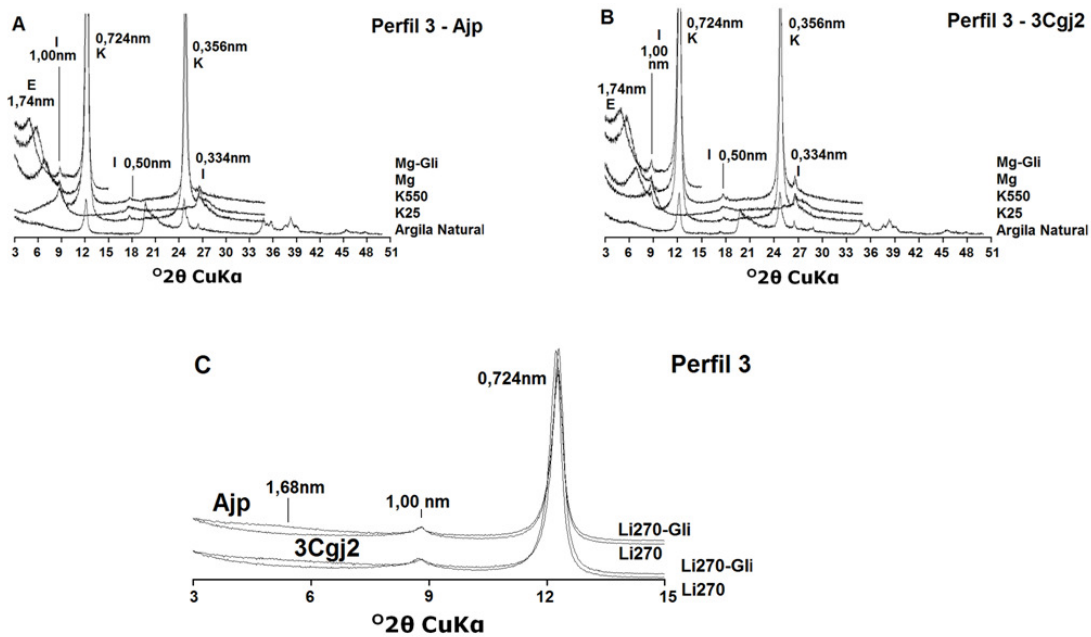




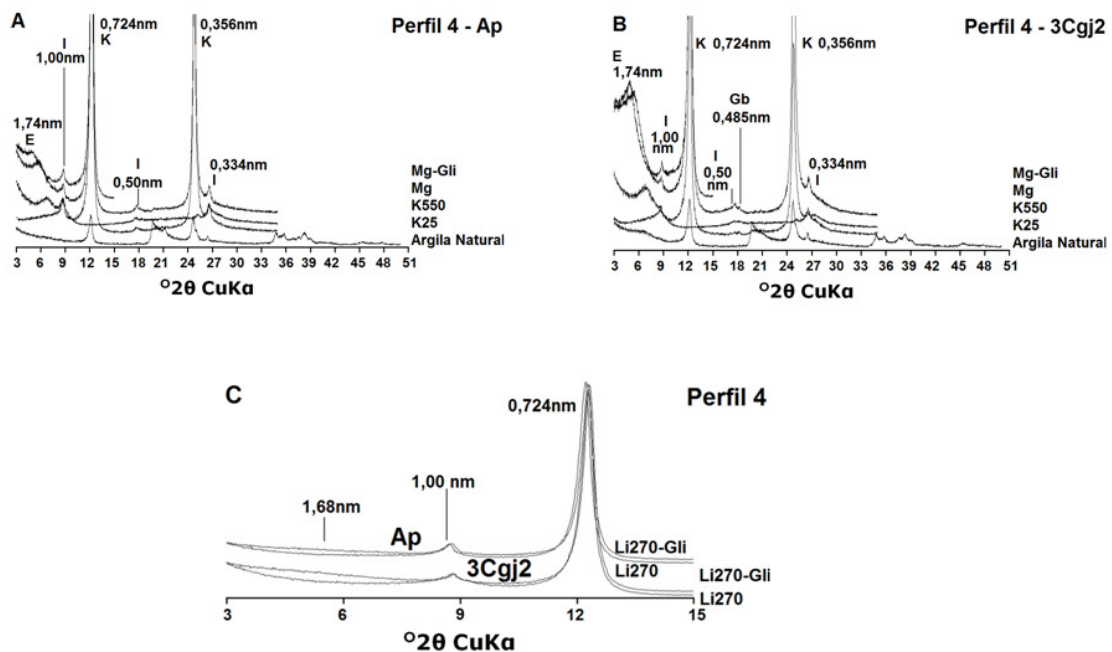
**Figura 5.** DRX da fração argila do P1. A) horizonte Ap, B) horizonte Cg, C) teste de Greene-Kelly. E (esmectita), K (caulinita), Gb (gibbsita), Q (quartzo).



**Figura 6.** DRX da fração argila do P2. A) horizonte Ap, B) horizonte Cg, C) teste de Greene-Kelly. E (esmectita), K (caulinita), I (ilita), Q (quartzo).



**Figura 7.** DRX da fração argila do P3. A) horizonte Ap, B) horizonte Cg, C) teste de Greene-Kelly. E (esmectita), K (caulinita), I (ilita).



**Figura 8.** DRX da fração argila do P4. A) horizonte Ap, B) horizonte Cg, C) teste de Greene-Kelly. E (esmectita), K (caulinita), I (ilita), Gb (gibbsita).

Os resultados obtidos através da extração seqüencial e total de ferro estão apresentados na Figura 9. De uma forma geral os valores variaram da

seguinte forma: Fe-total variou de 26  $\mu\text{mol g}^{-1}$  a 872  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ; Fe-MgCl<sub>2</sub> variou de valores abaixo do nível de detecção à 165  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ; Fe-HCl apresentou valores entre 1  $\mu\text{mol g}^{-1}$  e 290  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ; Fe-DCB apresentou valores abaixo de nível de detecção e 386  $\mu\text{mol g}^{-1}$ . Os valores de ferro extraído por HNO<sub>3</sub> foram praticamente abaixo do nível de detecção em todas as amostras, com a exceção em três horizontes de perfis distintos, P3-Cg1 (45  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ), P5-Ap (17  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ) e 8  $\mu\text{mol g}^{-1}$  em P5-Cg2.

De forma análoga ao comportamento dos resultados mineralógicos obtidos por DRX, os valores de ferro da extração total e àqueles extraídos por HCl e DCB foram muito superiores ao longo dos perfis 3, 4 e 5 em relação aos perfis 1 e 2, recordando que o primeiro grupo de perfis citado encontra-se na parte mais baixa sob condições hidromórficas mais intensas, e apresentando caráter tiomórfico.

Enquanto os valores de ferro total foram de 49 e 89  $\mu\text{mol g}^{-1}$  respectivamente nos perfis 1 e 2, o perfil 3 apresentou média de 565  $\mu\text{mol g}^{-1}$ , o perfil 4 média de 792  $\mu\text{mol g}^{-1}$  e o perfil 5 com média de 680  $\mu\text{mol g}^{-1}$ . Este comportamento se repetiu nas extrações por HCl (P1 = 2  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ; P2 = 6  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ; P3 = 79  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ; P4 = 94  $\mu\text{mol g}^{-1}$  e P5 = 53  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ) e nas extrações por DCB, cujos valores foram P1 = 4  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ; P2 = 3  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ; P3 = 22  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ; P4 = 117  $\mu\text{mol g}^{-1}$  e P5 = 75  $\mu\text{mol g}^{-1}$ .

Ao considerar apenas os perfis com caráter tiomórfico os valores de ferro total estão próximos aqueles encontrados em solos ácidos sulfatados na Austrália (CLAFF *et al.*, 2010). Os valores encontrados para as extrações por HCl e DCB, ao serem considerados de ferro reativo, estão próximos aos valores encontrados em estudos realizados ao longo da costa do estado de São Paulo em Gleissolos Tiomórficos em ambientes manguezais (FERREIRA *et al.*, 2007).

Os teores de ferro extraídos por MgCl<sub>2</sub> e HNO<sub>3</sub> foram praticamente nulos em todos os solos estudados, ou seja, as formas de ferro solúveis ou trocáveis. Ademais e contrariamente ao esperado para solos ácidos sulfatados, os valores de ferro associado à pirita também foram praticamente nulos, o que difere de outros trabalhos realizados com esses solos (FERREIRA *et al.*, 2007a, 2007b)

Dados sobre extração seqüencial de ferro em solos tiomórficos cultivados são escassos na literatura, porém em outras situações de uso ou preservação esses estudos são mais difundidos a exemplo daqueles realizados por Huerta Diaz & Morse, 1990. Esses autores ao analisarem as formas de ferro em solos e sedimentos têm encontrado, normalmente, predomínio da fração pirítica, evidenciando a manutenção das condições redutores no solo.

Diferentemente da situação supracitada, no presente estudo, devido ao sistema de drenagem instalado na área para o cultivo da cana-de-açúcar evidencia-se um forte processo de sulfurização, indicado pelos baixos valores de pH (dados não apresentados), que conduz a uma perda de ferro do sistema. Esta situação pode estar ocorrendo na área estudada, visto a baixa concentração de ferro na forma pirítica, embora haja ainda valores significativos na forma total deste elemento.

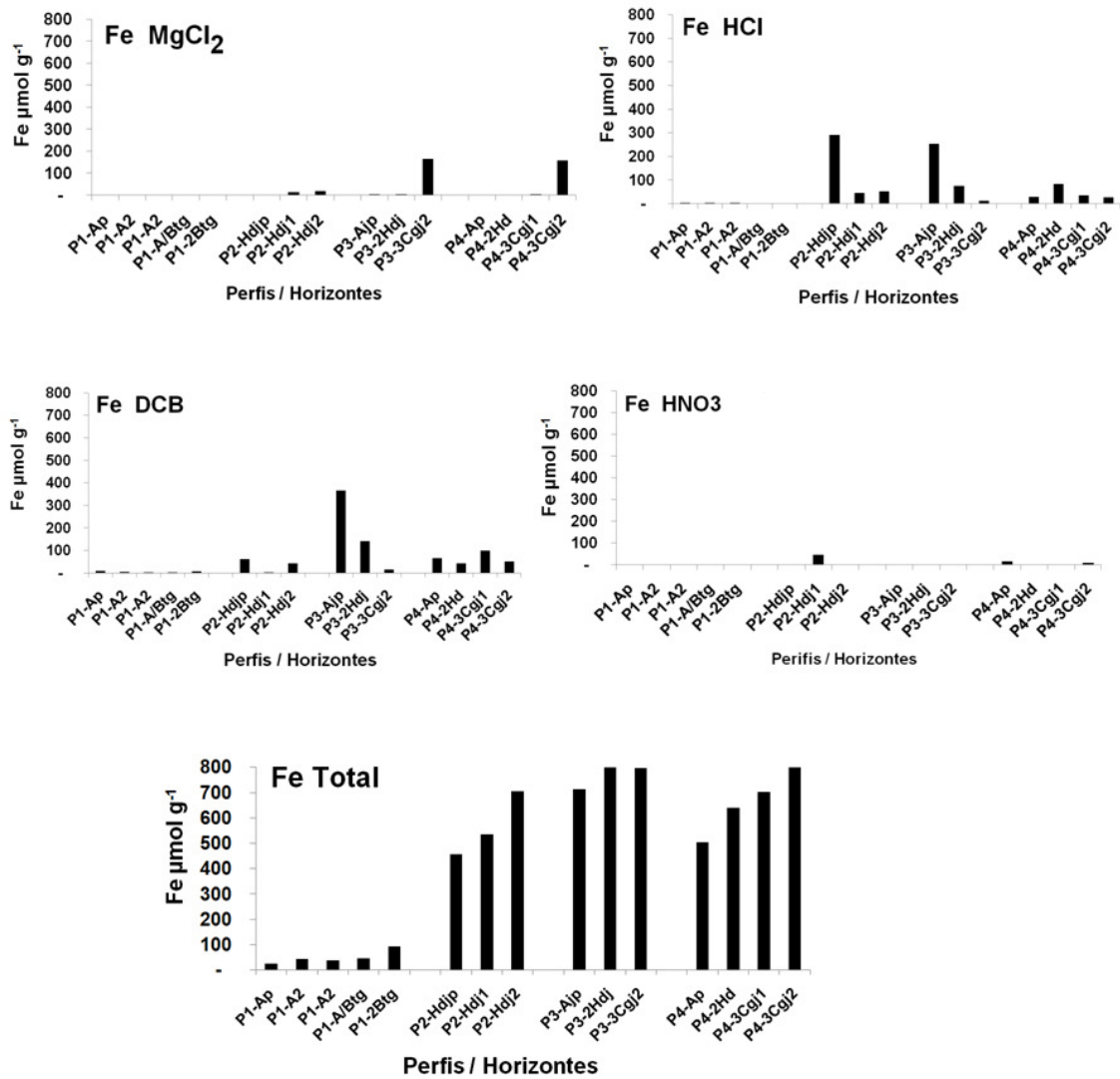
Ferro extraído por HCl e DCB foi identificado, principalmente nos perfis 3, 4 e 5, os quais estão associados às formas de oxiidróxidos de baixa e alta cristalinidade respectivamente. Estes valores estão condizentes com a atual situação geoquímica desses solos, imposta pela drenagem, a qual conduz a oxidação de formas reduzidas de ferro, formando minerais oxídicos de mais variadas formas cristalinas, a exemplo de ferridrita, akaganeita, schwertmannita e goethita, que são minerais comuns em solos ácidos sulfatados (OTERO, 2003).

A virtual ausência dessas fases nos perfis 1 e 2 e sua concentração nos demais perfis pode ser explicada pela posição dos perfis na paisagem e pela concentração total do elemento no solo. Os perfis 1 e 2 encontram-se em posição mais elevada na paisagem, mas também sob condições hidromórficas desta forma o ferro no estado reduzido rapidamente pode ser eliminado do sistema através do fluxo descendente da drenagem em direção as áreas mais baixa.

Os valores de ferro total mostram as menores concentrações justamente nestes perfis. Enquanto os perfis 3, 4 e 5 estão na porção mais baixa da paisagem, a recebe o fluxo das áreas mais alta e com isto o ferro que foi reduzido dessas áreas, ademais são áreas com acúmulo de materiais sulfídricos (indicado pelo baixo valor de pH e alto valor de enxofre total), que fornece ferro após sua oxidação.

Ainda em relação aos perfis 3, 4 e 5, os mesmos apresentam valores muito elevados de carbono orgânico total, que também pode contribuir para a formação de compostos orgânicos com ferro. No presente estudo não foi avaliado o ferro ligado à matéria orgânica, porém ao verificar a grande diferença entre os valores obtidos da extração total e as demais extrações, pode-se inferir que grande parte deste elemento esteja associado à matéria orgânica do solo.

De acordo com os trabalhos de HUERTA-DIAZ & MORSE (1990), KOSTKA & LUTHER (1995) e OTERO & MACÍAS (2003) a geoquímica do ferro neste ambiente também está associada ao ciclo biogeoquímico de metais traço, de forma que o processo de drenagem para uso agrícola de solos tiomórficos os quais alteram a geoquímica do elemento ferro, evidenciado neste estudo e comparado com trabalhos em ambientes preservados, também podem promover a mobilidade de metais traço, destacando assim a importância da realização de novos estudos, agora relacionando a biogeoquímica de ferro e também metais traço em solos tiomórficos em ambiente tropical, na busca de caracterizar possíveis riscos ambientais decorrentes de seu manejo inadequado.



**Figura 9.** Teores de Fe nos solos estudados submetido à extração seqüencial e total.

#### 4. CONCLUSÕES

1. Os dados obtidos mostram a diversidade do material de origem que formou os solos das várzeas estudadas, ou seja, sedimentos quartzosos que pode ter tido contribuição marinha ou dos sedimentos da Formação Barreiras, e a presença de feldspato, provavelmente pela deposição fluvial do Rio Camocim.

2. O emprego da difração de raios X permitiu identificar a presença de jarosita em agregados de solos do horizonte superficial, em parte da área do estudo, sendo decisivo para confirmar a ocorrência de solos tiomórficos nas várzeas do Rio Camocim.

3. O melhor entendimento da assembléia de minerais, bem como os processos de formação ou transformação dos mesmos se tornam mais claros após a finalização do projeto, onde se percebeu a presença de argilominerais 2;1 o que confere a estes solos uma alta CTC e plasticidade. Esta característica é importante do ponto de vista ambiental, pois estes minerais funcionam como filtro e reservatório para possíveis agentes contaminantes naturais ou não, como moléculas orgânicas e metais pesados provenientes dos sedimentos ou da ação antrópica produzida pelas indústrias e agricultura.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEHLING, H.; COSTA, M.L. Mineralogy, geochemistry, and palynology of modern and late Tertiary mangrove deposits in the Barreiras Formation of Mosqueiro Island, northeastern Pará state, eastern Amazonia. **J. S. Am. Earth Sci.** 17:285–295. 2004.

BERNER, R.A. Sedimentary pyrite formation. **American Journal Science**, 268, 1-23, 1970.

BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L. & FERREIRA, Y. de A. **Evolução paleogeográfica quaternária da costa do estado de Sergipe e da costa sul do estado de Alagoas.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, nº 2, p. 93-97, 1983.

BORCHARDT, G. Smectites. p.675-727. In: Dixon, J.B.; Weed, S.B. Minerals in soil environments. 2. ed. **Soil Science Society of America** [SSSA], Madison, WI, USA. 1989.

BROWN, G.; BRINDLEY, G.W. **X-ray Diffraction Procedures for clay mineral Identification.** In: BRINDLEY, G.W; BROWN, G. London: Mineralogical Society, 1980 chapter 5, p. 305-360.

CALIANI, J.C.F.; MUÑOZ, F.R.; GALÁN, E. Clay mineral and heavy metal distributions in the lower estuary of Huelva and adjacent Atlantic shelf, SW Spain. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 198, p. 181-200, 1997.

CHAMLEY, H.. **Clay sedimentology.** Giessen: Springer-Verlag, 1989. 623p.

CLAFF, S.R.; SULLIVAN, A. L.; BURTON E. D.; BUSH, R. T. A sequential extraction procedure for acid sulfate soils: partitioning of iron. **Geoderma.** v. 155, p. 224-230, 2010.



COOK, F.J.; HICKS, W.; GARDNER, E.A.; CARLIN, G.D.; FROGGATT, D.W. Export of acidity in drainage water from acid sulphate Soils. **Marine Pollution Bulletin**, v. 41, n. 7-12, p. 319-326, 2000.

DANTAS J.R. A., CAÚLA J. A.; BRITO NEVES B. B., PEDROSA I.L. 1982 **Mapa Geológico do Estado da Paraíba, escala 1/500.000**. Campina Grande-PB, SERM/Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais (CDRM), 133 p.

DENT, D. **Acid Sulphate Soils: a baseline for research na development**. Wageningen: Int. Inst. for Land Reclamation and Improvement, 1986. 203p. (Public, 39).

FERREIRA, T.O.; OTERO, X.L.; VIDAL-TORRADO, P.; MACÍAS, F. Redox Processes in Mangrove Soils under *Rhizophora mangle* in Relation to Different Environmental Conditions. **Soil Science Society of American Journal**, 71:484-491, 2007a.

Ferreira, T.O., Otero, X.L., Vidal-Torrado, P., Macías, F. 2007. Effects of bioturbation by root and crab activity on iron and sulfur biogeochemistry in mangrove substrate. **Geoderma**, 142, p. 36–46.

GLEYZES, C.; TESSIER, S.; ASTRUC, M.; **Trends in Analytical Chemistry**, 21,451. 2002.

GREENE-KELLY, R. The identification of montmorillonitoids in clays. **European Journal of Soil Science** 4: 233-237, 1953.

HUERTA-DÍAZ, M. A., MORSE, J.W. A quantitative method for determination of trace metals in anoxic marine sediments. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 29, 119–144, 1990.

IVARSON, K.C.; ROSS, G.J.; N. M. MILES. Alterations of Micas and Feldspars During Microbial Formation of Basic Ferric Sulfates in the Laboratory. 1978. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 42: 518-524.

JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis** – Advanced course. Madison: Department of Soil Science, University of Wisconsin. 1979. 895p.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**: advance Course. 29. ed. Madison, 1975. 895 p.

JOHNSTON, S.G.; SLAVICH, P.G.; HIRST, P. The effects of a weir on reducing acid flux from a drained coastal acid sulphate soil backswamp. **Agricultural Water Management** 69, p. 43–67, 2004.

JOLICOEUR, S.; ILDEFONSE, P.; BOUCHARD, M. Kaolinite and Gibbsite Weathering of Biotite within Saprolites and Soils of Central Virginia. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 64, p.1118–1129, 2000.

KANAPATHY, K. Reclamation and improvement of acid sulphate soils in West Malaysia. In: Dost, H. (Ed.). **Acid sulphate soils**. Wageningen: Inst. Int. for Land Reclamation and Improvement, v.1, p.383-390, 1973.

KOSTKA, J.E., LUTHER, G.W., Seasonal cycling of Fe in saltmarsh sediments. **Biogeochemistry**, v. 29, 159–181, 1995.

KRETZSCHMAR, R.; ROBARGE, W.P.; MOOZEGAR, A.; VEPRASKAS, M.J. Biotite alteration to halloysite and kaolinite in soil-saprolite profiles developed from mica schist and granite gneiss. **Geoderma**, Amsterdam, v. 75, p. 155-170, 1997.

KU, T.C.W.; WALTER, L.M. Syndepositional formation of Fe-rich clays in tropical shelf sediments, San Blas Archipelago, Panama. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 197, p.197–213, 2003.

LIM, C.H.; JACKSON, M.L. Expandable phyllosilicate reactions with lithium on heating. **Clays and Clay Minerals**, v. 34 (3), p. 346-352, 1986.

LUOMA S. Processes affecting metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments. In: Furness R, Rainbow P (eds.), **Heavy Metals in the Marine Environment**. CRC Press, Florida, pp 51–66.1990.

MACDONALD, B.C.T.; SMITH, J.; KEENE, A.F.; TUNKS, M.; KINSELA, A.; WHITE, I. Impacts of runoff from sulfuric soils on sedimentary chemistry in an estuarine lake. **Sc. Total Environm.** 329:115-130, 2004.

MARIUS, C., ARCHANJO, D. LARQUE, P. Les sols de mangroves de la baie de Vitoria (Brésil). **Cah. ORSTOM Ser. Pedol.** 23:211–216, 1987.

MOORE, D. M.; REYNOLDS, R.C. **X-ray diffraction and identification and analysis of clay minerals**. Oxford: Oxford University Press, 1989. 332 p.

NORDMYR, L.; MATS, A.; PELTOLA, P. Metal pollution of estuarine sediments caused by leaching of acid sulphate soils. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 76: 141 – 152, 2008.

OTERO, X.L., MACÍAS, F. Spatial variation in pyritization of trace metals in salt marsh soils. **Biogeochemistry** 62, 59–86, 2003.

POWELL, B.; MARTENS, M. A review of acid sulfate soil impacts, actions and policies that impact on water quality in Great Barrier Reef catchments, including a case study on remediation at East Trinity. **Marine Pollution Bulletin**, 51 (2005) 149–164.

PRADA-GAMERO, R.M., VIDAL TORRADO, P., FERREIRA, T.O. Mineralogia e Físico-Química dos Solos de Mangue do Rio Iriri no Canal de Bertioga (Santos, SP). **Rev. Bras. Cienc. Solo** 28:233–244, 2003.

PREDA, M.; COX, M.E. Trace metal occurrence and distribution in sediments and mangroves, Pumicestone region, southeast Queensland, Australia. **Environment International**, New York, v.28, p. 433– 449, 2002.

REID-SOUKUP, D. & ULREY, A.L. Smectites. In: DIXON, J.B. & SCHULZE, D.G., eds. Soil mineralogy with environmental applications. **Madison, Soil Science Society of America**, 2002. p.467-499.

SANTOS *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª ed. (revista e ampliada). Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SEILER, E. **Acid sulphate soils – Their formation and agricultural use**. Hannover: Institute for Scientific Co-operation, p.92-110. (Natural Resources and Development, 35), 1992.

SOUZA JUNIOR, V.S.; RIBEIRO M.R.; OLIVEIRA L.B. Caracterização e classificação de solo tiomórficos da Várzea do Rio Cururipe, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 977-986, 2001 a.

SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO, M.R.; OLIVEIRA, L.B. Propriedades químicas e manejo de solos tiomórficos da várzea do rio Coruripe, Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 811-822, 2001b.

TESSIER, A., CAMPBELL, P.G.C., BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **Analytical Chemistry** 51, 844-855, 1979.

THAMDRUP, B., Fossing, H. and Jørgensen, B. B. Manganese, iron, and sulfur cycling in a coastal marine sediment, Aarhus Bay, Denmark. **Geochim. Cosmochim. Acta**, 58(23): 5115–5129. 1994.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA.  
**USEPA** 3052. Microwave assisted acid digestion of silicious and organically based matrices. 20 p. 1996.

VELDE, B.; CHURCH, T. Rapid clay transformations in Delaware salt marshes.  
**Applied Geochemistry**, Oxford, v. 14, p. 559-568, 1999.

YANG, X. Evaluation and application of DRAINMOD in an Australian sugar cane field. **Agriculture Water Management**, v.95, p. 439-446, 2008.

# ANEXO

## DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS

**Perfil - 01**

**Data - 10/03/2009.**

**Classificação** – GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico argissólico, A moderado, textura arenosa/média.

**Localização** - Fazenda Boqueirão, lote 107. Coordenadas UTM de 25M 0292399 mE e 9173420 mN, município de Caaporã, Paraíba.

**Situação e declividade** - Terço inferior de encosta com 2,5% de declividade.

**Formação geológica e litologia** – Terciário-Quaternário. Sedimentos da Formação Barreiras e sedimentos aluviais.

**Material Originário** – Cobertura de materiais coluviais arenosos sobre sedimentos aluviais de textura média.

**Pedregosidade** – Ausente.

**Rochosidade** – Ausente.

**Relevo local** – Plano.

**Relevo regional** – Plano ligeiramente deprimido.

**Erosão** – Não aparente.

**Drenagem** – Imperfeitamente drenado.

**Vegetação local** – Cultura de cana-de-açúcar

**Vegetação primária** - Floresta subperenifólia.

**Uso atual** – Cultura de cana-de-açúcar

**Descrito e coletado por** – M. R. Ribeiro, V. S. Souza Jr., J. F. W. F. Lima., S. K. G. Oliveira.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**Ap** - 0 – 14 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco); areia-franca; fraca pequena média granular; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

**A<sub>1</sub>** - 14 – 46 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco); areia-franca; maciça moderadamente

coesa; friável, não plástica e não pegajosa; transição gradual e ondulada (29-34 cm).

**A<sub>2</sub>** - 46 – 83 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco); franco-arenosa; maciça; muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e ondulada (30-44 cm).

**A/Btg** - 83 – 107 cm; bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmido), mosqueado comum, médio e difuso bruno-claro-acinzentado (10YR 6/2); franco-arenosa; maciça moderadamente coesa; firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta e ondulada (0-30 cm).

**2Btg** – 107-152 cm+; cinzento claro (2,5Y 7/2, úmido), mosqueado pouco médio e distinto bruno-forte (7,5 YR 5/6); franco-argilo-arenosa; maciça coesa; firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

**RAÍZES** – Muitas em Ap e A<sub>1</sub>; comuns no A<sub>2</sub>; poucas no A/Btg; ausentes no 2Btg.

#### OBSERVAÇÕES:

1. Muitos poros em Ap, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A/Btg; poucos poros no 2Btg.
2. Perfil encharcado, lençol freático a 152 cm.



**Perfil - 02**

**Data** - 11/03/2009.

**Classificação** – ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico, textura média/muito argilosa/média.

**Localização** – Fazenda Boqueirão. Lote 59. Coordenadas UTM de 25M 0292677 mE e 9173174 mN, município de Caaporã, Paraíba.

**Situação e declividade** – Várzea, em situação de planície de inundação, praticamente plano.

**Formação geológica e litologia** – Quaternário. Sedimentos Holocênicos.

**Material Originário** – Sedimentos orgânicos e sedimentos aluviais argilosos.

**Pedregosidade** – Ausente.

**Rochosidade** – Ausente.

**Relevo local** – Plano.

**Relevo regional** – Plano, com suaves ondulações e depressões.

**Erosão** – Não aparente.

**Drenagem** – Muito mal drenado.

**Vegetação local** – Campo hidrófilo de várzea secundário, com dominância de ciperáceas.

**Vegetação primária** – Campo de várzea e floresta perenifólia de várzea.

**Uso atual** – Campo hidrófilo secundário, sem utilização. Cultura abandonada de cana-de-açúcar.

**Descrito e coletado por** – M. R. Ribeiro, V. S. Souza Jr., J. F. W. F. Lima., S. K. G. Oliveira.

## **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

**Hdjp - 0** – 20 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2, úmido); franco-argilosa; fraca, pequena granular; muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta e ondulada (12-23 cm).

**Hdj1** – 20-50 cm; bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmido), mosqueado comum, pequeno a médio e distinto bruno (7,5 YR 4/4, úmido); muito-argilosa; moderada, pequena a média blocos angulares; superfície de compressão

comum e moderada; muito firme, plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

**Hdj2** – 50-62 cm+; cinzento (2,5Y 5/1, úmido); franco-argilo-siltosa; moderada pequena a média blocos angulares; plástica e pegajosa.

**RAÍZES** – Muitas no Hdjp, poucas no Hdj1; raras no Hdj2.

OBSERVAÇÕES:

1. Muitos poros em Hdjp; poucos em Hdj1 e Hdj2.
2. Perfil encharcado, lençol freático a 62 cm.

**Perfil - 03**

**Data** - 11/03/2009.

**Classificação** – GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico, textura muito argilosa

**Localização** – Fazenda Boqueirão, lote 61. Coordenadas UTM de 25M 0293132 mE e 9172876 mN, município de Caaporã, Paraíba.

**Situação e declividade** – Várzea, em situação de planície de inundação, com relevo plano levemente abaciado.

**Formação geológica e litologia** – Quaternário. Sedimentos holocênicos.

**Material Originário** – Sedimentos aluviais muito argilosos e sedimentos orgânicos.

**Pedregosidade** – Ausente.

**Rochosidade** – Ausente.

**Relevo local** – Plano, ligeiramente deprimido.

**Relevo regional** – Plano, com ondulações e depressões muito suaves.

**Erosão** – Não aparente.

**Drenagem** – Muito mal drenado.

**Vegetação local** – Campo hidrófilo de várzea secundário, com dominância de ciperáceas.

**Vegetação regional** – Campo de várzea e floresta perenifólia de várzea.

**Uso atual** – Campo hidrófilo secundário sem uso. Cultura abandonada de cana-de-açúcar.

**Descrito e coletado por** – M. R. Ribeiro, V. S. Souza Jr., J. F. W. F. Lima., S. K. G. Oliveira.

## **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

**Ajp - 0** – 15 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2, úmido); muito argilosa; fraca a moderada, pequena granular; friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição abrupta e ondulada (13-20 cm).

**2Hdj** – 15-40 cm; cinzento-escuro (7,5YR 4/1, úmido), mosqueado comum, pequeno e distinto bruno (7,5 YR 4/4); muito argiloso; moderada, pequena a

média blocos angulares; superfície de compressão comum e moderada; muito firme, muito plástica e pegajosa; transição gradual e plana;

**3Cgj2** – 40-47 cm+; cinzento (7,5YR 5/1, úmido); muito argilosa; moderada, pequena a média blocos angulares; superfície de compressão comum e moderada; muito firme, muito plástica e pegajosa;.

**RAÍZES** – Muitas no Ajp, comuns no 2Hdj; ausentes no 3Cgj.

**OBSERVAÇÕES:**

1. Lençol freático a 47 cm.
2. Muitos poros em Ajp; poucos em 2Hdj e 3Cgj.
3. Presença de mosqueado amarelo de jarosita ao redor dos canais de raízes e detritos orgânicos.

**Perfil - 04**

**Data** - 11/03/2009.

**Classificação** – GLEISSOLO TTOMÓRFICO Órtico organossólico, textura média/muito argilosa

**Localização** – Fazenda Boqueirão, lote 67. Coordenadas UTM de 24M 0293674 mE e 9172500 mN, município de Caaporã, Paraíba.

**Situação e declividade** – Várzea, em posição de ombreira, próximo à calha do riacho Camocim, com relevo plano.

**Formação geológica e litologia** – Quaternário. Sedimentos holocênicos.

**Material Originário** – Sedimentos aluviais de textura média a muito argilosa e sedimentos orgânicos.

**Pedregosidade** – Ausente

**Rochosidade** – Ausente

**Relevo local** - Plano

**Relevo regional** – Plano, com suaves ondulações e depressões.

**Erosão** – Nula

**Drenagem** – Mal drenado.

**Vegetação local** – Campo secundário em cultura de cana-de-açúcar abandonada.

**Vegetação regional** – Floresta de várzea.

**Uso atual** – Campo secundário, sem utilização, em cultura de cana-de-açúcar abandonada.

**Descrito e coletado por** – M. R. Ribeiro, V. S. Souza Jr., J. F. W. F. Lima., S. K. G. Oliveira.

## **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

**Ap** - 0 – 20 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco) ; franco-argilo-arenosa; fraca, pequena e média granular e em blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta e ondulada (17-25 cm).

**2Hd** – 20-43 cm; preto (10YR 2/1, úmido); argila (orgânico); fraca pequena a média granular; friável, não plástico e pegajosa; transição abrupta e plana.

**3Cgj1** – 43-85 cm; cinzento escuro (10YR 4/1, úmido), mosqueado comum médio e distinto amarelo (10YR 7/6, úmido); argila; fraca pequena a média blocos angulares; superfície de compressão comum e moderada; muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição gradual e plana.

**3Cgj2** – 85-97 cm+; cinzento escuro (5Y 4/1, úmido); muito argilosa; fraca, pequena a média blocos angulares; superfície de compressão comum e moderada; muito firme, muito plástica e muito pegajosa.

**RAÍZES** – Muitas em Ap e 2Hd; poucas no 3Cgj1.

#### OBSERVAÇÕES:

1. Lençol freático a 98 cm.
2. Muitos poros em Ap e 2Hd; comuns no 3Cgh1; poucos no 3Cgh2.
3. O mosqueado do 3Cgj1 é de jarosita.