

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**TESE**

**Solos com Feições Espódicas do Pantanal Sul-Mato-Grossense: Antagonismos às Condições Pedogenéticas**

**Andressa Rosas de Menezes**

**2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**SOLOS COM FEIÇÕES ESPÓDICAS DO PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE: ANTAGONISMOS ÀS CONDIÇÕES PEDOGENÉTICAS**

**ANDRESSA ROSAS DE MENEZES**

*Sob a Orientação da Professora  
Lúcia Helena Cunha dos Anjos*

*e Coorientação de  
Ademir Fontana  
e Marcos Gervasio Pereira*

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Área de Concentração em Pedologia e Física do Solo.

Seropédica, RJ  
Agosto de 2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central/Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
Com os dados fornecidos pelo(a) Autor(a)

M541s Menezes, Andressa Rosas de, 1992-  
Solos com feições espódicas do Pantanal sul-mato-grossense:  
antagonismos às condições pedogenéticas / Andressa Rosas de Menezes. –  
Seropédica, 2021.  
81 f. : il.

Orientadora: Lúcia Helena Cunha dos Anjos.  
Coorientadores: Ademir Fontana e Marcos Gervasio Pereira  
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,  
Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2021.

1. Pedogênese. 2. Podzolização. 3. Horizonte espódico. I. Anjos, Lúcia Helena  
Cunha dos, 1957-, orient. II. Fontana, Ademir, 1979, coorient. III. Pereira,  
Marcos Gervasio, 1965, coorient. IV. Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro. V. Título.

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq) – Processo 165613/2017-3.**

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**ANDRESSA ROSAS DE MENEZES**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, área de Concentração em Pedologia e Física do Solo.

TESE APROVADA EM 06/08/2021.

---

Lúcia Helena Cunha dos Anjos. Ph.D. UFRRJ.  
(Orientadora)

---

Guilherme Resende Corrêa. Dr. UFU.

---

Gustavo Souza Valladares. Dr. UFPI.

---

Helena Saraiva Koenow Pinheiro. Dra. UFRRJ.

---

Jolimar Antonio Schiavo. Dr. UEMS.

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico  
às pessoas que sempre me incentivaram a ir além,  
meus pais Andréa e Rogério,  
ao meu esposo Leonardo,  
quem me deu todo seu apoio e compreensão para que essa conquista e  
e ao meu amado filho Bernardo, quem em breve estará em meus braços.*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Andréa e Rogério, as pessoas mais importantes da minha vida, que sempre incentivaram para que eu estudasse o quanto fosse necessário para realizar meus sonhos e não me permitiram desaninar nem em momentos difíceis.

Ao meu esposo, Leonardo, que sempre teve total compreensão de quando eu precisei ser ausente ou ficar isolada para conseguir seguir adiante com a tese. Como meu melhor amigo, ele também esteve à disposição todas as vezes que precisei de ajuda e pacientemente aguentou todas as minhas angústias e inquietações durante todo o doutorado. Meu amor, muito obrigada por tudo.

Aos meus filhos Bené e Bebel, que carinhosamente sempre ficaram comigo me dando apoio moral e pedindo um pouco de afago enquanto eu fazia leituras e redigia a tese.

À minha orientadora Lúcia Helena, que sempre me deu apoio em tudo relacionado ao doutorado e também na minha carreira. Apesar de ser uma pessoa bastante ocupada e multitarefas, Lúcia se preocupa com seus orientados além da produção de artigos e redação de tese. É um grande exemplo que vou levar para minha vida toda. Tenho muito orgulho de ter sido sua orientada.

Ao meu coorientador Ademir Fontana, o responsável por eu ter seguido a área de Ciência do Solo. Quando eu cheguei para cumprir meu estágio obrigatório da graduação no Laboratório de Física e Retenção de Água da Embrapa Solos em 2015 jamais poderia imaginar que os próximos seis anos da minha vida acadêmica seriam dedicados à pedologia, mas isso só foi possível porque Ademir confiou no meu potencial e investiu todo empenho e dedicação para que eu pudesse seguir essa área. Agradeço por todas as vezes que me incentivou, leu e releu meus trabalhos, pelas discussões e por ter me dado todo apoio que estava ao seu alcance. Muito obrigada!

Ao meu coorientador Marcos Gervasio, pessoa tão querida e de um coração enorme, foi presente em todos os momentos dessa tese, desde o “nascimento” até a defesa. Gervasio, você é uma grande inspiração para todos nós alunos de ciências agrárias da Rural, pois por trás do professor exigente, sempre encontramos uma pessoa preocupada e que quer o melhor para todos nós alunos. Muito obrigada pela dedicação com essa tese e com a minha orientação.

Ao professor Jolimar Schiavo, um agradecimento especial, pois foi uma pessoa extremamente solícita desde que foi convidado a participar desse estudo e essencial para que a coleta dessa tese fosse realizada. Mesmo com todas as dificuldades de ir ao Pantanal e coletar os perfis da tese, ele nos ajudou no planejamento de campo, foi à coleta, manteve o bom humor e a paciência em todos os momentos da viagem.

À equipe de campo: meus coorientadores Ademir e Gervasio, professor Jolimar, Ana Carolina Canto e aos nossos ajudantes contratados, sem vocês isso tudo não seria possível. Muito obrigada por todo o esforço e dedicação. Toda a coleta foi realizada em dias muito abafados e todos com roupas fechadas, muitos mosquitos e sujeitos a todas as intempéries que uma coleta de campo no Pantanal pode oferecer.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, por toda contribuição a minha formação e a realização dessa tese.

À Embrapa Solos por ter possibilitado a realização das análises laboratoriais de solo e a todos os técnicos que com muita boa vontade me acompanharam na realização e ensinaram tudo que podiam sobre as mesmas: Joacy, Gisele, Ademir, Rogério, Marcelo, Lilian, Gilson, Viviane, Simone, Andréa e Felícia.

À Fazenda Nhumirim, área experimental da Embrapa Pantanal, pela hospitalidade e por ter se mantido de portas abertas a realização da campanha de campo.

Ao CNPq pela bolsa concedida nos 24 meses iniciais do doutorado, bolsa que abri mão para trabalhar no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Aos meus familiares, amigos e colegas de trabalho que me acompanharam nessa caminhada, me motivaram e sempre me transmitiram palavras de força e apoio.

Por fim, a todos com direta ou indiretamente contribuíram para a realização dessa tese,

Muito obrigada!

## **BIOGRAFIA**

Andressa Rosas de Menezes, filha de Andréa Dominguez Rosas e Rogério Tadeu Inácio de Menezes Júnior, nasceu no dia 27 de agosto de 1992 na cidade do Rio de Janeiro - RJ. Estudou no Colégio Pedro II, o ensino fundamental e médio técnico em meio ambiente. Ingressou na Universidade Federal Fluminense em 2011 no curso de bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental e participou de diversas atividades acadêmicas durante toda a graduação, como do Programa de Ensino Tutorial e monitorias. Foi estagiária da Embrapa Solos em 2015, ano de sua formatura, onde teve seu primeiro contato com a Ciência do Solo. Inicialmente trabalhou com análises de física e retenção de água e posteriormente elaborou um acervo de perfis de Espodossolos descritos no Brasil por orientação de Ademir Fontana. Em 2016 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo (PPGA-CS) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e sob orientação de Lúcia Helena Cunha dos Anjos propôs a revisão de critérios dos horizontes B espódicos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Defendeu o mestrado antecipadamente e em setembro de 2017 ingressou no doutorado no PPGA-CS para estudar a gênese dos Espodossolos do Pantanal. Trabalhou como professora substituta no Instituto de Tecnologia da UFRRJ de março de 2018 a maio de 2019 e em outubro de 2019 foi aprovada e convocada para trabalhar no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como analista censitária de geoprocessamento.

## RESUMO

MENEZES, Andressa Rosas de. **Solos com feições espódicas do Pantanal Sul-Mato-Grossense: Antagonismos às condições pedogenéticas.** 2021. 81f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

No Pantanal sul-mato-grossense são registrados solos com horizontes espódicos cujas características químicas são antagônicas em relação ao conceito central de pedogênese pelo processo de podzolização. Nesse sentido, a hipótese deste estudo é que as condições neutras a alcalinas do pedoambiente do Pantanal não inibem o desenvolvimento de solos com horizontes espódicos. Para tanto, o objetivo é avaliar características e atributos de solos com feições espódicas do Pantanal para enquadramento no processo de podzolização. Quatro perfis de solo foram selecionados em um transepto, três em área da baía (P1, P2 e P4) e um em área de transição entre a baía e a cordilheira (P3), cuja morfologia era indicativa do horizonte espódico. Foram realizadas análises granulométricas, químicas e de fluorescência de raio-X (FRX) dos solos, bem como carbono orgânico (C org) e FRX dos nódulos. Todos os perfis possuem características que denotam o processo de redoximorfismo: baixo desenvolvimento do *solum* (exceto P3), mosqueados formados pela precipitação de óxidos de Fe e Mn, bem como a presença de nódulos de Fe e Mn. Esses nódulos possuem teor de matéria orgânica em geral maior ou igual ao material circunvizinho e não ocorre aumento relativo de alumínio em relação à fração terra fina, o que reitera o processo de redoximorfismo nos horizontes com feições espódicas dos solos do Pantanal. A textura dos solos é substancialmente arenosa, com granulometria mais fina da areia, e no perfil P3 existe um horizonte de baixa permeabilidade e ligeiro acúmulo de argila. A ocorrência dos caracteres sódico e solódico nos solos, bem como o acúmulo de argila subsuperficial no perfil P3 indicam a ocorrência do processo de sodificação. Nos solos estudados no Pantanal, o pH neutro a alcalino, altos valores de soma de bases, os baixos teores de carbono orgânico e de óxidos de alumínio, em comparação a outros horizontes espódicos, contradizem o que é observado em solos formados pelo processo clássico de podzolização. Porém, o acúmulo de Fe, Al e C org, mesmo que pequeno, nos nódulos e nos horizontes B caracterizam as feições espódicas nesses solos.

**Palavras-chave:** Pedogênese. Podzolização. Horizonte espódico.

## ABSTRACT

MENEZES, Andressa Rosas de. **Soils with spodic features in the South Pantanal: Divergence to pedogenetic conditions.** 2021. 81p. Thesis (Doctor in Agronomy - Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

In the Pantanal of Mato Grosso do Sul, spodic soils are registered, whose chemical characteristics are divergent from the central concept of pedogenesis by podzolization process. In this sense, the hypothesis of this study is that neutral to alkaline conditions of Pantanal pedoenvironment does not inhibit the development of spodic soils. So that, the objective is to evaluate characteristics and attributes of soils with spodic features from the Pantanal to fit in the podzolization process. Four soil profiles were selected in a transect, three in the bay area (P1, P2 and P4) and one in the transition area between bay and “cordilheira” (P3), whose morphology was indicative of the spodic horizon. The analysis of granulometry, chemical and X-ray fluorescence (XRF) of the soils, as well as organic carbon (C org) and XRF of the nodules, were carried out. All profiles have characteristics that denote the redoximorphism process: small development of the *solum* (except for P3), mottles formed by the precipitation of Fe and Mn oxides, as well as the presence of Fe and Mn nodules. These nodules have an organic matter content, in general, greater than or equal to the surrounding material and without a relative increase in aluminum in relation to the fine earth fraction, which reiterate the redoximorphism process in the horizons with spodic features of the Pantanal soils. The texture of the soils is substantially sandy, with a finer granulometry of the sand fraction, and, in the P3 profile, there is a horizon of low permeability and some clay accumulation. The occurrence of sodic and solodic characters in the soils, as well as the subsurface clay accumulation in the P3 profile indicate the occurrence of the sodification process. In the soils studied from Pantanal, the neutral to alkaline pH, the high sum of bases, low organic carbon and aluminum oxides, compared to other spodic horizons, contradict what is observed in soils formed by the classic podzolization processes. However, the accumulation of Fe, Al and C org, even if small, in the nodules and in the B horizons, characterize the spodic features in these soils.

**Keywords:** Pedogenesis. Podzolization. Spodic horizon.

## LISTA DE ABREVIASÕES E SÍMBOLOS

Al <sub>o</sub>	Alumínio extraído por oxalato ácido de amônio (g kg <sup>-1</sup> )
C <sub>org</sub>	Carbono orgânico (g kg <sup>-1</sup> )
CTC	Capacidade de troca catiônica (cmolc kg <sup>-1</sup> )
D.P.	Desvio padrão
Fe <sub>d</sub>	Ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato (g kg <sup>-1</sup> )
Fe <sub>o</sub>	Ferro extraído por oxalato ácido de amônio (g kg <sup>-1</sup> )
FRX	Fluorescência de raio-X
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
m	Saturação por alumínio (%)
Mn <sub>d</sub>	Manganês extraído por ditionito-citrato-bicarbonato (g kg <sup>-1</sup> )
Mn <sub>o</sub>	Manganês extraído por oxalato ácido de amônio (g kg <sup>-1</sup> )
RCC	Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos
S	Soma de bases (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )
SAAAT	Sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola e das Terras
Sat Na	Saturação por sódio (%)
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SiBCTI	Sistema de Classificação de Terras para Irrigação
ST	<i>Soil Taxonomy</i>
V%	Saturação por bases (%)
WRB	<i>World Reference Base for Soil Resources</i>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> A. Perfil de Espodossolo com a presença dos horizontes plácico e Bs, Fonte: Vidal-Torrado (2009). B. Perfil de Espodossolo com a presença dos horizontes Bh ou Bhs (não diferenciáveis pela morfologia) e ortstein, Fonte: Ademir Fontana.....	5
<b>Figura 2.</b> Sistematização da classe dos Espodossolos até o quarto nível categórico no SiBCS (SANTOS et al., 2018).....	7
<b>Figura 3.</b> Distribuição dos Podzols, solos com horizontes espódicos conforme o WRB no Mapa Digital de Solos do Mundo (FAO, 2007). Fonte do arquivo vetorial utilizado para elaboração do mapa: FAO (2007).....	8
<b>Figura 4.</b> Distribuição dos Espodossolos nos diferentes pedoambientes brasileiros, adaptado de Menezes, Fontana, Anjos (2018).....	14
<b>Figura 5.</b> A. ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico arênico (perfil MS-12) e B. ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico arênico (perfil MS-01) descritos na X RCC, Corumbá – MS. Fonte: Ademir Fontana.....	17
<b>Figura 6.</b> Distribuição centimétrica em profundidade dos valores de mediana, primeiro quartil e terceiro quartil de argila, carbono orgânico (C org) e saturação por sódio (Sat Na) dos perfis de Espodossolos descritos por Cunha (1980), Schiavo et al. (2012) e na X RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012).....	18
<b>Figura 7.</b> Dispersão dos valores de soma de bases dos horizontes espódicos do Pantanal e dos demais pedoambientes brasileiros, obtida a partir do acervo de dados elaborado por Menezes (2017).....	19
<b>Figura 8.</b> Dispersão dos teores de C org de horizontes espódicos do Pantanal e dos demais pedoambientes brasileiros, obtida a partir do acervo de dados elaborado por Menezes (2017).....	20
<b>Figura 9.</b> Dispersão dos valores de pH (água) dos horizontes espódicos do Pantanal e dos demais pedoambientes brasileiros, obtida a partir do acervo de dados elaborado por Menezes (2017).....	21
<b>Figura 10.</b> Localização da sub-região da Baixa Nhecolândia no bioma do Pantanal. Fonte dos arquivos vetoriais utilizados para elaboração do mapa: IBGE (2019a, 2019b, 2019c).....	22
<b>Figura 11.</b> Distribuição da precipitação ao longo do ano conforme os dados de normais climatológicas calculada para os anos 1777-1997 obtidos da Estação Agroclimatológica de Nhumirim, adaptado de Soriano (2000).....	24
<b>Figura 12.</b> Variação das médias de temperatura ao longo do ano conforme os dados obtidos da Estação Agroclimatológica Nhumirim para os anos 1777-1997, adaptado de Soriano (2000).....	24
<b>Figura 13.</b> Ciclo anual da inundação da área do Pantanal, com os valores de máximo, mínimo e média das séries anuais de 1979 a 1987. Fonte: Hamilton, Sippel, Melack (1996).....	25
<b>Figura 14.</b> Vegetação predominante da Fazenda Nhumirim, localizada na sub-região da Baixa Nhecolândia, Corumbá - MS.....	26
<b>Figura 15.</b> Recorte da Carta Geológica ao Milionésimo – Folha SE.21 com a indicação da área de ocorrência de Espodossolos descritos na literatura. Fonte dos arquivos vetoriais utilizados para elaboração do mapa: CPRM (2004) e IBGE (2019a).....	27
<b>Figura 16.</b> Megaleque do Taquari e seus respectivos lobos deposicionais, com a indicação da área ocorrência de perfis de Espodossolos descritos na literatura, adaptado de Zani et al. (2006).....	29

<b>Figura 17.</b> Unidades de paisagem da sub-região da Baixa Nhecolândia, Pantanal, em que estão sendo representadas as seguintes vegetações: FS - floresta semidecídua; CE - cerradão; CC: campo cerrado; CLE - campo limpo com predominância de <i>E. muticus</i> ; CLA - campo limpo com predominância de <i>A. purpusii</i> e <i>Andropogon spp</i> ; BB - bordas de baías; VB - vazantes e baixadas. Fonte: Cardoso (2008) adaptado de Cunha (1980).....	30
<b>Figura 18.</b> Hidrografia da sub-região da Baixa Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense. Fonte dos arquivos vetoriais utilizados para elaboração do mapa: IBGE (2019a, 2019b, 2019c).....	31
<b>Figura 19.</b> Mapa de Classes de Solo do bioma do Pantanal, com a indicação da área de localização de perfis de Espodossolos descritos na literatura. Fonte dos arquivos vetoriais utilizados para elaboração do mapa: IBGE (2019a, 2019b, 2019c).....	33
<b>Figura 20.</b> Perfis de solos coletados na X RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012), na região do Pantanal da Nhecolândia, Corumbá - MS: <b>A.</b> ESPODOSSOLO FERRILÚVICO Órtico espessarênico (perfil MS-06); <b>B.</b> PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico típico (perfil MS-02); <b>C.</b> NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico êutrino (perfil MS-04). Fonte: Ademir Fontana.....	34
<b>Figura 21.</b> <b>A.</b> Trado preenchido com uma amostra da camada superficial (0 a 20 cm). <b>B.</b> Paisagem onde os perfis com feições espódicas estão localizados na região da Baixa Nhecolândia, Pantanal brasileiro, Mato Grosso do Sul.....	36
<b>Figura 22.</b> Localização dos perfis de solo coletados na região da Baixa Nhecolândia, Pantanal brasileiro, Mato Grosso do Sul. Fontes: <i>Shapefile</i> dos biomas brasileiros - IBGE (2019a); base cartográfica - IBGE (2019b); imagem da área de estudo - Google Earth Pro.....	36
<b>Figura 23.</b> <b>A.</b> Máquina de fusão automática Eagon 2. <b>B.</b> Amostras na forma de pérolas preparadas para leitura dos espectros no FRX. Fonte: Felícia Miranda de Jesus.....	38
<b>Figura 24.</b> Esquema ilustrativo do ambiente de ocorrência dos perfis de solo da região do Pantanal Sul-mato-grossense.....	40
<b>Figura 25.</b> Perfis descritos em uma área de relevo plano, na borda de uma baía ( <b>A.</b> P1; <b>B.</b> P2 e <b>D.</b> P4) e em uma área de transição entre a baía e cordilheira ( <b>C.</b> perfil MS-01 descrito na X RCC, que está localizado nas mesmas coordenadas do perfil P3). Na data da realização da campanha de campo não foi possível tirar foto mostrando o horizonte B do perfil P3 por causa do elevado nível freático (45 cm de profundidade em relação à superfície).....	42
<b>Figura 26.</b> <b>A.</b> Detalhe dos nódulos de ferro no horizonte C do perfil P1. <b>B.</b> Nódulos de manganês no horizonte C do perfil P2.....	43
<b>Figura 27.</b> <b>A.</b> ESPODOSSOLO FERRI-HUMILÚVICO Hidromórfico típico, perfil. <b>B.</b> Vegetação de pastagem nativa de capim vermelho na área de coleta dos perfis P1, P2 e P4, Fazenda Nhumirim, Corumbá – MS.....	77
<b>Figura 28.</b> <b>A.</b> ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico típico, perfil P2. <b>B.</b> Nódulos no horizonte C do perfil P2, Fazenda Nhumirim, Corumbá – MS.....	78
<b>Figura 29.</b> <b>A.</b> ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico arênico, Perfil MS01 descrito na X RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012), Fonte: Ademir Fontana. <b>B.</b> Vegetação de campo limpo, a área de coleta do perfil P3, Fazenda Nhumirim, Corumbá – MS.....	80
<b>Figura 30.</b> ESPODOSSOLO FERRI-HUMILÚVICO Hidromórfico típico, perfil P4 descrito na Fazenda Nhumirim, Corumbá - MS.....	81

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Estatística descritiva obtida a partir do acervo de dados elaborado por Menezes (2017) dos atributos químicos dos horizontes B espódicos da Baixa Nhecolândia e dos demais pedoambientes brasileiros.....	19
<b>Tabela 2.</b> Parâmetros adotados na curva quantitativa para as leituras das amostras pela FRX.....	38
<b>Tabela 3.</b> Padrões de referência da curva multielementar padrão.....	38
<b>Tabela 4.</b> Caracterização do pedoambiente dos perfis de solo da região do Pantanal Sul-mato-grossense.....	40
<b>Tabela 5.</b> Morfologia dos perfis de solo da região do Pantanal Sul-mato-grossense.....	41
<b>Tabela 6.</b> Granulometria dos perfis de solo da região do Pantanal Sul-mato-grossense.....	44
<b>Tabela 7.</b> Atributos químicos dos perfis de solo da região do Pantanal Sul-mato-grossense.....	45
<b>Tabela 8.</b> Óxidos obtidos por FRX, óxidos pedogenéticos, $Al_2O_3$ e $Fe_2O_3$ (diferença entre FRX e ataque sulfúrico) dos perfis de solo da região do Pantanal Sul-mato-grossense.....	47

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Classificação de Solos e Pedogênese.....	2
2.2. A Ordem dos Espodossolos .....	4
2.3. Ocorrência e Teorias de Formação dos Espodossolos.....	8
2.3.1. Teoria da complexação .....	9
2.3.2. Teoria da proto-imogolita .....	9
2.3.3. Teoria da metal-redução.....	9
2.4. Análises Laboratoriais para Identificação do Processo de Podzolização .....	10
2.4.1. Extração óxidos pedogenéticos .....	11
2.4.2. Análise de fluorescência de raio-x .....	12
2.5. Espodossolos dos Ambientes Tropicais e Temperados no Brasil .....	13
2.6. Espodossolos do Pantanal da Baixa Nhecolândia: Ocorrência e Características Diferenciais .....	16
2.7. Macrocaracterização da Sub-Região da Baixa Nhecolândia, Pantanal Sul-Mato-Grossense .....	21
2.7.1. Clima .....	23
2.7.2. Vegetação .....	25
2.7.3. Geologia .....	26
2.7.4. Geomorfologia .....	28
2.7.5. Hidrografia .....	30
2.7.6. Solos .....	32
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	35
3.1. O Pantanal Brasileiro e a Sub-região da Baixa Nhecolândia.....	35
3.2. Prospecção e Seleção dos Pontos de Coleta e Descrição dos Perfis de Solo.....	35
3.3. Localização dos Perfis de Solo e Amostragem.....	36
3.4. Preparação das Amostras e Análises Laboratoriais .....	37
4. RESULTADOS .....	40
4.1. Pedoambiente, Morfologia e Granulometria dos Perfis de Solo .....	40
4.2 Atributos Químicos, Óxidos Pedogenéticos e Composição Elementar da Terra Fina ..	44
4.3. Carbono Orgânico e Composição Elementar dos Nódulos .....	48
4.3. Classificação dos Solos.....	49
5. DISCUSSÃO .....	51
5.1. Pedoambiente, Morfologia e Granulometria dos Perfis de Solo .....	51
5.2. Atributos Químicos, Óxidos Pedogenéticos e Composição Elementar da Terra Fina ..	53
5.3. Carbono Orgânico e Composição Elementar dos Nódulos .....	56

5.4. Classificação dos Solos .....	57
6. CONCLUSÕES .....	58
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
8. APÊNDICE .....	76

## 1. INTRODUÇÃO

A gênese do horizonte espódico é governada pelo processo pedogenético específico de podzolização, que ocorre principalmente em condições de clima úmido, tanto temperado quanto tropical, sob material de origem derivado de rochas félscicas ou sedimentos de alta permeabilidade e textura arenosa, com níveis predominantemente baixos de cátions que promoveriam a dispersão de matéria orgânica e de cátions que formariam complexos organometálicos. Este horizonte é diagnóstico para a classe dos Podzols na Base de Referência Mundial para Recursos de Solo (traduzido do inglês, *The World Reference Base for Soil Resources - WRB; IUSS WORKING GROUP WRB, 2015*) e, por sua vez, é definido por apresentar “*substâncias iluviais compostas de matéria orgânica e alumínio ou ferro iluvial*”. Já no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS; SANTOS et al., 2018), os horizontes espódicos devem apresentar “*acumulação iluvial de matéria orgânica combinada com alumínio, podendo ou não conter ferro*”, sendo diagnósticos para a classe dos Espodossolos.

Os Espodossolos ocorrem em todas as regiões do território brasileiro e em diferentes pedoambientes, desde as condições tropicais da bacia amazônica, dos tabuleiros costeiros, da planície litorânea e na bacia do Pantanal, como também sob clima frio e úmido nos campos de altitude. Tanto os Espodossolos como os Podzols são solos de textura arenosa, com acúmulo de carbono orgânico nos horizontes espódicos, pH em água predominantemente ácido e baixa saturação por bases. No entanto, os horizontes espódicos descritos nos ambientes tropicais brasileiros apresentam teores muito mais baixos de óxidos de ferro, alumínio e carbono orgânico quando comparados aos Podzols de ambientes temperados.

Dentre os pedoambientes brasileiros, destaca-se o Pantanal, especificamente a sub-região da Baixa Nhecolândia, onde os Espodossolos descritos em ambientes influenciados pela presença de lagoas alcalinas divergem do conceito central da gênese desta ordem, com destaque para os seguintes atributos: pH alcalino, elevada saturação por bases, caráter sódico e solódico, que são comumente observados em solos que têm como processo de formação a sodificação, como os Planossolos. Outro fator que chama atenção nos horizontes espódicos do Pantanal são os teores ínfimos de carbono orgânico e de alumínio em comparação aos horizontes espódicos formados nos demais ambientes brasileiros.

Apesar da singularidade dos solos do Pantanal, não há estudos que mostrem que a matéria orgânica teria sido de fato humificada e iliviada na gênese dos horizontes espódicos, conforme os preceitos da podzolização. Em especial, são poucos os estudos em pedologia, o que enfatiza a importância de descrever, caracterizar e compreender os solos com feições espódicas e seus processos pedogenéticos. Além disso, a identificação dos Espodossolos no SiBCS é comprometida pela falta de critérios quantitativos associados aos componentes iluviados do horizonte diagnóstico B espódico, bem como definições quanto às análises para identificação do acúmulo de óxidos pedogenéticos neste horizonte.

Neste contexto, a hipótese deste estudo é que as condições de pH neutro a alcalino no pedoambiente do Pantanal não inibem o desenvolvimento de solos com horizontes espódicos.

O objetivo geral é avaliar atributos de solos com feições espódicas do Pantanal para possível enquadramento no processo de podzolização. Os objetivos específicos são:

- (i) Caracterizar os solos com feições espódicas da região do Pantanal brasileiro quanto aos atributos morfológicos, físicos e químicos;
- (ii) Identificar atributos que respaldem o processo de podzolização nesses solos; e
- (iii) Indicar processos pedogenéticos específicos e classificar quanto a taxonomia.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Classificação de Solos e Pedogênese

Classificar significa organizar em diferentes grupos um conjunto de elementos, conceitos ou objetos por meio do conhecimento que se têm a respeito deles. É através de características que são julgadas como diferenciais que são estabelecidos critérios de separação ou agrupamento, de modo que essa categorização é influenciada pela percepção e pelo objetivo de quem a faz. Logo, os sistemas classificatórios vão dos mais simples e intuitivos como “bom ou ruim” até sistemas com uma grande diversidade de regras e conceitos incluídos.

Conforme Cline (1963), todo sistema de classificação é resultado de fatos, ou seja, observação de dados e experimentos, como também de relações puramente empíricas estabelecidas sobre esses fatos. Sendo assim, considerando que classificações são baseadas em experiências passadas, periodicamente elas devem ser revistas à medida que o conhecimento científico avança e é aprimorado (LEPSCH, 2010, 2011; RESENDE et al., 2012; ISBELL AND THE NATIONAL COMMITTEE ON SOIL AND TERRAIN, 2016). Posto isso, idealmente todo sistema de classificação deve ser aberto, isto é, passível de modificação de critérios, inclusão ou exclusão de classes.

Os sistemas de classificação dividem-se em dois grupos: (i) técnicos ou interpretativos e (ii) naturais ou taxonômicos. Quando a classificação é direcionada para um problema específico, por exemplo, separar os solos em função da aptidão agrícola ou do manejo que deve ser adotado, é realizada uma classificação chamada de técnica ou interpretativa. Neste tipo de classificação elege-se um conjunto de atributos que são avaliados apenas para atender uma demanda. E, quando a classificação é baseada em todos os atributos conhecidos de uma população, esta é chamada de natural ou taxonômica (LEPSCH, 2011). Para distinguir os tipos de classificação, Resende et al. (2012) ressalta que toda classificação realizada com finalidade científica é natural ou taxonômica, enquanto àquelas voltadas para um objetivo particular são interpretativas.

Pode-se dizer que classificações interpretativas têm sido realizadas pelo homem desde a pré-história, tendo em vista que a partir da observação de aspectos da paisagem e crescimento de plantas que o homem deixou de ser coletor para realizar a agricultura, selecionando qual porção da terra era melhor para o cultivo (LEPSCH, 2010, ANJOS et al., 2012). No entanto, a taxonomia, do grego “*táxis*” (ordem) e “*onomas*” (lei ou norma), passou a ser utilizada em meio científico somente após o trabalho de classificação lógica das espécies proposto pelo botânico Carolus Linnaeus no século XVIII (AQUINO, CARLAN, BASCHER, 2009).

A taxonomia consiste no estabelecimento de um sistema classificatório hierárquico, que inclui não somente a classificação em si, mas também a teoria e o método utilizado para estabelecê-la (ALVARES, 2015). A partir de unidades sistemáticas chamadas *táxons* que os sistemas taxonômicos organizam os diferentes níveis hierárquicos, de modo que nos níveis mais elevados são agrupados indivíduos com um número pequeno de características em comum e nos níveis mais baixos, maior é a similaridade entre os indivíduos (LEPSCH, 2010 2011, RESENDE et al., 2012).

Na área de ciência do solo, são exemplos de sistemas técnicos ou interpretativos o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras – SAAAT (RAMALHO FILHO & BEEK, 1995), o *Land Capability Classification* (KLINGEBIEL & MONTGOMERY, 1961), o Sistema de Classificação de Terras para Irrigação – SiBCTI (CARTER, 1993), dentre outros. E, como exemplo de sistemas de classificação taxonômicos podem ser destacados o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (SANTOS et al., 2018), o *Soil Taxonomy* – ST (SOIL SURVEY STAFF, 2014) e o WRB (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015).

Segundo o FAO Soils Portal (2020), os sistemas taxonômicos de solo podem ser: (i) sistemas numéricos, que são baseados somente em atributos quantificáveis e (ii) os sistemas genéticos, que buscam relacionar os processos de formação de solo para identificação das classes por intermédio de atributos chamados de diagnóstico, como é o caso do ST, do WRB e do SiBCS (TABOR, 2001; ANJOS et al., 2012; FAO SOILS PORTAL, 2020). Outros exemplos de sistemas de classificação genéticos são: *Soil Classification – a Taxonomic System for South Africa* (SOIL CLASSIFICATION WORKING GROUP, 1991), *The Canadian System of Soil Classification* (SOIL CLASSIFICATION WORKING GROUP, 1998), *Classification and Diagnostic System of Russian Soils* (SHISHOV et al., 2004), *The Australian Soil Classification* (ISBELL AND THE NATIONAL COMMITTEE ON SOIL AND TERRAIN, 2016), entre outros.

Atributos de solos são características ou propriedades dos solos que possam ser identificadas no campo ou determinadas por análises laboratoriais (SANTOS & ZARONI, 2006). Esses atributos não se resumem as características intrínsecas do solo, como textura, estrutura ou mineralogia das argilas, mas também estão associados a respostas do solo a estímulos exercidos, como capacidade de troca catiônica (CTC), a consistência seca, úmida e molhada, etc. Especificamente os atributos diagnósticos são o conjunto de características ou propriedades de solo selecionadas em grau arbitrado como expressivo, estabelecidos “*por razão de conveniência (arbitrio) para construção taxonómica*” (IBGE, 2015). Outras características ou propriedades identificadas que não são definidas como atributos diagnósticos, são atributos adicionais ou complementares.

Devido aos limites estabelecidos pelo homem para construção taxonômica, é possível a taxonomia não refletir de fato o processo pedogenético pelo qual o solo foi formado. A exemplo disso, pode ser tomado um horizonte B que tenha todos os atributos diagnósticos de um B latossólico, com exceção da espessura, que deve ser de 50 cm. Neste caso, embora o horizonte tenha todas as características de ter passado pelo processo de latossolização, é classificado como B incipiente e o solo é classificado como Cambissolo. Porém, uma pessoa ao tomar a classificação a nível de ordem isoladamente, pode associar a esse solo características relacionadas a solos pouco desenvolvidos quanto a pedogênese, que podem ser rasos, com presença de minerais primários intemperizáveis no horizonte B, podendo apresentar presença de mais de 5% do seu volume com estrutura da rocha original, alta relação molecular  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , entre outras características que são bastante distintas aos Latossolos, solos bastante desenvolvidos quanto a pedogênese, homogêneos, profundos, etc.

Diante do exposto, em função do caráter arbitrário e empírico desses limites estabelecidos na seleção de atributos diagnósticos, que é inerente a qualquer sistema de classificação, não há como predizer aspectos da pedogênese a partir da classe de solo, mesmo tomando como base um sistema de genético de classificação. E, muitas das vezes, a desconexão entre a classificação dos sistemas genéticos e a pedogênese é motivada pela subjetividade de definições do próprio sistema ou pela carência de critérios baseados em padrões e tendências observadas nos solos.

Como exemplo, a falta de atributos quantitativos associados ao processo de podzolização como valor máximo de pH em água, teor mínimo de carbono orgânico e de óxidos de Fe e Al para o horizonte B espódico, bem como a imprecisão das definições do SiBCS deste horizonte diagnóstico tem permitido a identificação de horizontes com atributos antagônicos a sua pedogênese e que se sobressaltam em relação aos valores centrais observados como pH alcalino, caráter sódico, solódico, elevada soma de bases e baixíssimos teores de matéria orgânica e de alumínio na região da Baixa Nhecolândia (CUNHA, 1980; SCHIAVO et al., 2012; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012; MENEZES, FONTANA, ANJOS, 2018). Isto é, podem ser classificados como B espódicos horizontes que não tenham sido formados pelo processo pedogenético específico de

podzolização devido a carência de definições e atributos diagnósticos no SiBCS. Por conseguinte, a classe dos Espodossolos, que por definição deve apresentar o horizonte diagnóstico B espódico, tem a classificação em nível de ordem e sub-ordem comprometida pelos critérios atuais.

## 2.2. A Ordem dos Espodossolos

De acordo com o SiBCS (SANTOS et al., 2018), os Espodossolos *são solos constituídos por material mineral, apresentando o horizonte B espódico imediatamente abaixo do E, A ou horizonte hístico dentro de 200 cm a partir da superfície ou de 400 cm, se a soma dos horizontes A e E ou dos horizontes hístico e E ultrapassar 200 cm de profundidade.*

Na pedogênese destes solos há a atuação do processo de podzolização em que ocorre a iluviação de complexos organometálicos no perfil e o desenvolvimento do horizonte B espódico conforme será abordado no tópico 2.3. *Ocorrência e Teorias de Formação dos Espodossolos.* Por sua vez, a composição química dos horizontes B espódicos é influenciada diretamente pela natureza do material de origem e do material orgânico, bem como pela presença de complexos organometálicos no lençol freático incidente no perfil de solo.

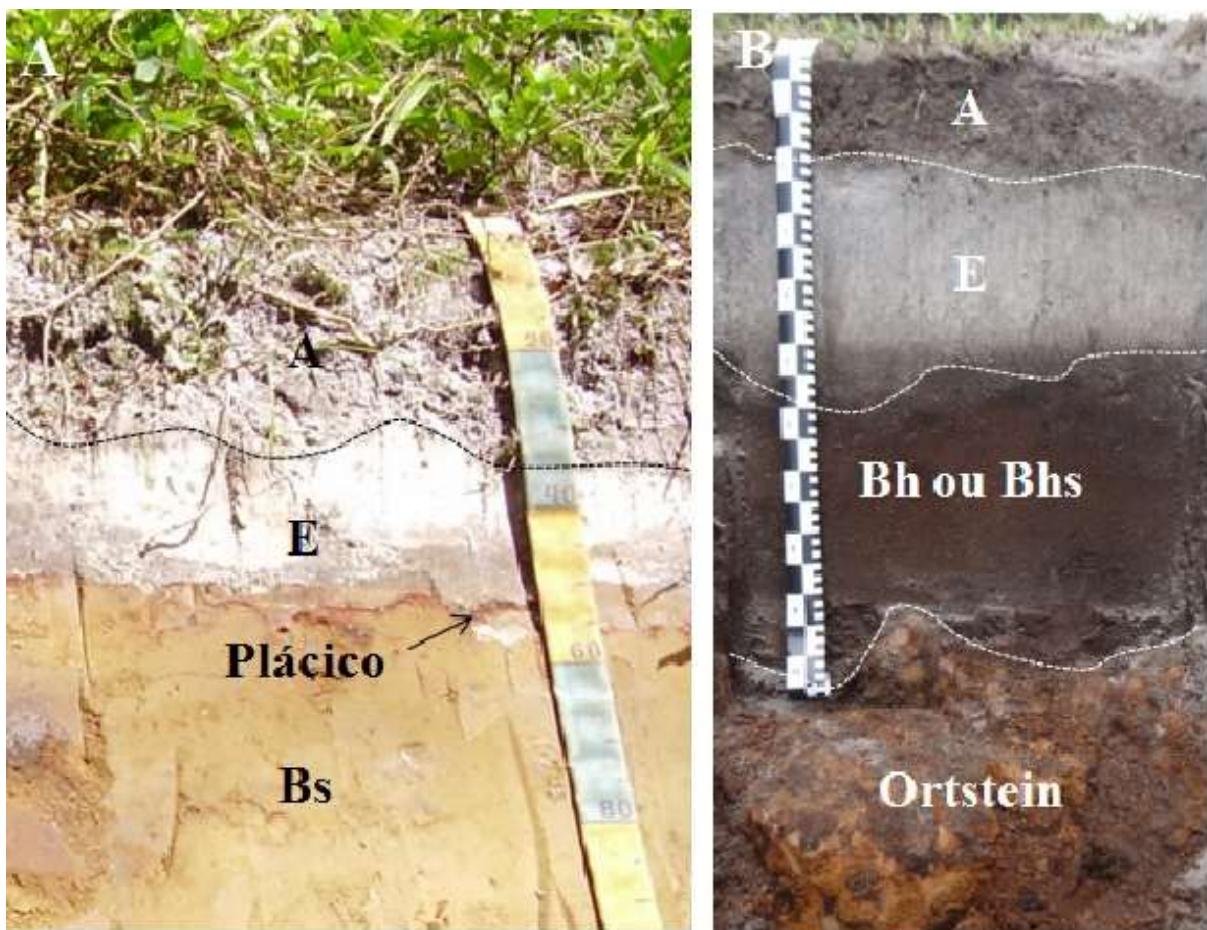
O horizonte diagnóstico B espódico caracteriza-se por ser de natureza mineral com acúmulo iluvial de matéria orgânica humificada (frações alcalino-solúveis) combinada com alumínio, podendo ou não conter ferro. Conforme Santos et al. (2018), o horizonte espódico deve atender os seguintes critérios:

- (i) *Espessura mínima de 2,5 cm, exceto para o horizonte plácico cuja espessura mínima é 0,5 cm;*
- (ii) *Presença de alumínio, pois é essencial para sua formação;*
- (iii) *Quando subjacente ao horizonte E deve apresentar a(s) cor(es) úmida(s) atendendo as seguintes composições: matiz 5YR ou mais vermelho, matiz 7,5YR com valor menor ou igual a 5 e croma menor ou igual a 4, matiz 10YR com valor e croma menor ou igual a 3, cores neutras com valor 3 ou menor;*
- (iv) *Quando não subjacente ao E, deve apresentar uma das cores mencionadas anteriormente ou matiz 7,5YR com valor menor ou igual a 5 e croma 5 ou 6 ou matiz 10YR com valor menor ou igual a 5 e croma menor que 6, atendendo ainda critérios relacionados ao percentual de cimentação de matéria orgânica e alumínio no horizonte, presença de revestimentos de matéria orgânica e porcentagem de alumínio mais metade da porcentagem de ferro (determinados pelo oxalato ácido de amônio) com valor 0,50 ou maior, sendo este percentual pelo menos o dobro do valor encontrado no horizonte sobrejacente, seja A ou E;*
- (v) *Ainda, o horizonte espódico pode apresentar qualquer cor desde que seja continuamente cimentado por combinação de matéria orgânica e alumínio, podendo ter ferro ou não, apresentando também consistência úmida muito firme ou extremamente firme.*

Em função dos compostos iluviais dominantes e do grau de cimentação, são identificados os seguintes tipos de horizonte B espódico, os quais podem ser encontrados isolados ou associados em um perfil de solo (SANTOS et al., 2018):

- (i) *Bs, apresenta cores vivas de croma alto e acumulação de material amorf, principalmente alumínio e ferro combinados com baixos teores de matéria orgânica (Figura 1.A);*
- (ii) *Bhs, acúmulo expressivo de matéria orgânica combinada com alumínio e ferro, contém teores significativos de ferro e alumínio extraídos por oxalato ácido de amônio ( $Fe_o$  e  $Al_o$ ) (Figura 1.B);*

- (iii) *Bh*, acúmulo de matéria orgânica e alumínio, com pouca ou nenhuma evidência de ferro e apresenta cores escuras (baixo valor e croma) (Figura 1.B);
- (iv) *Ortstein*, representa o horizonte *B* espódico na forma consolidada (*Bsm*, *Bhsm* ou *Bhm*), apresentando-se contínuo ou praticamente contínuo, fortemente cimentado por complexos organometálicos, a consistência varia de muito firme a extremamente firme independente da umidade (Figura 1.B);
- (v) *Plácico*, de espessura fina, cor preta a vermelho-escura e aparentemente cimentado por ferro (ou ferro e manganês) e matéria orgânica (Figura 1.A).



**Figura 1.** A. Perfil de Espodossolo com a presença dos horizontes plácico e Bs, Fonte: Vidal-Torrado (2009). B. Perfil de Espodossolo com a presença dos horizontes Bh ou Bhs (não diferenciáveis pela morfologia) e ortstein, Fonte: Ademir Fontana.

Embora os horizontes *B* espódicos devam apresentar acúmulo de matéria orgânica e naturalmente tenham pH ácido como reflexo da pedogênese como será tratado no item 2.3. *Ocorrência e Teorias de Formação dos Espodossolos*, não foi estabelecido valor mínimo para o teor carbono orgânico para a sua identificação no SiBCS (SANTOS et al., 2018), assim como não há um critério que defina valor máximo de pH em água desses horizontes, em contrapartida dos sistemas taxonômicos internacionais como o *Soil Taxonomy* (SOIL SURVEY STAFF, 2014) e o WRB (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015). Assim, os únicos critérios quantitativos que estão presentes na definição do *B* espódico do SiBCS são a espessura mínima do horizonte e o critério relacionado ao percentual ferro e alumínio extraídos de oxalato ácido

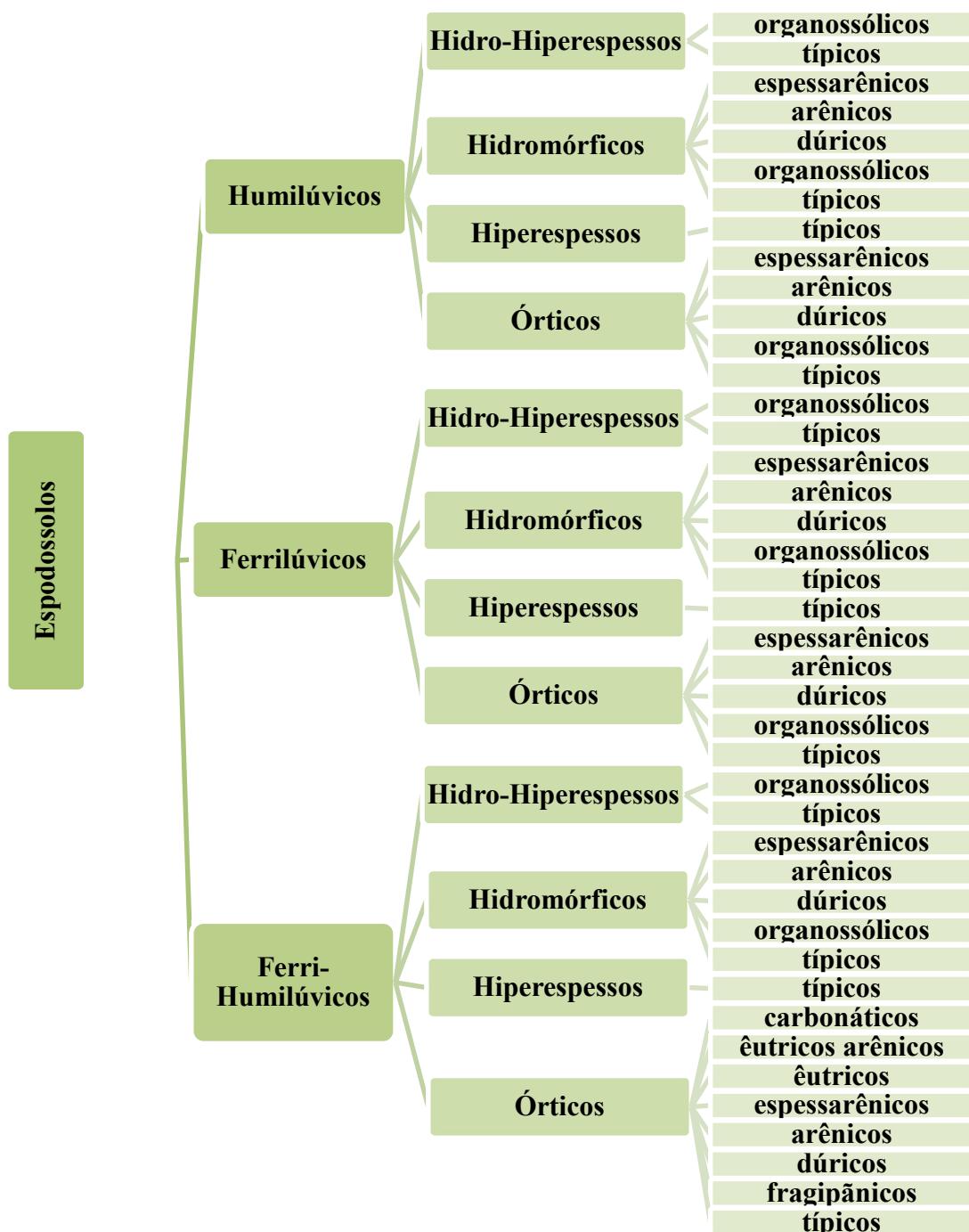
de amônio derivado do *Soil Taxonomy* (SOIL SURVEY STAFF, 2014), contudo, muitos autores não realizam essa análise para identificação do B espódico, o que limita a adequada classificação taxonômica.

A identificação dos diferentes tipos de horizontes B espódicos é relevante para classificação em nível de subordem. Os solos que têm presença de horizonte espódico, isoladamente ou sobrepostos a outros tipos de horizontes espódicos ou não espódicos: Bh (m) são incluídos na subordem dos Espodossolos Humilúvicos; Bs (m) para os Espodossolos Ferrilúvicos; e os solos que não se enquadram nas classes anteriores são identificados como Espodossolos Ferri-humilúvicos (SANTOS et al., 2018).

No nível de grande grupo, os Espodossolos dividem-se em:

- (i) Hidro-hiperessessos – solos que apresentam o horizonte B espódico maior que 200 e menor ou igual a 400 cm e que permanecem saturados com água durante algum tempo na maioria dos anos, apresentando os horizontes H hístico e/ou o horizonte Eg e/ou zonas de acumulação de óxidos de ferro e/ou manganês no horizonte E ou B espódico dentro de 100 cm de profundidade;
- (ii) Hidromórficos – solos que apresentam as mesmas características e critérios dos Hidro-hiperessessos, mas o B espódico ocorrem em profundidade menor ou igual a 200 cm;
- (iii) Hiperessessos – solos em que o B espódico ocorrem em profundidade maior que 200 cm e menor ou igual a 400 cm;
- (iv) Órticos – solos que não se enquadram nas outras classes de grande grupo (SANTOS et al., 2018).

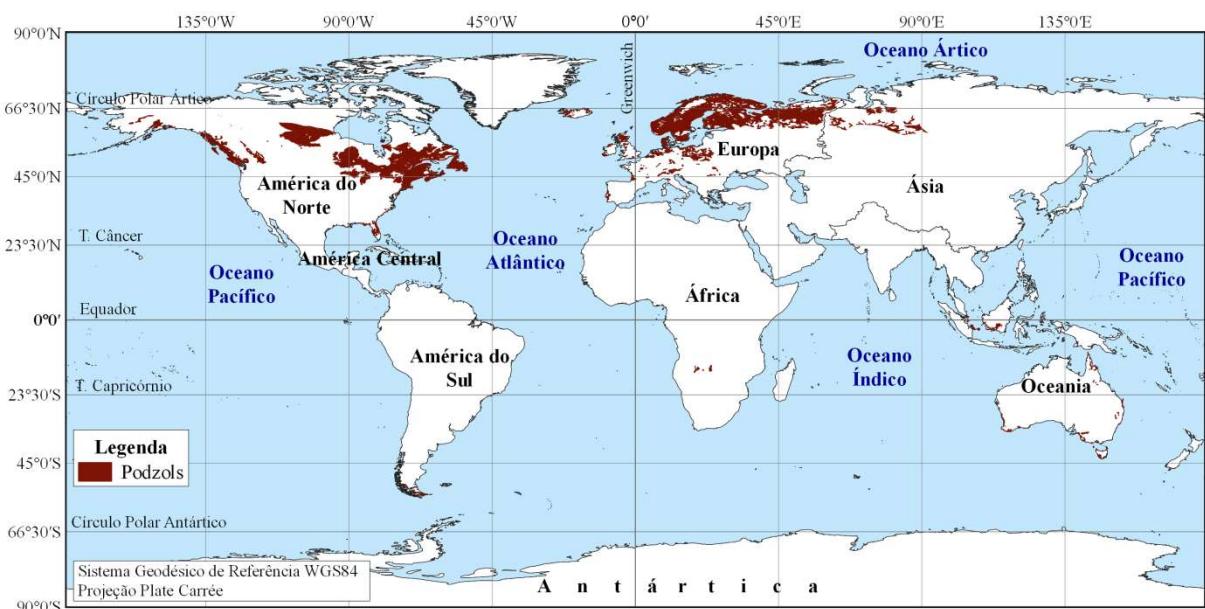
Em sub-grupo, os Espodossolos podem ser classificados conforme o esquema apresentado na Figura 2 em: em organossólicos, espessarênicos, arênicos, dúricos, fragipânicos e típicos, não havendo qualquer classe neste nível categórico para solos com o caráter sódico ou solódico, como os Espodossolos do Pantanal. Ainda, podem ser classificados no nível de sub-grupo como carbonáticos, êutrlicos e êutrlico arênicos quando forem classificados como Espodossolos Ferri-Humilúvicos Órticos (SANTOS et al., 2018).



**Figura 2.** Sistematização da classe dos Espodossolos até o quarto nível categórico no SiBCS (SANTOS et al., 2018).

### 2.3. Ocorrência e Teorias de Formação dos Espodossolos

Os Espodossolos ocorrem principalmente na zona boreal e áreas montanhosas de regiões de clima temperado e úmido (SAUER et al., 2007) (Figura 3). No entanto, ocorrem em menor proporção, em regiões tropicais e subtropicais, como no litoral brasileiro (GOMES et al., 1998; ROSSI, 1999; GOMES, 2002; COELHO, 2008; COELHO et al., 2010a; SILVA NETO et al., 2018), na Amazônia (MAFRA et al., 2002; HUGUET et al., 2010; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2013, 2015; ISHIDA et al., 2014), em florestas tropicais da Indonésia (FUJII et al., 2011), na Austrália (JONES et al., 2015) etc.



**Figura 3.** Distribuição dos Podzols, solos com horizontes espódicos conforme o WRB no Mapa Digital de Solos do Mundo (FAO, 2007). Fonte do arquivo vetorial utilizado para elaboração do mapa: FAO (2007).

Como característica marcante dessa classe de solos, independentemente da condição climática, a formação de horizontes espódicos se dá basicamente em materiais quartzosos e clima úmido. Além disso, os Espodossolos estão associados a vegetações de caráter ácido e de decomposição lenta, que liberam para o meio altas quantidades de ácidos fúlvicos e ácidos orgânicos de baixo peso molecular (SCHAETZ, 2002).

Na região boreal, a vegetação representativa desses solos é a floresta de coníferas e nas zonas temperadas, a floresta decídua (STANLEY & CIOLKOSZ, 1981; VANCE, MOKMA, BOYD, 1986). No Brasil, esses solos estão em áreas de restinga na planície litorânea (GOMES et al., 1998; ROSSI, 1999; GOMES, 2002; COELHO, 2008); muçununga nos Tabuleiros Costeiros (ARAÚJO FILHO, 2003; MOREAU et al., 2006; CÔRREA et al., 2008, 2015; OLIVEIRA et al., 2010; CARVALHO et al., 2013; SCHIAVO et al., 2020); campinarana na planície Amazônica (MAFRA et al., 2002; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2013, 2015) e campos rupestres em elevadas altitudes sob clima frio (CAMPOS et al., 1997; BENITES, 1998; SCHAEFER et al., 2002; DIAS et al., 2003; SIMAS et al., 2005) (Figura 3). No Pantanal Sul-mato-grossense, os Espodossolos estão na sub-região da Baixa Nhecolândia, área com elevada concentração de baías e salinas, sob vegetação de Campo Tropical e Cerradão Sub-tropical (CUNHA, 1980; SCHIAVO et al., 2012; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012).

A combinação entre o meio de alta permeabilidade, clima úmido e vegetação de caráter ácido contribui para a ocorrência do processo pedogenético de podzolização. Quanto a esse processo, há na literatura diferentes hipóteses com relação aos mecanismos (ou parte deles) de transferência vertical ou lateral da matéria orgânica humificada complexada com alumínio e/ou ferro no perfil de solo (LUNDSTRÖM, VAN BREEMEN, BAIN, 2000; SAUER et al., 2007; KÄMPF & CURI, 2012). No entanto, as teorias a respeito da podzolização foram propostas para condições de clima temperado, havendo poucos estudos voltados para a gênese dessa classe de solos em condições tropicais.

As teorias mais aceitas para explicar a translocação de cátions polivalentes e matéria orgânica no processo de podzolização são: (i) a teoria da complexação – formação de complexos de ácidos orgânicos com íons de Fe, Al e Si solúveis em água; (ii) teoria da proto-imogolita – translocação de Al, Si e Fe como colóide inorgânico e (iii) teoria da metal-redução.

### 2.3.1. Teoria da complexação

Conforme a teoria da complexação, os resíduos vegetais depositados em superfície ao serem humificados por ação dos microorganismos presentes no solo dão origem a colóides orgânicos hidrofilicos, que possuem cargas superficiais negativas resultantes da dissociação de grupamentos funcionais  $-\text{COOH}$  e fenol-OH. Em solos com altas quantidades de cátions monovalentes ( $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ), as cargas negativas de superfície dos colóides orgânicos são neutralizadas por adsorção desses cátions e, por sua vez, os colóides são dispersos (DE CONINCK, 1980; SCHÄTZ, 2002). Por outro lado, em baixas quantidades de cátions monovalentes, essas cargas são neutralizadas por adsorção de cátions polivalentes como Fe, Al e Si, presentes na solução do solo.

Desta maneira, os ácidos orgânicos complexantes formados em superfície, do tipo polifenóis, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos complexam os cátions polivalentes que estão no horizonte superficial. Porém, se esses cátions estão presentes em altas quantidades, todos os sítios de ligação polar são preenchidos rapidamente e os compostos precipitam ainda em superfície (MCKEAGUE et al., 1978; KÄMPF & CURI, 2012). Do contrário, os complexos organometálicos, com a água percolante em meio de alta porosidade, são translocados no perfil de solo e acumulam em subsuperfície devido a diferentes mecanismos de imobilização (DE CONINK, 1980; LUNDSTRÖM, VAN BREEMEN, BAIN, 2000).

A formação preferencial de complexos com Fe e Al se deve ao pequeno tamanho e alta valência desses metais, o que leva a formação de complexos mais estáveis (LUNDSTRÖM, VAN BREEMEN, BAIN, 2000; RIISE et al., 2000). E, a imobilização desses complexos pode ser devido a: (i) a precipitação dos complexos organometálicos quando a razão metal/ carbono orgânico excede um valor crítico no qual todos os sítios de ligação polar estão preenchidos, sendo esse valor variável conforme o pH do solo ou da acidez potencial dos compostos orgânicos (BUURMAN, 1985; SCHNITZER, 1986); (ii) a captura por adsorção em materiais de carga positiva, tais como óxidos de Fe e Al ou complexos já precipitados (SAUER et al., 2007); (iii) a deposição e dessecção desses complexos pela agregação em zonas de alta força iônica e baixa atividade de  $\text{H}^+$  ou por cargas negativas expostas (KÄMPF & CURI, 2012) ou ainda (iv) a presença de lençol freático que limita a drenagem, impedindo a saída do material orgânico solúvel verticalmente (ANDRIESSE, 1969).

### 2.3.2. Teoria da proto-imogolita

De acordo com esta teoria, a mobilização dos cátions polivalentes está associada à formação de ortossilicatos móveis hidróxi-Al-Si-Fe (proto-imogolita), com cargas positivas, originados pelo intemperismo dos horizontes A e E (FARMER, RUSSELL, BERROW, 1980;

FARMER, 1982; ANDERSON et al., 1982; FARMER et al., 1985; FARMER & LUMSDON, 2001). Com a ação da água, esses silicatos são translocados e precipitam no horizonte B como óxidos de Fe ou Al, ou na forma de materiais tipo imogolita. Por sua vez, a proto-imogolita pode se transformar em alofana, forma predominante de Al acumulada nos horizontes Bs (FARMER, RUSSELL, BERRROW, 1980). Em etapa posterior, os ácidos orgânicos são mobilizados e seu acúmulo no horizonte B é dado pela adsorção dos ácidos orgânicos carregados negativamente na fração inorgânica.

Destaca-se que no Brasil, a teoria mais utilizada para explicar a gênese dos Espodossolos nos diversos pedoambientes de ocorrência dessa classe é a da complexação (KAMPF & CURI, 2012). No entanto, essa teoria não explica a formação dos Espodossolos presentes no ambiente do Pantanal, que possuem altas concentrações de cátions monovalentes na solução do solo. Além disso, vale destacar que os teores de matéria orgânica presentes nos horizontes espódicos desses solos são ínfimos em relação aos B espódicos de outros ambientes de formação (MENEZES, FONTANA, ANJOS, 2018). Portanto, a teoria da proto-imogolita melhor justificaria a gênese desses solos de baixo acúmulo de matéria orgânica humificada no horizonte espódico (SCHIAVO et al., 2012).

Por outro lado, é relevante considerar que para a formação de silicatos móveis hidróxi-Al-Si-Fe seriam necessárias condições de acidólise para destruição dos minerais primários e dos aluminossilicatos, o que não é verificado no ambiente neutro a alcalino do Pantanal (SAUER et al., 2007; SCHIAVO et al., 2012; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012). Ademais, outro fator que contradiz a teoria da proto-imogolita no Pantanal é a ausência ou baixíssimos teores de alumínio extraído por oxalato ácido de amônio nos horizontes espódicos já descritos neste ambiente, que por sua vez é composto parcialmente pela alofana e imogolita, agentes da formação dos horizontes espódicos segundo a mesma (COELHO et al., 2010b; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012). Desse modo, não é justificável a aplicação desta teoria no ambiente do Pantanal Sul-mato-grossense.

### 2.3.3. Teoria da metal-redução

A teoria da metal-redução é pouco explorada na literatura para justificar a pedogênese por podzolização, possivelmente por não justificar o acúmulo do Al nos horizontes espódicos. Nesta situação, o  $Fe^{3+}$  presente nos óxidos é reduzido pela presença substâncias orgânicas redutoras liberadas da serrapilheira de diferentes espécies, sendo formados em seguida complexos férrico-orgânicos. Assim, os complexos na forma reduzida são o principal mecanismo de translocação de Fe para a subsuperfície, levando a formação do horizonte B espódico (SAUER et al., 2007).

Embora o Pantanal seja um ambiente propício às condições de redução pelo alagamento sazonal, esta teoria não é aplicável a este ambiente, tendo em vista a necessidade da participação da matéria orgânica na redução e mobilização do Fe, que por sua vez, está em baixíssimas quantidades nos horizontes espódicos descritos no mesmo (SCHIAVO et al., 2012; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012).

## 2.4. Análises Laboratoriais para Identificação do Processo de Podzolização

Conhecer a variação de Fe e Al no perfil de solo é fundamental para a identificação do processo de podzolização. A seguir serão abordadas as análises de extração de óxidos pedogenéticos e a análise de fluorescência de raio-x (FRX), como também serão apresentados resultados das referidas análises de horizontes espódicos descritos na literatura nos diferentes ambientes de formação do Brasil e, quando disponíveis, nos solos da Baixa Nhecolândia.

#### 2.4.1. Extração de óxidos pedogenéticos

A extração seletiva de óxidos pedogenéticos é uma análise que permite avaliar a variação dos teores de óxidos ferro, alumínio e manganês nos diferentes horizontes ou camadas do perfil de solo. Em função disso, é uma análise utilizada para respaldar o diagnóstico do horizonte B espódico, visto que possibilita verificar se há acúmulo de óxidos de Fe e Al nos horizontes B em relação ao horizonte sobrejacente (HIGASHI, DE CONINCK, GELAUDE, 1981; FOX & COMERFORD, 1992; DAHLGREN & WALKER, 1993).

O método visa determinar compostos de ferro, alumínio e manganês livres no solo extraídos por meio da solução de ditionito-citrato-bicarbonato de sódio; compostos de ferro, alumínio e sílica amorfos extraídos pela solução de oxalato ácido de amônio; e ferro e alumínio de ligações orgânicas extraídas por solução de pirofosfato de sódio (TEIXEIRA et al., 2017).

Em função de ser uma análise amplamente empregada e reconhecida na literatura, alguns sistemas de classificação de solos utilizam os resultados, principalmente da extração por meio de oxalato ácido de amônio, como critérios quantitativos para identificação dos horizontes espódicos, como o WRB (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015), o *Soil Taxonomy* (SOIL SURVEY STAFF, 2014), o *Soil Classification – A Taxonomy System for South Africa* (SOIL CLASSIFICATION WORKING GROUP, 1991) e o SiBCS (SANTOS et al., 2018).

No SiBCS (SANTOS et al., 2018) e nos sistemas internacionais WRB (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015) e *Soil Taxonomy* (SOIL SURVEY STAFF, 2014) é utilizado o teor de ferro e alumínio extraídos por meio do oxalato ácido de amônio como critério diagnóstico conjugado com critério de cor. Conforme esses sistemas taxonômicos, o horizonte espódico deve possuir porcentagem de  $Al_o$  mais metade da porcentagem de  $Fe_o$ , com valor igual a 0,5 ou maior, sendo este valor pelo menos o dobro do valor encontrado no horizonte sobrejacente, seja A ou E. Contudo, como fator limitante ao uso desse critério, ao analisar dados de 385 horizontes espódicos descritos no Brasil para revisão dos critérios diagnósticos desse horizonte, Menezes (informação pessoal)<sup>1</sup> observou que apenas 25% dos horizontes espódicos com dados de  $Fe_o$  e  $Al_o$  ( $n = 165$ ), atenderiam o percentual mínimo de 0,5%, sendo que 53% dos horizontes espódicos apresentam percentual menor ou igual a 0,25% de  $Al_o + 0,5 Fe_o$  e 22% dos horizontes apresentam percentual de 0,25 a 0,5% de  $Al_o + 0,5 Fe_o$ .

Com relação ao acúmulo de óxidos pedogenéticos nos horizontes espódicos do Pantanal, em outro estudo, ao analisar dados de atributos diagnósticos de horizontes espódicos nos diferentes pedoambientes brasileiros, Menezes, Fontana, Anjos (2018) observaram maior acúmulo de óxidos de ferro, principalmente de maior cristalinidade, nos horizontes do Pantanal em comparação aos outros ambientes sedimentares (planície litorânea, tabuleiros costeiros e planície amazônica), sendo que as médias e medianas neste ambiente foram respectivamente 8,8 e 6,4 g kg<sup>-1</sup> para  $Fe_d$  ( $n = 15$ ) e 1,4 e 0,9 g kg<sup>-1</sup> para  $Fe_o$  ( $n = 14$ ), enquanto nos outros ambientes sedimentares variaram de 0,2 a 1,5 para  $Fe_d$  ( $n = 186$ ) e 0,0 a 1,1 para  $Fe_o$  ( $n = 186$ ). Nesta avaliação são incluídos os perfis de Espodossolos descritos na X Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos - RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012) e os perfis de Schiavo et al. (2012), que apresentaram, por sua vez, aumento de  $Fe_d$  e  $Fe_o$  em profundidade, de modo que os teores mais que dobram no horizonte B espódico em relação ao horizonte superficial, exceto para o perfil P4 descrito por Schiavo et al. (2012) que somente apresentou aumento de  $Fe_d$ .

Quanto aos óxidos de alumínio por oxalato ácido de amônio, foram observados teores muito baixos nos perfis de Espodossolos da X RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012), que variaram de 0,02 a 0,32 g kg<sup>-1</sup> no perfil MS-01 e de 0,02 a 0,21 no perfil MS-05 g kg<sup>-1</sup>. E, os únicos registros na literatura de

<sup>1</sup> Discussão feita a partir de dados oriundos da dissertação de mestrado Andressa Rosas de Menezes na data de 19 de maio de 2020.

Al<sub>o</sub> de horizontes espódicos nesse ambiente são os valores de 0,02 g kg<sup>-1</sup> do horizonte Bsm e de 0,14 g kg<sup>-1</sup> do perfil MS-05, o que indica baixa ou nenhuma iluviação desses óxidos na gênese dos horizontes espódicos.

Por outro lado, além do acúmulo de óxidos de Fe, também há o acúmulo de óxidos de manganês nos horizontes espódicos dos solos da X RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012), sobretudo nas formas menos cristalinas. Contudo, esses óxidos não atuam no processo pedogenético de podzolização, mas têm a dinâmica associada ao redoximorfismo (KÄMPF & CURI, 2012), de modo que a precipitação dos óxidos de Mn, observáveis no perfil como mosqueados na cor preta, ocorre na zona de flutuação do nível freático.

#### 2.4.2. Análise de fluorescência de raio-x

A FRX é uma análise que permite identificar e quantificar a composição elementar dos constituintes sólidos presentes em uma amostra, que pode ser de solo, rocha, poeira, sedimentos, rejeitos de mineração, tecidos vegetais, entre outros. Trata-se de um método que pode ser realizado tanto em laboratório como em avaliações *in situ* através de equipamentos portáteis. É uma análise de baixo custo e rápida execução que oferece resultados de precisão comparável à dos métodos clássicos, como a tradicional análise de ataque sulfúrico (FIGUEIREDO et al., 2006; QUIROZ-JIMÉNEZ & JOY, 2017; RIBEIRO et al., 2017; SILVA et al., 2018; ALMEIDA et al., 2019).

No processo de medição, a amostra é exposta a um feixe de raios-X, que ao alcançá-la, provoca o deslocamento de elétrons das camadas eletrônicas internas para as externas dos átomos. Por consequência da movimentação de elétrons entre os níveis orbitais, há a emissão de energia em fluorescência, que é detectada pelo equipamento de medição, o espectrômetro (QUIROZ-JIMÉNEZ & JOY, 2017; RIBEIRO et al., 2017; SILVA et al., 2018). Como cada elemento possui uma assinatura espectral, é possível determinar quais são os constituintes de uma amostra e bem como as suas concentrações.

A análise de FRX é amplamente utilizada em avaliações sobre a poluição de solos ou sedimentos pela quantificação de metais pesados como Ba, Cr, Co, Cu, Cd, Ni, Zn, Pb e Rb (ALVAREZ et al., 2001; RIZO et al., 2014; STEFU et al., 2015; RODRÍGUEZ-BOCANEGRA et al., 2017; MORALES, CRUZ, VALDÉS-CAMANATE, 2019; TAPIA et al., 2019). Como também, por determinar os teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e SO<sub>3</sub>, vem sendo empregada em estudos voltados para pedogênese e relações solo-paisagem, pois possibilita a identificação de processos relacionados à dinâmica desses óxidos como argiluviação, silicificação, ferratilização, podzolização, entre outros, bem como a diferenciação de materiais de origem entre solos, horizontes ou camadas (BUSACCA & SINGER, 1989; LEES et al., 1995; SOMMER et al., 2000; ARAÚJO FILHO, 2003; HORBE, HORBE, SUGUIO, 2004; FIGUEIREDO et al., 2006; WIEDERHOLD et al., 2007a, 2007b; ARENARE, 2007; WEINDORF et al., 2012; MARTIGINIER & VERRECCHIA, 2013; WEINDORF, BAKR, ZHU, 2014; MICHELON & NASCIMENTO, 2015; STOCKMANN, CASTTLE, MCBRATNEY, 2016; DELARMELINDA et al., 2017; ROSOLEN et al., 2017; MANCINI et al., 2019; VILELA, INDA, ZINN, 2019).

No que se refere à podzolização, a análise de FRX permite verificar se há aumento da concentração total de Fe e Al no horizonte B espódico em relação aos sobrejacentes, como indicativo da iluviação dos mesmos. Assim, nos Espodossolos as curvas características dos percentuais de Fe e Al em profundidade, de modo geral, iniciam com valores de baixos a altos no horizonte superficial seguidos de percentuais ínfimos desses elementos no horizonte eluvial e do aumento abrupto no horizonte espódico (LEES et al., 1995; SOMMER et al., 2000; ARAÚJO FILHO, 2003; HORBE, HORBE, SUGUIO, 2004; WIEDERHOLD et al., 2007b;

ARENARE, 2007; WEINDORF et al., 2012; MICHELON & NASCIMENTO, 2015). A vista disso, as variações das concentrações de óxidos de Fe e Al no perfil de solo dão suporte à separação de horizontes, conforme observado por Weindorf et al. (2012) que obteve resultados satisfatórios na diferenciação de horizontes espódicos e horizontes álbicos de Espodossolos originados por cinzas vulcânicas através de um equipamento de FRX portátil.

Apesar das vantagens da técnica de FRX anteriormente mencionadas e da possibilidade de aplicação para identificação do processo de podzolização, ainda são poucos os estudos voltados para caracterização e pedogênese dos Espodossolos que lançam mão da mesma no Brasil como os de Michelon & Nascimento (2015), Arenare (2007), Horbe, Horbe, Suguio (2004) e Araújo Filho (2003). Especificamente na região da Baixa Nhecolândia, não há na literatura, referências de solos que tenham sido analisados pela técnica até o momento.

Em um Espodossolo do norte do Amazonas de perfil laterítico truncado, Horbe, Horbe, Suguio (2004) sugeriram a pedogênese por podzolização em função do aumento concomitante de Fe total e de matéria orgânica nos horizontes espódicos. Também no Amazonas, na bacia do Alto Rio Negro, Arenare (2007) verificou em um Espodossolo teores muito reduzidos de  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$  nos horizontes superficiais e no E, e o aumento dos percentuais desses elementos no horizonte espódico e no C.

Em um sistema solo laterítico-podzolizado na bacia do Alto Rio Negro em Minas Gerais, Michelon & Nascimento (2015) identificaram maior atividade do processo de dissolução e mobilização de matéria orgânica e Fe no sentido da base, onde foram obtidos os maiores percentuais de Fe e matéria orgânica, para o topo da vertente estudada.

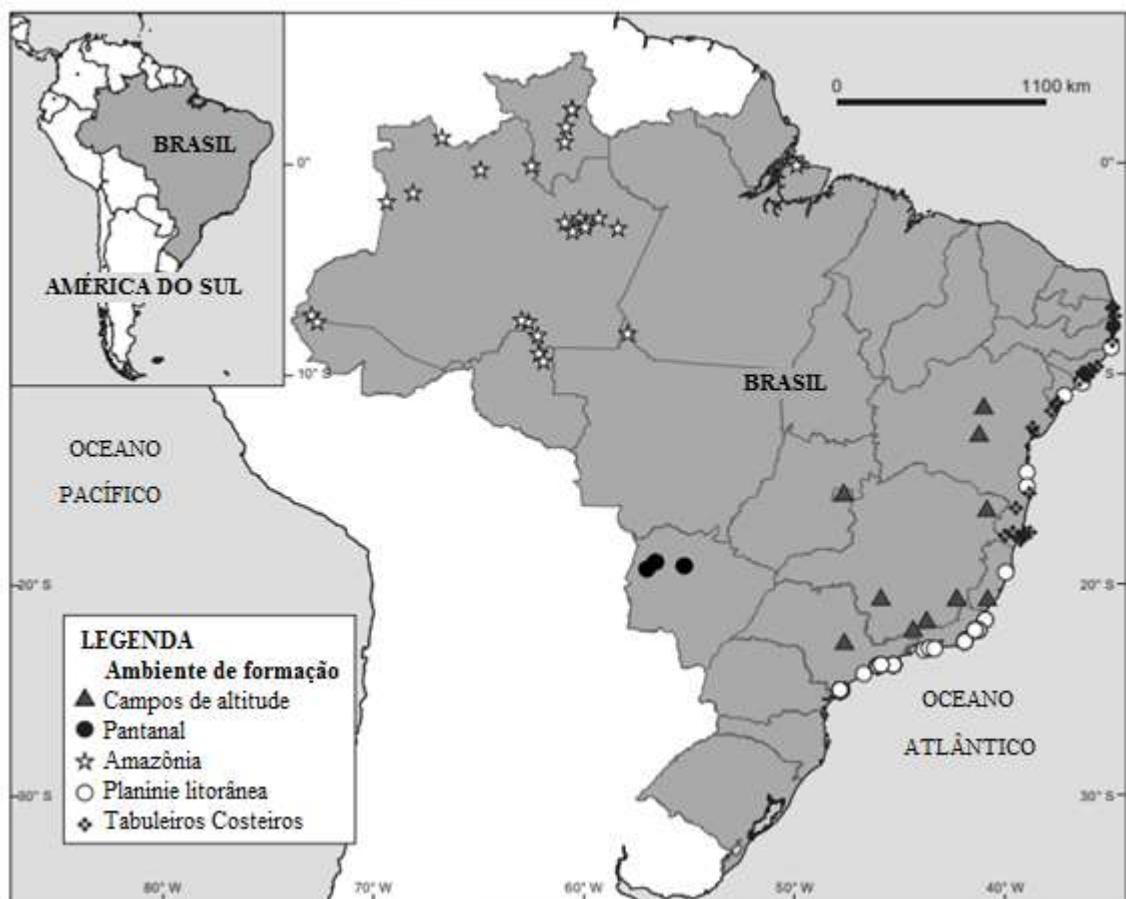
Araújo Filho (2003) observou em um Espodossolo dos tabuleiros costeiros aumento de silício em todo o perfil decorrente do fluxo lateral convergente de águas caracterizando a silicificação, bem como perdas de Al e Fe nos horizontes superficiais e eluvial e aumento tanto de Al quanto Fe nos horizontes espódicos cimentados e no horizonte C pela podzolização. O autor ainda destacou através do balanço geoquímico realizado a partir dos resultados de FRX, que a perda de Fe no topo do B, possivelmente é decorrente da mobilização deste elemento pelo processo de redoximorfismo.

## 2.5. Espodossolos dos Ambientes Tropicais e Temperados no Brasil

No Brasil, os Espodossolos ocorrem predominantemente em ambientes de clima tropical úmido ou tropical sub-úmido, associados às vegetações de restinga na planície litorânea (GOMES et al., 1998; ROSSI, 1999; GOMES, 2002; GOMES et al., 2007; COELHO, 2008; COELHO et al., 2010a, 2012; SILVA NETO et al., 2018), de campinarana na planície amazônica (BRAVARD & RIGHI, 1989, 1990; DUBROEUCQ & VOLKOFF, 1998; MAFRA et al., 2002, 2007; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2013, 2015), de muçununga nos tabuleiros costeiros (MELO & SANTOS, 1996; MOREAU et al., 2006; CORRÊA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2010; CARVALHO et al., 2013; SILVA et al., 2013; SCHIAVO et al., 2020) e de campo tropical e cerradão sub-tropical no Pantanal (CUNHA, 1980, REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012; SCHIAVO et al., 2012) (Quadro 1) (Figura 4). Em todo o território, somente nos ambientes altomontanos, isto é, em altitudes acima de 1.000 m e associados à vegetação de campos rupestres, os Espodossolos estão sob condições de clima frio cuja classificação climática de Köppen-Geiger é Cwb, temperado úmido com inverno seco (CAMPOS et al., 1997; BENITES, 1998, 2001; BENITES et al., 2001; ROSSI & QUEIROZ NETO, 2002; SCHAEFER et al., 2002; DIAS et al., 2003; SIMAS et al., 2005).

**Quadro 1.** Caracterização dos ambientes dos Espodossolos descritos em território brasileiro conforme os fatores de formação (adaptado de MENEZES, FONTANA, ANJOS, 2018).

	Planície Amazônica	Planície Litorânea	Pantanal	Tabuleiros Costeiros	Campos de Altitude
<b>Relevo local</b>	Plano a suave ondulado		Plano		Plano a forte ondulado
<b>Declividade</b>	0 a 6%		0 a 3%		0 a 42%
<b>Material de origem</b>	Sedimentos arenosos			Sedimentos arenosos e argiloarenosos	Quartzito/ Arenito
<b>Vegetação</b>	Campinarana	Restinga	Campo Tropical/ Cerradão Sub-tropical	Muçununga	Campos Rupestres
<b>Altitude</b>	Em média, entre 70 e 90 m.	Em nível do mar.	Em torno de 105 m.	Em torno de 80m.	Acima de 1000m.
<b>Clima</b>	Tropical com precipitações anuais elevadas		Tropical com inverno seco	Tropical com precipitações anuais elevadas	Temperado e úmido



**Figura 4.** Distribuição dos Espodossolos nos diferentes pedoambientes brasileiros, adaptado de Menezes, Fontana, Anjos (2018).

Em uma ampla análise de caracterização dos horizontes B espódicos e avaliação dos seus critérios taxonômicos, Menezes (2017) compilou em um acervo de dados a partir de descrições de perfis de solos classificados na literatura como Espodossolos, conforme a edição do SiBCS de 2013 (SANTOS et al., 2013). Neste trabalho, foram identificados 154 perfis de Espodossolos e o total de 385 horizontes de B espódicos distribuídos nos cinco pedoambientes: planície litorânea, planície amazônica, tabuleiros costeiros, campos de altitude e Pantanal. Ao avaliar a granulometria e os atributos químicos dos horizontes B espódicos foi observado que em todos os ambientes de formação, os Espodossolos são solos substancialmente arenosos, ácidos, com baixa saturação por bases e predomínio do  $Al^{3+}$  no complexo sortivo, exceto os solos descritos no Pantanal (MENEZES, FONTANA, ANJOS, 2018). No entanto, há alguns atributos morfológicos e químicos que são peculiares ao pedoambiente, como por exemplo, em função da condição de drenagem local e do clima.

Nos ambientes sedimentares, os Espodossolos ocorrem em porções estáveis da paisagem, em áreas planas ou pouco declivosas e por isso, é incomum descrições de horizontes enterrados nesses ambientes. Em função do clima quente e úmido, tanto a decomposição ou como a iluviação da matéria orgânica transformada são intensificadas, porém em condições de estagnação de água, é propiciado o acúmulo de matéria orgânica em superfície e é limitada a profundidade da formação eluvial.

Em drenagem livre, normalmente os Espodossolos dos ambientes sedimentares são profundos e apresentam a sequência de horizontes A fraco ou A moderado – E – B espódico, sendo o horizonte eluvial espesso, por vezes de espessura superior a 1 m (PALMIERI & SANTOS, 1980; CARVALHO et al., 2013; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2015). Já em condições de hidromorfismo, a sequência de horizontes comumente é H ou A moderado – B espódico ou H ou A moderado – E (pouco espesso) – B espódico, de modo que o perfil de solo é raso (MENEZES, 2017).

No ambiente altomontano cujo relevo é movimentado, a pedogênese é fortemente influenciada pelos controles geológicos e estruturais, como a presença de falhas ou fraturas favorecendo o intemperismo (DIAS et al., 2003). Desse modo, os Espodossolos estão em áreas pontuais como bolsões arenosos presentes em patamares (DIAS et al., 2003) e em porções dissecadas da paisagem (CAMPOS et al., 1997), como também em áreas abaciadas com influência do nível freático (SCHAEFER et al., 2002).

Pelo fato de o relevo ser declivoso, condicionando a perda de materiais e desfavorecendo a entrada de água no perfil, e consequentemente o intemperismo, normalmente os Espodossolos de ambientes altomontanos ocorrem associados a solos pouco evoluídos quanto à pedogênese, rasos e com presença de rochas, como Neossolos Litólicos, e solos com o horizonte hístico e com horizonte B marcado pela presença de minerais primários intemperizáveis, os Cambissolos Hísticos. Já nas áreas abaciadas, ocorrem associados à Gleissolos e Neossolos Flúvicos.

Além dos Espodossolo de ambientes altomontanos possuírem o *solum* raso, outras características comuns são a ausência de horizonte E, a ocorrência de horizontes A enterrados pelo recobrimento de sedimentos, a ocorrência de cascalho no horizonte B espódico e, por vezes, a presença de horizonte O. No caso do horizonte orgânico na superfície, sua formação é favorecida pelas baixas temperaturas que reduzem a velocidade de decomposição da matéria orgânica, que consequentemente acarreta no seu acúmulo (CAMPOS et al., 1997; BENITES, 1998, 2002; ROSSI & QUEIROZ NETO, 2002; SCHAEFER et al., 2002; DIAS et al., 2003; SIMAS et al., 2005).

Diferentemente de outros pedoambientes brasileiros, com material de origem dominante de sedimentos arenoquartzosos nas planícies e argiloarenosos nos tabuleiros costeiros, nos ambientes altomontanos os Espodossolos tem origem autóctone, ocorrendo sobre rochas granítico-gnáissicas (BENITES et al., 2001) e sobre quartzitos (CAMPOS et al., 1997; DIAS et al., 2003, SCHAFER et al., 2002). No ambiente de campos de altitude, em função da

intemperização do material de origem, maiores são as quantidades de Al e Fe liberadas diretamente das rochas e consequentemente a iluviação desses cátions e acúmulo nos horizontes espódicos, em comparação aos demais ambientes, conforme Menezes, Fontana, Anjos (2018).

## 2.6. Espodossolos do Pantanal da Baixa Nhecolândia: Ocorrência e Características Diferenciais

Nesse pedoambiente, os Espodossolos ocorrem em áreas planas, de baixa declividade (0 a 3%) e associados a sedimentos arenosos da Formação Pantanal (CUNHA, 1980; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012; SCHIAVO et al., 2012). Diferentemente dos outros ambientes sedimentares brasileiros, como a planície litorânea, a planície amazônica e tabuleiros costeiros, onde o clima é tropical com precipitações anuais elevadas, nesta região o clima tropical é marcado por uma estação seca e outra chuvosa e pelo fato da região da Baixa Nhecolândia ter a média da precipitação anual inferior a média da evaporação anual (SORIANO, 2000).

De modo geral, a vegetação primária é um forte indicativo da classe dos Espodossolos nos diferentes pedoambientes brasileiros (BRAVARD & RIGHI, 1989, 1990; MELO & SANTOS, 1996; CAMPOS et al., 1997; GOMES et al., 1998; BENITES, 1998, 2002; DUBROEUCQ & VOLKOFF, 1998; ROSSI & QUEIROZ NETO, 2002; MAFRA et al., 2002, 2007; ROSSI & QUEIROZ NETO, 2002; SCHAEFER et al., 2002; DIAS et al., 2003; SIMAS et al., 2005; MOREAU et al., 2006; GOMES et al., 2007; CORRÊA et al., 2008; COELHO et al., 2010a; OLIVEIRA et al., 2010; CARVALHO et al., 2013; SILVA et al., 2013). No entanto, os perfis descritos no Pantanal da Baixa Nhecolândia não estão estreitamente associados a uma vegetação específica, ocorrendo em áreas tanto de Cerradão Sub-tropical como de Campo Tropical (CUNHA, 1980; SCHIAVO et al., 2012, REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012).

Os Espodossolos do Pantanal em maior frequência apresentam a sequência de horizontes A moderado – E – B espódico. As cores desses horizontes, na maioria das vezes, são 10YR ou mais amarelas, com valor e croma menores ou iguais a 4, podendo apresentar também mosqueados decorrentes da alternância das condições de drenagem (CUNHA, 1980; SCHIAVO et al., 2012; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012).

Devido à condição de alagamento sazonal do ambiente da Baixa Nhecolândia, pode ocorrer a presença do horizonte H hístico, do horizonte Eg ou áreas de acumulação de manganês nos Espodossolos (SCHIAVO et al., 2012, REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012), que por vezes são classificados como Hidromórficos no terceiro nível categórico do SiBCS (SANTOS et al., 2018). Tais características são também observadas em Espodossolos de outras bacias sedimentares (PROJETO RADAMBRASL, 1976, 1977a, 1977b, 1978a, 1978b, 1983; GOMES, 1998, 2005; COELHO, 2008; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012).

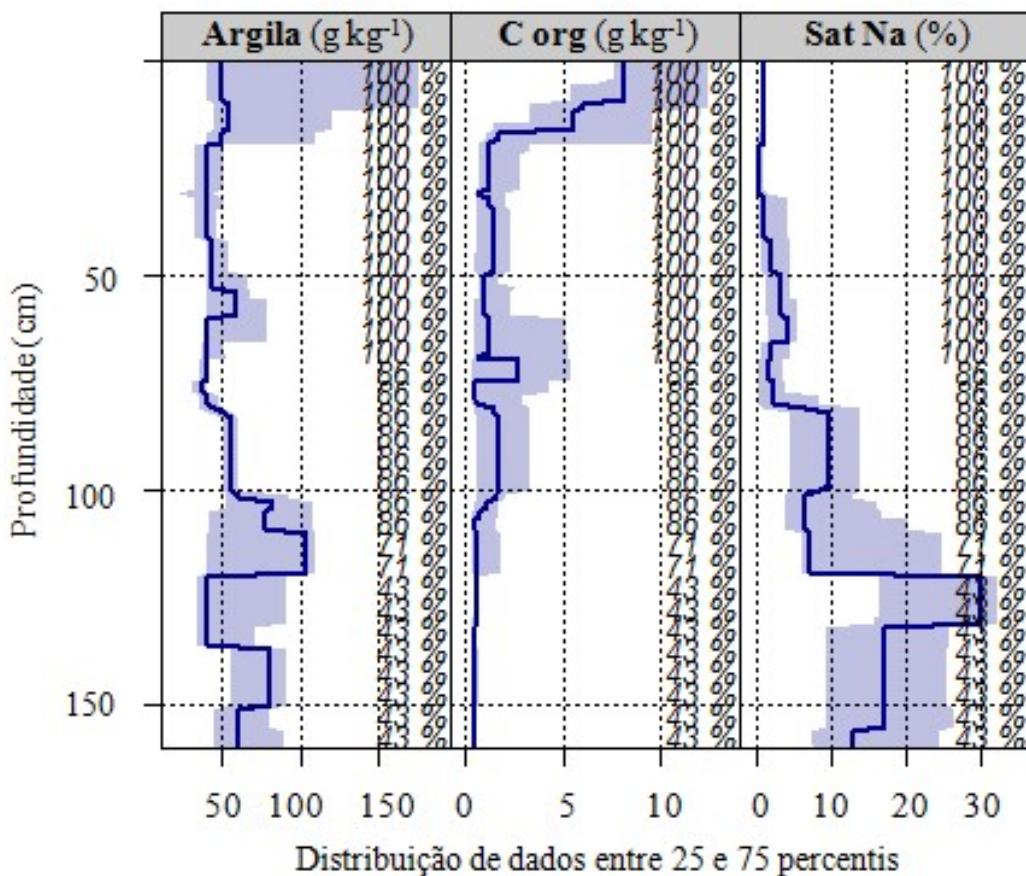
A dinâmica do nível freático nas diferentes porções da paisagem em que os Espodossolos ocorrem na Baixa Nhecolândia como nas bordas de baía e de salinas, e nas cordilheiras, feições que serão abordadas posteriormente no item 2.7. *Macrocaracterização da Sub-Região da Baixa Nhecolândia, Pantanal Sul-Mato-Grossense*, tem influência direta na topografia da transição entre os horizontes. Nos solos de borda de baía, onde há grande flutuação do nível freático entre os períodos de cheias e estiagem, as transições entre os horizontes E e B costumam ser descontínuas (Figura 5.A), enquanto os solos de salina – lagoas de menor oscilação do nível freático e que raramente secam – e de cordilheira – porções mais elevadas da paisagem – têm transição plana ou ondulada (Figura 5.B) (SCHIAVO et al., 2012; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012).



**Figura 5. A. ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico arênico (perfil MS-12) e B. ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico arênico (perfil MS-01) descritos na X RCC, Corumbá – MS. Fonte: Ademir Fontana.**

Dentre os perfis descritos na literatura, apenas um perfil descrito por Schiavo et al. (2012) em área de baía não apresentou topografia descontínua entre os horizontes E e B espódico. Especificamente neste perfil há a presença do horizonte H hístico, indicativo que há menor alternância no nível freático onde está localizado ou ainda que não há seca completa no período de estiagem, o que provavelmente propiciou a ocorrência da topografia plana na transição entre horizontes E e B.

Os teores de areia total dos horizontes B espódicos do Pantanal costumam ser superiores a  $800 \text{ g kg}^{-1}$  e neles é notável o aumento de argila em relação aos horizontes sobrejacentes (CUNHA, 1980; SCHIAVO et al., 2012; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012) (Figura 6). Contudo, o acúmulo de argila nos horizontes espódicos não se trata de uma característica restrita ao ambiente da Baixa Nhecolândia, sendo observada também em outros ambientes de formação e normalmente associada aos processos pedogenéticos de argiluviação e ferrólise concomitantes a podzolização (LEMOS et al., 1960; JACOMINE et al., 1975; PANOSO et al., 1978; PROJETO RADAMBRASIL, 1975, 1977b, 1978c, 1978b, 1980, 1983; IAA/UFRRJ, 1983a, 1983b; CAMPOS et al., 1997; BENITES, 1998; GOMES et al., 1998; ROSSI, 1999; IPAAM/EMBRAPA, 2001; LUMBRERAS et al., 2001; GOMES, 2005; COELHO, 2008; OLIVEIRA et al., 2010; SILVA et al., 2013; CARVALHO et al., 2013; SECRETTI, 2013).



**Figura 6.** Distribuição centimétrica em profundidade dos valores de mediana, primeiro quartil e terceiro quartil de argila, carbono orgânico (C org) e saturação por sódio (Sat Na) dos perfis de Espodossolos descritos por Cunha (1980), Schiavo et al. (2012) e na X RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012).<sup>2</sup>

Em especial são os atributos químicos dos horizontes espódicos da Baixa Nhecolândia que mais ressaltam a singularidade deste ambiente em relação aos demais, principalmente pelo alto valor de soma de bases (S), pH em água alcalino e baixo teor de C org. A partir da coletânea de dados de horizontes espódicos brasileiros já publicados na literatura elaborada por Menezes (2017), obteve-se a média e a mediana do valor S de 21 horizontes espódicos descritos no Pantanal respectivamente 2,59 e 2,06 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, enquanto esses valores para 336 horizontes descritos nos demais pedoambientes são 0,57 e 0,41 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> (Tabela 1). Destaca-se ainda que 94% dos 382 horizontes espódicos com dados de valor S que compõem o acervo têm valor S menor que 2,00 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, enquanto a maioria dos horizontes do Pantanal apresenta teores superiores a esse (Figura 7).

Em função da grande contribuição das bases trocáveis no complexo sortivo dos horizontes espódicos do Pantanal, eles apresentam elevada saturação por bases (V%), de modo que a média e a mediana obtidas para os 21 horizontes são respectivamente 61 e 68%, enquanto

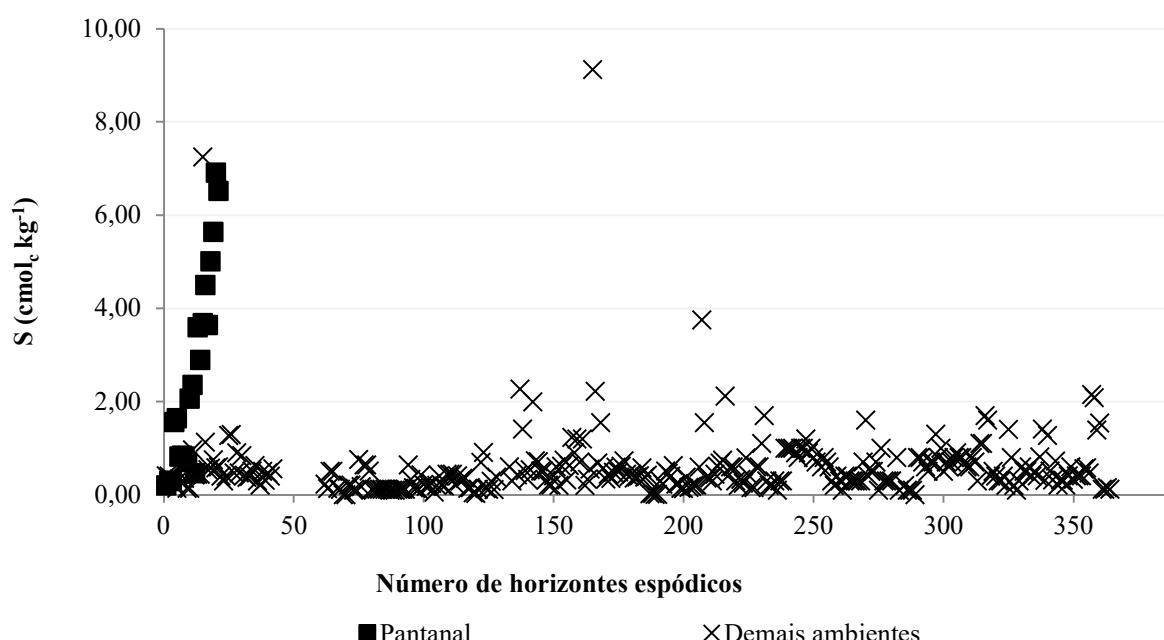
<sup>2</sup> Os percentuais apresentados a cada profundidade são referentes ao total de horizontes avaliados que contribuíram o valor de mediana, 25 e 75 percentis. Por exemplo, para a profundidade de 150 cm, apenas 43% do total de horizontes com dados de argila contribuíram para determinação da mediana, 25 e 75 percentis, ao passo que para a profundidade de 50 cm, todos os horizontes com dados de argila (100%) foram utilizados para determinação destes valores. As variações dos teores de argila, C org e Sat Na são lidas no eixo horizontal, enquanto a variação da profundidade é lida no eixo vertical. O valor de mediana é representado pela linha em cor azul escura e as barras na cor azul clara representam a variação dos dados entre 25 e 75 percentis.

nos demais pedoambientes, esses valores são 8 e 4% para 345 horizontes espódicos (Tabela 1) (MENEZES, 2017). Além disso, nos horizontes espódicos do Pantanal não há saturação por alumínio (m), diferentemente dos horizontes espódicos de outros ambientes de formação, que têm o  $Al^{3+}$  como principal íon adsorvido nos sítios de troca, com média e mediana de 61 e 70% para 336 horizontes (Tabela 1) (MENEZES, 2017).

**Tabela 1.** Estatística descritiva obtida a partir do acervo de dados elaborado por Menezes (2017) dos atributos químicos dos horizontes B espódicos da Baixa Nhecolândia e dos demais pedoambientes brasileiros.

	pH (água)	S (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	V (%)	Sat Na (%)	m (%)	C org (g kg <sup>-1</sup> )
<b>Pantanl</b>						
Média	7,2	2,59	61	9	0	2,5
Mediana	6,9	2,06	68	6	0	1,9
Moda	9,6	0,82	100	0	0	0,4
D.P.	1,5	2,15	34	11	0	1,9
Mínimo	5,4	0,20	2	0	0	0,4
Máximo	9,7	6,91	100	36	0	5,5
Contagem	21	21	21	21	7	21
<b>Demais Pedaambientes</b>						
Média	4,6	0,57	8	1	61	17,4
Mediana	4,6	0,41	4	0	70	12,6
Moda	4,7	0,30	2	0	0	5,0
D.P.	0,7	0,74	13	6	31	15,2
Mínimo	2,4	0,00	0	0	0	0,8
Máximo	6,6	9,12	100	66	100	99,2
Contagem	361	336	345	217	336	361

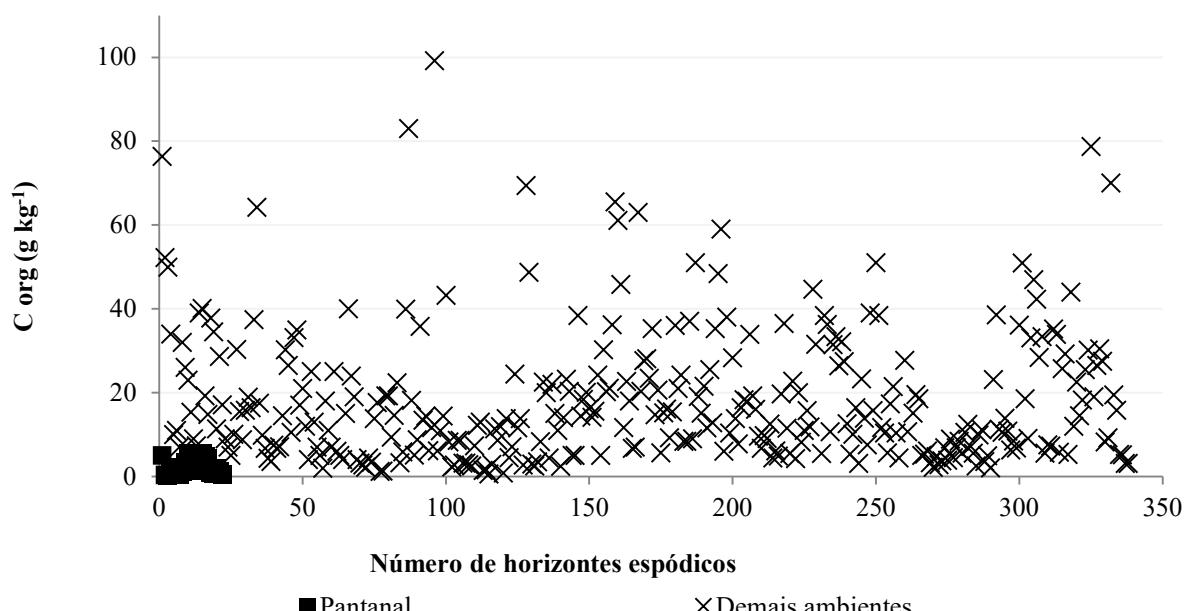
S – Soma de bases; V% – saturação de bases; Sat Na – saturação de sódio; m – saturação de alumínio; C org – carbono orgânico; D.P. – desvio padrão.



**Figura 7.** Dispersão dos valores de soma de bases dos horizontes espódicos do Pantanal e dos demais pedoambientes brasileiros, obtida a partir do acervo de dados elaborado por Menezes (2017).

Outro aspecto importante relacionado à dinâmica de cátions observada sobre a coletânea de Menezes (2017) é que 52% dos 21 horizontes espódicos do Pantanal apresentaram caráter sódico ( $\text{Sat Na} \geq 15\%$ ) ou solódico ( $\text{Sat Na} < 15\%$  e  $\text{Sat Na} \geq 6\%$ ), enquanto em outros ambientes de formação, apenas 3 horizontes tiveram  $\text{Sat Na}$  maior ou igual a 6% (MENEZES, 2017). Nos perfis descritos na literatura é observado que há um aumento em profundidade da  $\text{Sat Na}$  concomitantemente ao aumento do teor de argila (Figura 6), o que é indicativo da ocorrência do processo pedogenético de solonização nesses solos. Por sua vez, os horizontes espódicos com caráter sódico ou solódico descritos por Cunha (1980), Schiavo et al. (2012) e na X RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012) estão em áreas de baía ou salina, onde há elevada concentração de sais. Já os perfis do Pantanal que não apresentaram esses caráteres estão em áreas de cordilheira.

Nos solos do Pantanal há um ligeiro aumento de C org em profundidade, nos horizontes espódicos sobrejacentes aos horizontes de acúmulo de argila e de caráter sódico ou solódico (Figura 6). Porém, comparativamente a outros ambientes de formação, o teor C org dos horizontes espódicos do Pantanal é muito baixo, de modo que valores de média e mediana de 21 horizontes compilados por Menezes (2017) são respectivamente 2,4 e 1,7  $\text{g kg}^{-1}$ , enquanto para 361 horizontes dos demais ambientes, a média e mediana são 17,4 e 12,6  $\text{g kg}^{-1}$  (Tabela 1) (Figura 8).

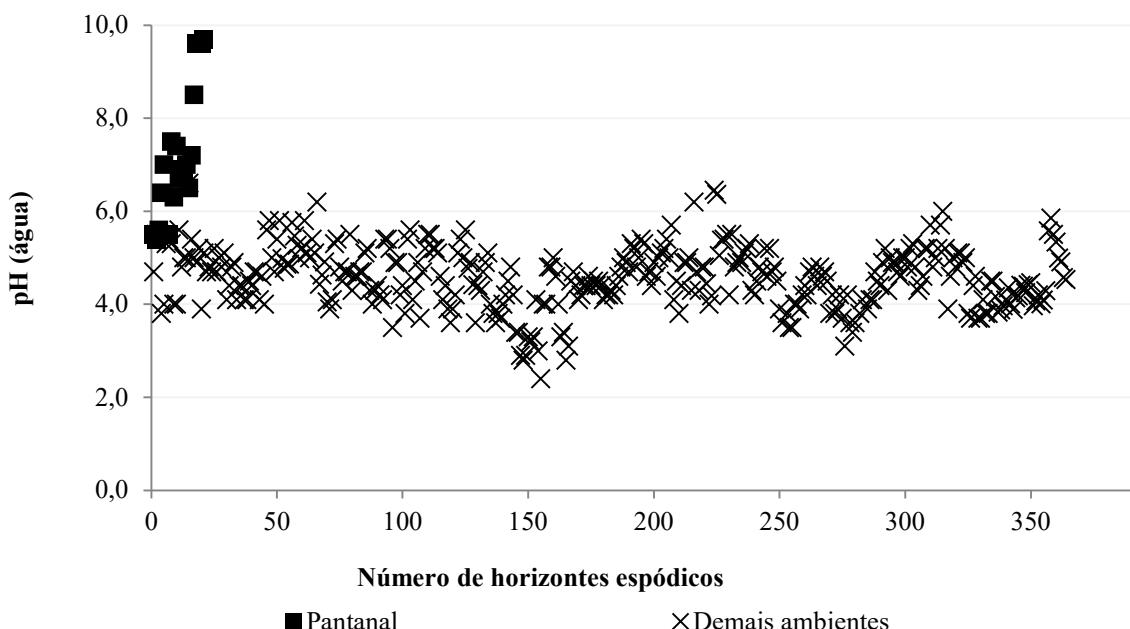


**Figura 8.** Dispersão dos teores de C org de horizontes espódicos do Pantanal e dos demais pedoambientes brasileiros, obtida a partir do acervo de dados elaborado por Menezes (2017).

Na Figura 8 há dois horizontes espódicos que fazem parte do acervo de dados de Menezes (2017) cujos teores de C org estão acima de 80  $\text{g kg}^{-1}$ , valor mínimo utilizado como critério quantitativo para definição de material de solo de natureza orgânica no SiBCS, descritos em IAA/UFRRJ (1983b) e por Jacomine et al. (1977). Apesar do elevado conteúdo de C org destes horizontes, destaca-se que ambos não atendem o critério qualitativo que define horizontes orgânicos no SiBCS, isto é, não são resultantes de acumulação de resíduos vegetais em graus variáveis de decomposição e não apresentam indícios de revolvimento ou morfologia de horizonte orgânico enterrado (MENEZES, 2017). Tais horizontes são um ortstein e um horizonte Bhs com profundidades iniciais de 76 cm e de 100 cm a partir da superfície do solo, respectivamente.

Com relação ao pH em água, os horizontes espódicos do Pantanal são em sua maioria alcalinos, enquanto 94% de todos os horizontes avaliados por Menezes (2017) tiveram pH menor ou igual a 5,9 (Figura 9). Nesse ambiente, os valores de média e mediana para pH em água dos 21 horizontes espódicos são 7,1 e 6,9 respectivamente, enquanto para os 361 horizontes dos demais ambientes, a média e mediana é 4,6 (Tabela 1) (MENEZES, 2017). O alto valor de pH nos horizontes espódicos do Pantanal é decorrente da alta concentração de bases trocáveis no meio e a baixa participação da matéria orgânica. Tal condição de pH é contrária às premissas do processo clássico de podzolização (GUSTAFSSON et al., 1995).

Quanto aos óxidos pedogenéticos nos Espodossolos do Pantanal, como mencionado anteriormente no item 2.4.1. *Extração óxidos pedogenéticos*, foi observado o aumento de  $Fe_d$  e  $Fe_o$  em profundidade nos solos avaliados por Schiavo et al. (2012) e na X RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012), de modo que os teores mais que dobram no horizonte B espódico em relação ao horizonte superficial, assim como os solos de outros pedoambientes (SILVA et al., 1970; BENITES, 1998; GOMES et al., 1998; ARAÚJO FILHO et al., 1999; SIMAS et al., 2005; COELHO, 2008, OLIVEIRA et al., 2010; SECRETTI, 2013; CARVALHO et al., 2013; SILVA et al., 2013). Contudo, os únicos registros na literatura de  $Al_o$  de horizontes espódicos da Baixa Nhecolândia são os valores de 0,02 g kg<sup>-1</sup> e de 0,14 g kg<sup>-1</sup>, o que indica a baixa ou nenhuma iluviação desses óxidos na gênese desses solos e destoando dos valores observados em horizontes espódicos de outros ambientes brasileiros (MENEZES, FONTANA, ANJOS, 2018).

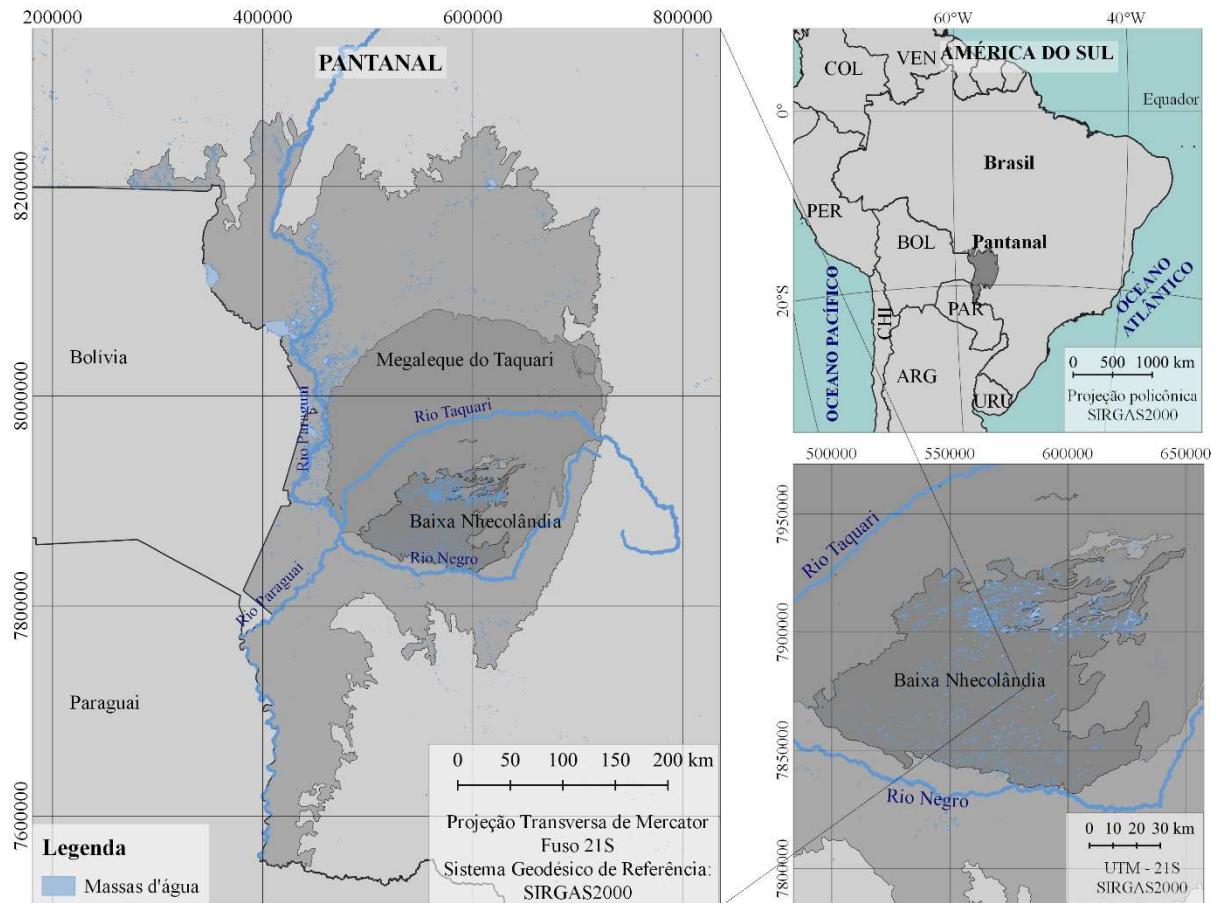


**Figura 9.** Dispersão dos valores de pH (água) dos horizontes espódicos do Pantanal e dos demais pedoambientes brasileiros, obtida a partir do acervo de dados elaborado por Menezes (2017).

## 2.7. Macrocaracterização da Sub-Região da Baixa Nhecolândia, Pantanal Sul-Mato-Grossense

O Pantanal, a maior superfície inundável interiorana do mundo, está localizado na região central da América do Sul (Figura 10). É o menor bioma brasileiro e ocupa apenas 1,77% do território, com cerca de 150.988 km<sup>2</sup> de extensão de acordo com o Mapa de Biomas e Sistema Costeiro Marinho, elaborado na escala 1:250.000 (IBGE, 2019a). A área do Pantanal

está compreendida nos estados do Mato Grosso do Sul (64,55%) e do Mato Grosso (35,44%) (IBGE, 2019a).



**Figura 10.** Localização da sub-região da Baixa Nhecolândia no bioma do Pantanal. Fonte dos arquivos vetoriais utilizados para elaboração do mapa: IBGE (2019a, 2019b, 2019c).

O bioma tem como limites as escarpas da borda da Bacia Sedimentar do Paraná e da Serra da Bodoquena, a leste, e pela Chapada dos Parecis e a Serra de Cuiabá, ao norte. Ao Sul, o Pantanal é limitado pelo Rio Apa; a oeste, embora adentre os territórios da Bolívia e do Paraguai, é delimitado pela linha de fronteira do Brasil com esses dois países (IBGE, 2019a). É um bioma caracterizado principalmente pelo regime hídrico e condições de peculiares de drenagem, tendo forte influência dos rios que drenam a bacia do Alto Paraguai (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 201-). Nessa região, a ocorrência de inundações anuais periódicas é devido à superfície relativamente plana e pelo baixo gradiente topográfico, com valores entre 0,3 e 0,5 m km<sup>-1</sup> na direção Norte-Sul (GRADELLA et al., 2011).

Alguns aspectos conferem características distintas a determinadas áreas do Pantanal como influência de rios, material de origem, altitude, tipos de solo, relevo, etc. Por esta razão, o Pantanal é dividido em sub-regiões denominadas de “Pantanais” (OLIVEIRA et al., 2018), cujo número varia conforme o autor, havendo descrições de 11 a 18 sub-regiões (SILVA & ABDON, 1998; MIOTO, PARANHOS FILHO, ALBREZ, 2012).

Independentemente da divisão adotada, a sub-região do Pantanal da Nhecolândia é a maior delas, com cerca de 20.210 km<sup>2</sup> conforme a divisão proposta por Mioto, Paranhos Filho, Albrez (2012). Essa sub-região é limitada ao norte pelo Rio Taquari, ao sul pelo Rio Negro, a

leste pelo leque do Rio Negro e o Planalto de Maracajú-Campo Grande e, a oeste pelo Rio Paraguai (GRADELLA, 2012).

De acordo com as feições presentes, o relevo e a condição de drenagem, a região do Pantanal da Nhecolândia pode ser subdividida em três (FERNANDES, 2000): (i) Alta Nhecolândia, cuja topografia é quase plana, apresentando gradiente de declividade no sentido sul e oeste, poucas lagoas e seu sistema de drenagem é composto por feições conhecidas como corixos e vazantes; (ii) Vazante do Corixão, que tem relevo quase plano e poucas lagoas, recebendo diretamente águas dos corixos e do lençol freático; (iii) Baixa Nhecolândia, caracterizada pela alta densidade do sistema “baía-vazante-corixo” e “cordilheira-baía-salina”, conforme será abordado com mais detalhes no item 2.7.4. *Geomorfologia*.

### 2.7.1. Clima

De modo geral, o Pantanal Sul-Mato-Grossense tem o clima Aw conforme a classificação climática de Köppen-Geiger, isto é, tropical com chuvas de verão. Apresenta duas estações bem definidas, sendo o período seco de maio a outubro (PROJETO RADAMBRASIL, 1982). Embora toda sua área tenha o clima influenciado pela dinâmica da bacia do Alto Paraguai, a distribuição e intensidade dos fenômenos variam conforme suas sub-regiões, proporcionando diferenças climáticas entre elas (GARCIA, 1984).

Pela análise de Garcia & Castro (1986), aplicada a 81 séries de registros diários de chuva da Bacia Alto Paraguai, foram identificados cinco conglomerados, correspondentes a igual número de subáreas geográficas relativamente homogêneas quanto aos parâmetros macroclimáticos (distribuição sazonal mensal da chuva) e do relevo associado com outros fatores macroclimáticos. Conforme este trabalho, a sub-região do Pantanal da Nhecolândia tem o clima considerado subúmido megatérmico, tipicamente pantaneiro, apresentando temperaturas do ar geralmente elevadas (19 a 28°C) e estação seca de mais de quatro meses ao ano.

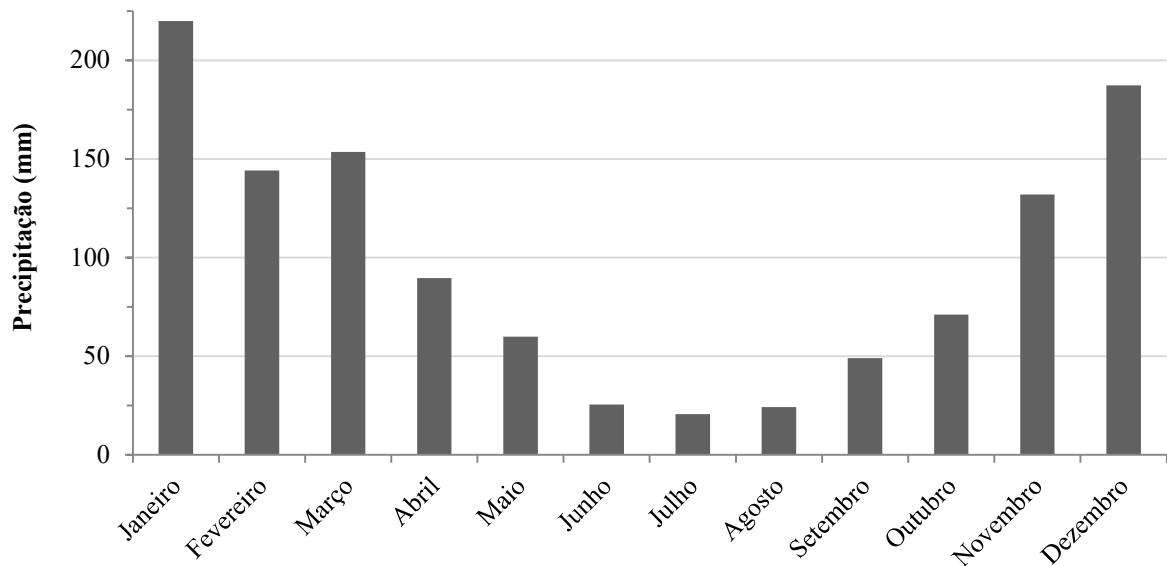
Conforme o boletim agrometeorológico da Estação Agroclimatológica de Nhumirim, localizada na região da Baixa Nhecolândia, tem-se os seguintes dados de normal climatológica calculados a partir dos anos de observação de 1977 a 1997 (SORIANO, 2000):

- (i) Precipitação: o volume de chuvas acumulado é de 1.176,4 mm, normalmente com o período seco iniciando em abril (Figura 11);
- (ii) Temperatura do ar: a média anual é de 25,4°C, sendo que em julho (mês mais frio) com temperatura média de 20,8°C e em janeiro e dezembro (meses mais quentes) com temperatura média de 27,9°C (Figura 12), ao passo que a média obtida para a temperatura máxima anual é de 31,6°C e da mínima anual é de 20,4°C; e
- (iii) Umidade relativa do ar e evaporação do ar: as médias observadas são respectivamente 82% e 1.521,2 mm.

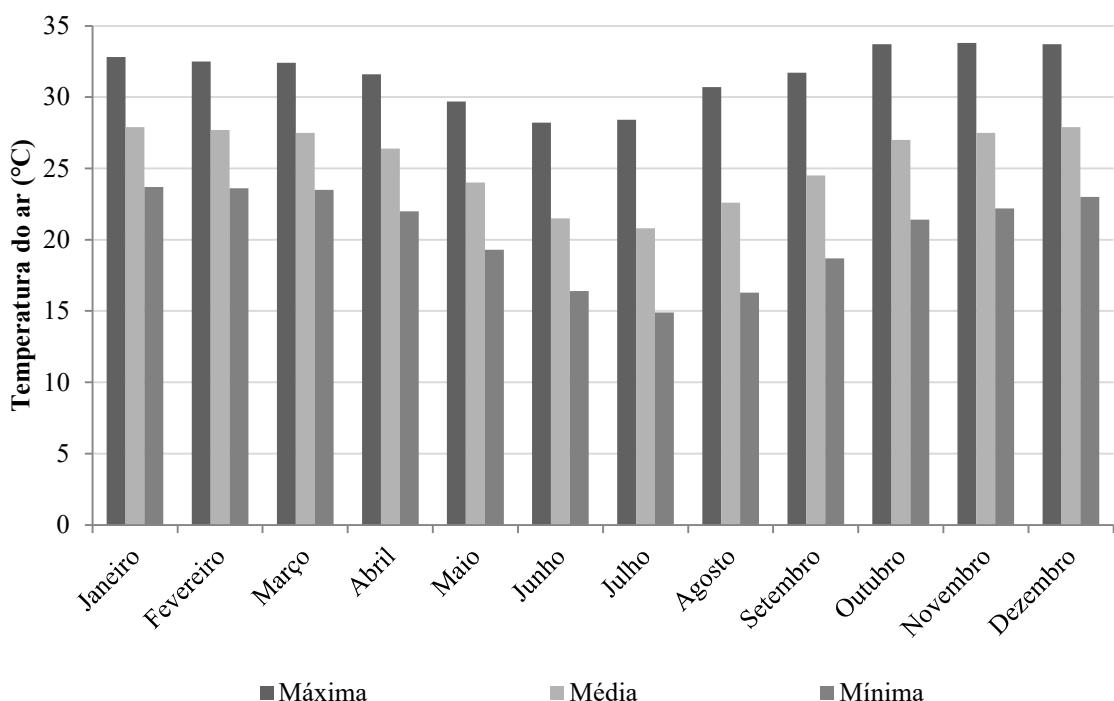
É relevante mencionar que neste ambiente, em função da evaporação (média de 1.521,2 mm) ser superior ao volume de água precipitado (média de 1.176,4 mm), é condicionado o acúmulo de sais na superfície do solo, que por sua vez justifica a ocorrência de classes de solo como Planossolos Nátricos e Gleissolos Sálicos, principalmente nas proximidades das salinas, bem como outras classes de solo que apresentam caráter salino, sódico ou solódico.

Em função do baixo gradiente topográfico, no período entre fevereiro a abril a maior parte do Pantanal está inundada, enquanto entre os meses de setembro a dezembro, o Pantanal tem o valor mínimo de áreas inundadas (Figura 13), conforme as observações feitas por Hamilton, Sippel, Melack (1996). Quanto ao Pantanal da Nhecolândia, devido à área ser predominantemente plana e ter o lençol freático próximo a superfície, as chuvas resultam em respostas rápidas no aumento da umidade do solo e elevação do nível freático, de modo que,

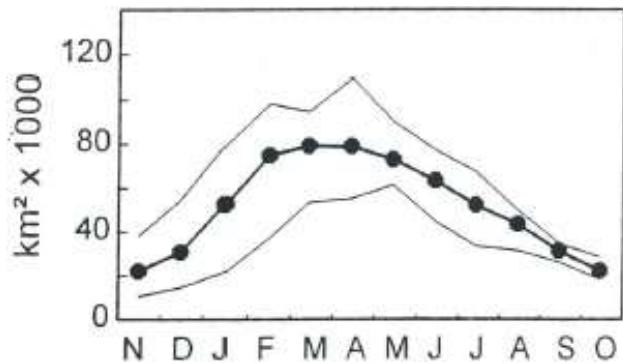
em torno de 30 a 60 dias após o início das chuvas médias a fortes, a área já está alagada (RODELA & QUEIROZ NETO, 2007).



**Figura 11.** Distribuição da precipitação ao longo do ano conforme os dados de normais climatológicas calculada para os anos 1777-1997 obtidos da Estação Agroclimatológica de Nhumirim, adaptado de Soriano (2000).



**Figura 12.** Variação das médias de temperatura ao longo do ano conforme os dados obtidos da Estação Agroclimatológica Nhumirim para os anos 1777-1997, adaptado de Soriano (2000).



**Figura 13.** Ciclo anual da inundação da área do Pantanal, com os valores de máximo, mínimo e média das séries anuais de 1979 a 1987. Fonte: Hamilton, Sippel, Melack (1996).

### 2.7.2. Vegetação

A vegetação do Pantanal Sul-Mato-Grossense é considerada bastante heterogênea por apresentar espécies fenotípica e floristicamente semelhantes às da caatinga nas partes secas; espécies tolerantes a condição de alagamento nas planícies inundáveis, como também espécies adaptadas à condição permanente de alagamento (SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1986). Tal heterogeneidade está intimamente relacionada à dinâmica hidrológica da região, caracterizada por apresentar ciclos de cheia e seca e consequentemente, com a topografia e as feições geomorfológicas (RAVAGLIA et al., 2011; GRADELLA, 2012).

Conforme Projeto Radambrasil (1982), as regiões fitoecológicas do Pantanal podem ser divididas em: Savana (Cerrado); Savana Estépica (Vegetação Chaqueña); Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Decidual e os contatos entre essas regiões. Na região do Pantanal da Nhecolândia, a maior parte da vegetação é constituída de savanas que são formadas por estratos de vegetação arbustiva e herbácea, localizadas principalmente em áreas inundadas sazonalmente (RAVAGLIA et al., 2011). E, como já mencionado anteriormente nos itens 2.3. *Ocorrência e Teorias de Formação dos Espodossolos* e 2.6. *Espodossolos do Pantanal da Baixa Nhecolândia: Ocorrência e Características Diferenciais*, os Espodossolos descritos na região da Nhecolândia têm como vegetação primária o Campo Tropical e o Cerradão Subtropical (CUNHA, 1980; SCHIAVO et al., 2012; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012).

Em um levantamento florístico realizado na Fazenda Nhumirim, localizada na sub-região da Baixa Nhecolândia em Corumbá - MS, Crispim, Rodrigues, Domingos Branco (2004) identificaram 141 espécies vegetais, divididas em 46 famílias. Segundo os autores, as famílias com maior número de espécies foram *Gramineae* ou *Poaceae* (18) e *Cyperaceae* (12). Para identificação, os autores realizaram o levantamento em duas épocas do ano, a estação seca e a chuvosa, e apenas dez espécies estão presentes nas duas épocas: *Andropogon bicornis*, *Eragrostis bahiensis*, *Hymenae astignocarpa*, *Schlelea phalerata*, *Waltheria albicans*, *Bromelia balansae*, *Curatella americana*, *Sebastiania hispida*, *Annona dioica* e *Byrsonima orbigniana*.

A Figura 14, tomada no mês de novembro de 2018, apresenta a vegetação predominante na área da Fazenda Nhumirim, localizada na sub-região da Baixa Nhecolândia, com árvores e arbustos em pontos ligeiramente mais altos e menos suscetíveis ao alagamento e nas partes mais baixas, a maior ocorrência de gramíneas com alguns arbustos.



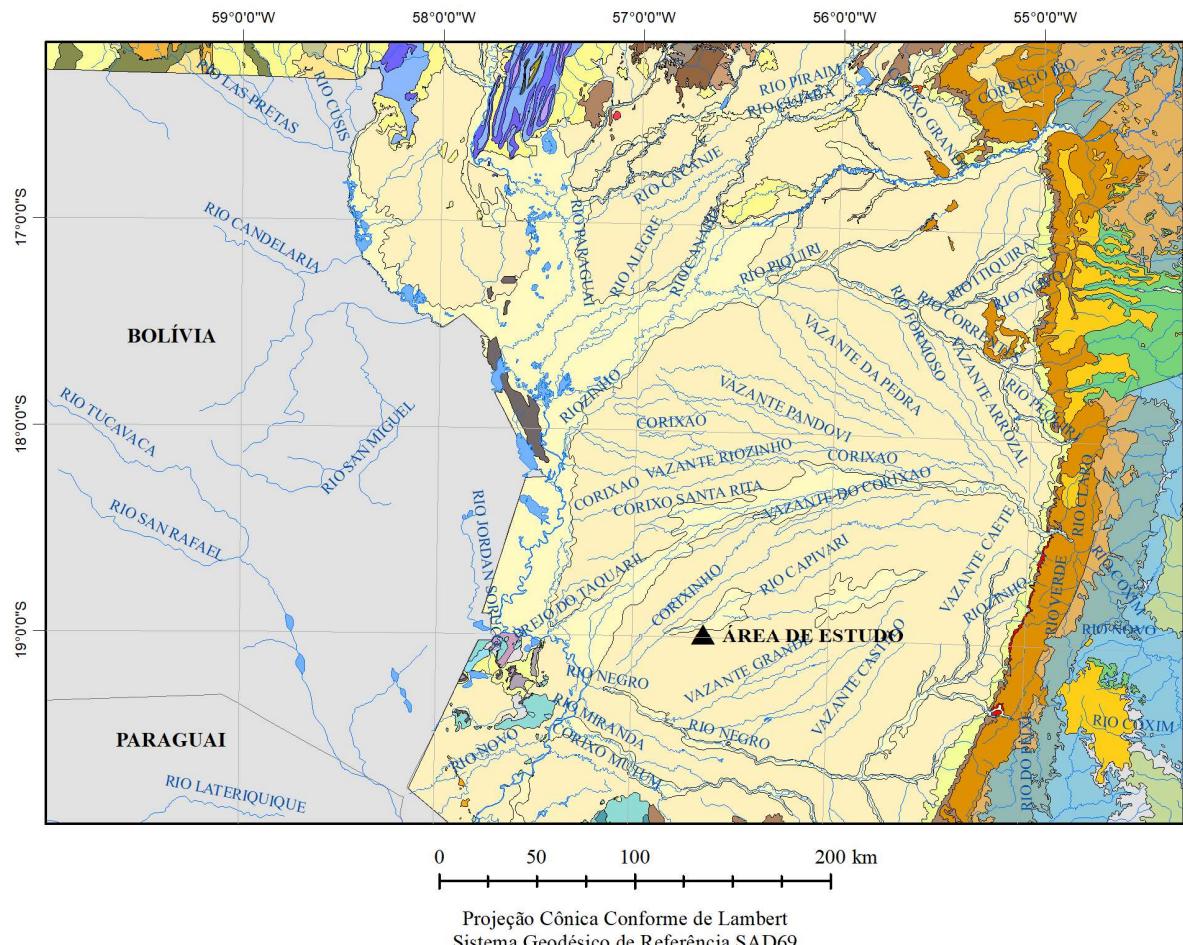
**Figura 14.** Vegetação predominante da Fazenda Nhumirim, localizada na sub-região da Baixa Nhecolândia, Corumbá - MS.

### 2.7.3. Geologia

A geologia do Pantanal é composta pela Formação Pantanal e depósitos detriticos e aluviais (PROJETO RADAMBRASIL, 1982), de modo que as coberturas cenozóicas compreendem 95,07% da área desse bioma, o que representa o total de 143.525,17 km<sup>2</sup> segundo IBGE (2019c). As demais áreas do bioma são cobertas por pela Província Estrutural do Tocantins (2,14%), da Amazônia (1,10%), do Paraná (0,09%) e por massas d'água (1,59%) (IBGE, 2019c).

De modo geral, em toda sua área de ocorrência no Pantanal, os sedimentos da Formação Pantanal estão sobre rochas pré-cambrianas, silurianas e devonianas e recobrem localmente acumulações quaternárias como a Formação Xaraiés e Depósitos Detriticos (PROJETO RADAMBRASIL, 1982). No entanto, devido à irregularidade do substrato e pelo fato de ainda se encontrar em processo de formação nos dias atuais, a espessura da Formação Pantanal não é bem definida (SORIANO et al., 1997). Estima-se, a partir de perfurações realizadas pela Petrobrás, que a espessura da Formação Pantanal varie de 40 m a 3.000 m (WEYLER, 1962 apud SOUZA & SOUZA, 2010).

De acordo com Corrêa et al. (1976, apud GODOI et al., 2001), a Formação Pantanal divide-se em três unidades litológicas: Qp1 – unidade que representa a planície aluvial antiga, com sedimentos de natureza arenosa e conglomerática; Qp2 – aflorante nas zonas alagáveis do Pantanal, mais argilosa; Qp3 – restrita às calhas dos principais drenos da planície, sendo predominantemente areno-argilosa. E, conforme a Carta Geológica na escala 1:1.000.000 (CPRM, 2004), a área da Baixa Nhecolândia em que estão os perfis de Espodossolos descritos por Schiavo et al. (2012) e na X RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012) está na unidade litoestratigráfica da Formação Pantanal de fácies depósitos aluvionares de sedimentos argilosiltico-arenosos (Figura 15), que corresponde a unidade Qp2, de acordo com Corrêa et al. (1976 apud GODOI et al., 2001).



#### LEGENDA

▲ Área de estudo	
— Curso d'água	
— Massa d'água	
<b>Litologia</b>	
Formação Jauru	Formação Araras - membro superior
Formação Aquidauana	Formação Bocaina
Vulcânicas Mimoso	Formação Cerradinho
Granito São Vicente	Formação Diamantino
Formação Furnas	Formação Raizama
Formação Ponta Grossa	Formação Tamengo
Coberturas detrito-lateríticas com concreções ferruginosas	Grupo Cuaibá subunidade 1
Formação Botucatu	Grupo Cuaibá subunidade 2
Suite Ponta do Morro	Grupo Cuaibá subunidade 3
Grupo Caiuá	Grupo Cuaibá subunidade 5
Formação Marília	Grupo Cuaibá subunidade 6
Suite Introsiva Santa Helena	Grupo Cuaibá subunidade indivisa
Grupo Pontes e Lacerda	Formação Santa Cruz
Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas	Formação Puga
Grupo Aguapeí	Formação Urucum
Granito Coxim	Formação Palermo
Granito Rio Negro	Formação Pantanal - fácies terraços aluvionares
Granito Taboco	Formação Pantanal - fácies depósitos aluvionares
Formação Araras - membro inferior	Formação Pantanal - fácies depósitos coluvionares
	Depósitos aluvionares
	Depósitos pantanosos
	Formação Xaraíes
	Formação Coimbra

**Figura 15.** Recorte da Carta Geológica ao Milionésimo – Folha SE.21 com a indicação da área de ocorrência de Espodossolos descritos na literatura. Fonte dos arquivos vetoriais utilizados para elaboração do mapa: CPRM (2004) e IBGE (2019a).

A unidade Qp2 é a unidade de maior distribuição geográfica da Formação Pantanal, formada por depósitos fluviacústicos, em que predominam sedimentos argiloarenosos semiconsolidados, pardacentos, porosos, cimentados por material ferruginoso,

macroscopicamente homogêneos, exibindo estratificação incipiente (GODOI et al., 2001). E, quanto à estratificação dos sedimentos, ressalta-se que o material transportado no processo de sedimentação nas áreas interfluviais do Pantanal, que decorre até a atualidade em meio às inundações sazonais, é de constituição pelítica (argila e folhelhos) e tem percentual variável de matéria orgânica (PROJETO RADAMBRASIL, 1982).

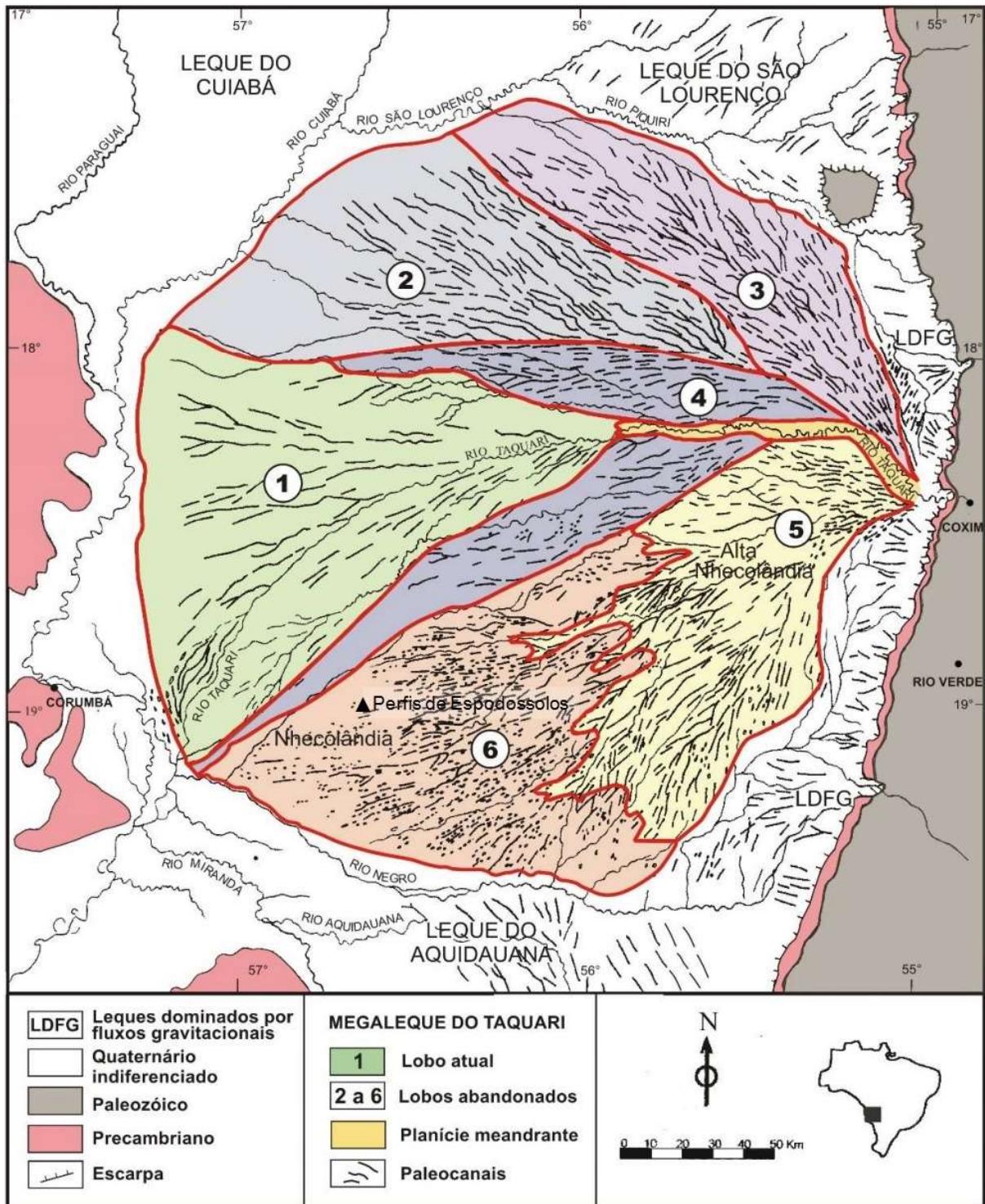
De maneira generalizada, os sedimentos da Formação Pantanal têm como coloração mais frequente o cinza-claro e às vezes amarelo claro; de modo que alguns apresentam manchas castanho-amareladas e/ou avermelhadas de concentrações de óxidos e hidróxidos de ferro, localmente com horizonte concretionário (PROJETO RADAMBRASIL, 1982). E, especificamente nas feições de baía e salina, muito frequentes na Baixa Nhecolândia, Godoi Filho (1986) destaca que nas bacias predominam sedimentos finos, ricos em matéria húmica, enquanto nas salinas ocorrem teores consideráveis de sais solúveis, concentrados após a evaporação das águas.

#### 2.7.4. Geomorfologia

Pantanal pode ser entendido como uma ampla área de sedimentação aluvial, onde o Rio Paraguai é o principal coletor das águas de vários leques aluviais, sendo o mais importante o megaleque do Taquari (ALMEIDA et al., 2007). O megaleque situa-se em frente às escarpas ocidentais das serras de Maracaju, do Pantanal e de São Jerônimo e engloba as sub-regiões do Pantanal da Nhecolândia (ao sul) e do Pantanal dos Paiaguás (ao norte) (PROJETO RADAMBRASIL, 1982).

Com o eixo em torno de 250 km de comprimento e uma área de 50.000 km<sup>2</sup>, as altitudes do megaleque do Taquari variam de 190 a 85 m, de modo que seu gradiente topográfico médio é de 36 cm km<sup>-1</sup> (GRADELLA, 2012). Essa baixíssima declividade reduz a capacidade de transporte do Rio Taquari, que após percorrer 150 km no Pantanal, passa a ter um padrão de drenagem distributário e deposita os sedimentos contidos no canal, dando origem a uma zona com elevadas taxas de sedimentação, chamada de lobo deposicional atual (ZANI & ASSINE, 2011). Além deste, há outros cinco lobos deposicionais no Megaleque do Taquari (Figura 16), contudo, por já não receberem mais sedimentos, estes denominados de lobos deposicionais abandonados (ASSINE, 2003).

Conforme Zani et al. (2006), a evolução do megaleque Taquari é condicionada pela construção e abandono de lobos deposicionais desde o Pleistoceno terminal até os dias atuais. A área da Baixa Nhecolândia está compreendida no lobo deposicional abandonado 6 (Figura 16). Portanto, é uma região sem aporte de sedimentos atualmente e que se caracteriza por preservar feições relictas mais antigas.



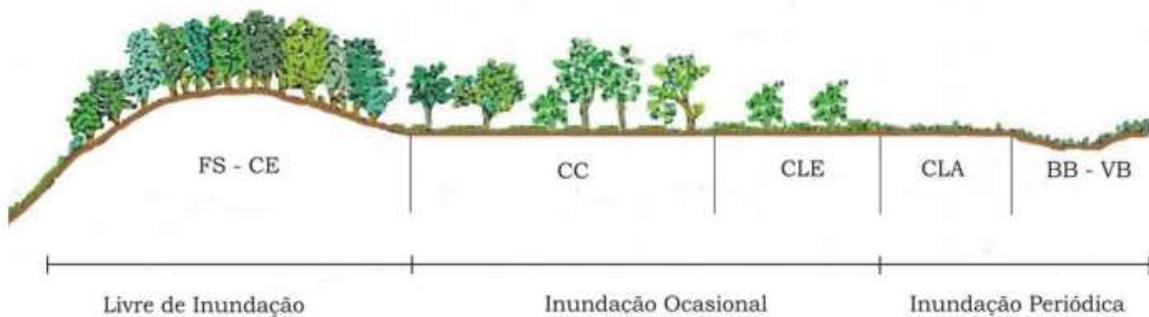
**Figura 16.** Megaleque do Taquari e seus respectivos lobos deposicionais, com a indicação da área ocorrência de perfis de Espodossolos descritos na literatura, adaptado de Zani et al. (2006).

A Baixa Nhecolândia tem um grande número de lagoas circulares, alinhadas principalmente nas direções NE-SW e NW-SE, que pode ser entendido como reflexo das zonas de fraqueza existentes no substrato da Bacia do Pantanal (OLIVEIRA et al., 2018). As principais feições presentes na paisagem desta sub-região são identificadas regionalmente por baías, salinas, corixos, vazantes e cordilheiras (PROJETO RADAMBRASIL, 1982;

SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1986; OLIVEIRA et al., 2011; GRADELLA, 2012), sendo elas:

- (i) *Baias: lagoas ou antigos meandros de água doce, com formas circulares ou alongadas, localizadas em áreas deprimidas, que normalmente estão em grupos e são conectadas pelas vazantes na época da cheia;*
- (ii) *Salinas: lagoas de água salobra que podem ser circulares, ovaladas ou oitavadas, cercada por cordilheiras e que estão sempre em um nível topográfico mais baixo que as demais feições;*
- (iii) *Corixos: canais com escoamento temporário que podem ficar secos por vários anos;*
- (iv) *Vazantes: linhas de drenagem que conectam as baías no período da cheia servindo como escoadouro fluvial intermitente com vários quilômetros de extensão;*
- (v) *Cordilheiras: pequenas elevações do terreno situadas entre duas lagoas e em média com 2 m acima do espelho de água das mesmas.*

A variabilidade das feições de relevo tem forte influência na diferenciação da vegetação nos segmentos da paisagem, assim como as classes de solos na Baixa Nhecolândia (BAZZO et al., 2012). Nas áreas de cordilheiras, livres de inundação, ocorre vegetação de floresta semidencídua e cerradão e solos mais profundos e substancialmente arenosos, como Neossolos Quartzarênicos. Em áreas de inundação ocasional ocorre vegetação de campo limpo e campo cerrado, minguando para vegetação mais rala e composta por gramíneas resistentes a inundação nas áreas de borda da baía e vazante, como a vegetação de campo limpo (Figura 17) (CARDOSO, 2008). Nas áreas de inundação periódica podem ocorrer Neossolos e Espodossolos Hidromórficos, bem como Planossolos, e nas áreas de bordas de baía ou salina, os Gleissolos.



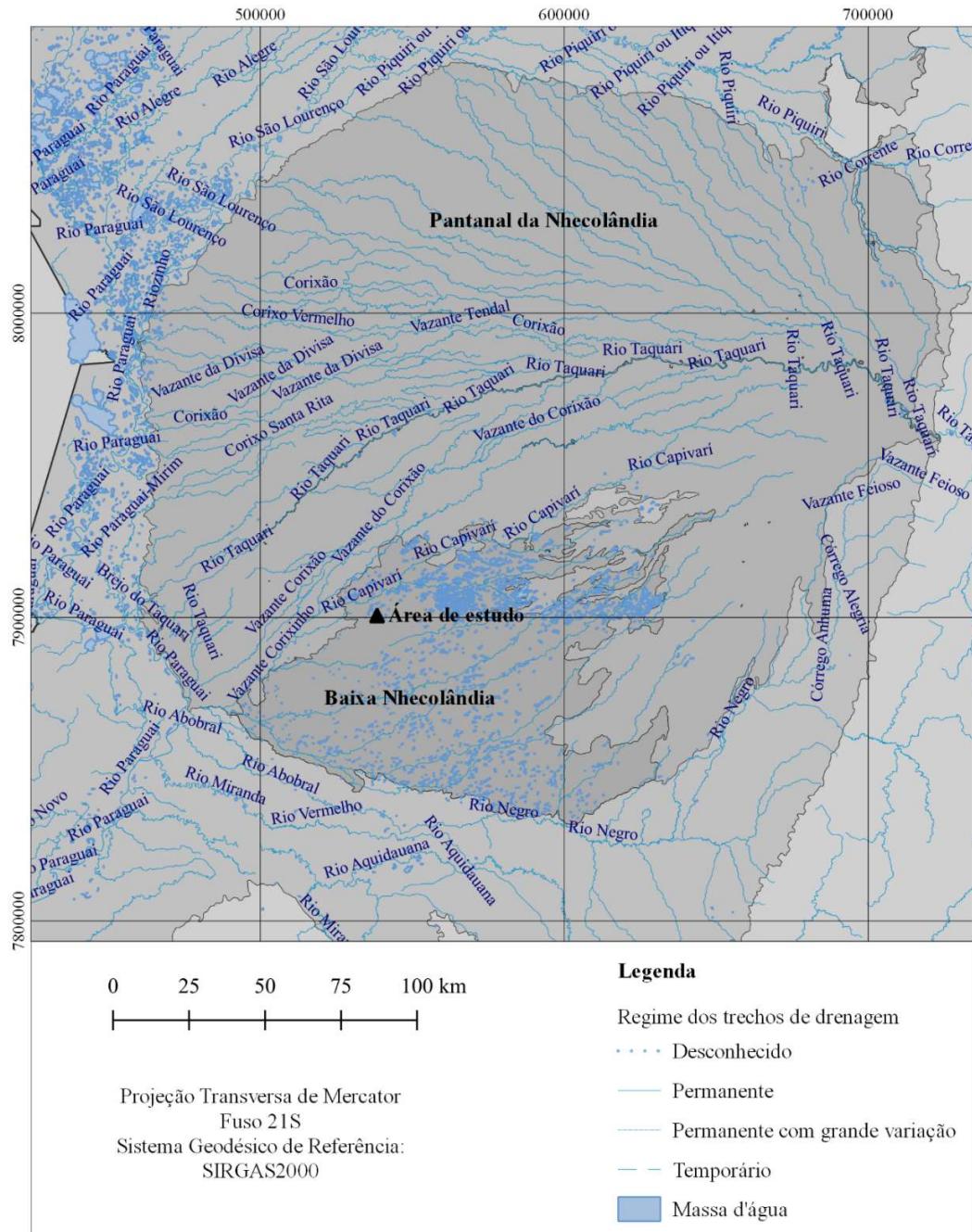
**Figura 17.** Unidades de paisagem da sub-região da Baixa Nhecolândia, Pantanal, em que estão sendo representadas as seguintes vegetações: FS - floresta semidecídua; CE - cerradão; CC: campo cerrado; CLE - campo limpo com predominância de *E. muticus*; CLA - campo limpo com predominância de *A. purpusii* e *Andropogon spp*; BB - bordas de baías; VB - vazantes e baixadas. Fonte: Cardoso (2008) adaptado de Cunha (1980).

### 2.7.5. Hidrografia

A hidrografia do Pantanal é formada pelos rios que compõem a bacia do Rio Paraguai, tendo como principais afluentes os rios Cuiabá, São Lourenço e Taquari, além de outros rios regularmente bem espaçados e com as respectivas nascentes nos mais diferentes pontos da região como os rios Miranda e Aquidauana (PROJETO RADAMBRASIL, 1982). Os tributários

menos importantes desta região, com canais bem definidos, mas sem vazão permanente, são: Rio Negro (Otuquis), afluente da margem direita vindo da Bolívia, os rios Paraguaizinho, Bento Gomes, Negrinho, Negro, Abobral, Aquidabã, Rio Branco, Tereré e Amonguejá (SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1986).

A sub-região do Pantanal da Nhecolândia é delimitada pelos rios Taquari e Negro, sendo o Taquari (Figura 18), juntamente com as chuvas, um dos grandes fornecedores de água para essa planície, e o rio Negro é o principal receptor das águas pluviais e dos lençóis freáticos (SAKAMOTO & BACANI, 2012). Ambos são rios anastomosados, com inúmeros meandros abandonados e são reabastecidos nos períodos de cheia (MARTINS, 2012).



**Figura 18.** Hidrografia da sub-região da Baixa Nhecolândia, Pantanal Sul-mato-grossense. Fonte dos arquivos vetoriais utilizados para elaboração do mapa: IBGE (2019a, 2019b, 2019c).

Como mencionado no item 2.7.4. *Geomorfologia*, a Baixa Nhecolândia destaca-se em relação às demais regiões do Pantanal pela grande concentração de lagoas (Figura 18). A vista disso, em uma tentativa de quantificação, diferenciando as lagoas em baías e as salinas conforme suas características espetrais, Oliveira et al. (2011) segmentaram 16.961 baías e 578 salinas nesta região a partir de imagens obtidas pelo sensor TM do satélite Landsat 5.

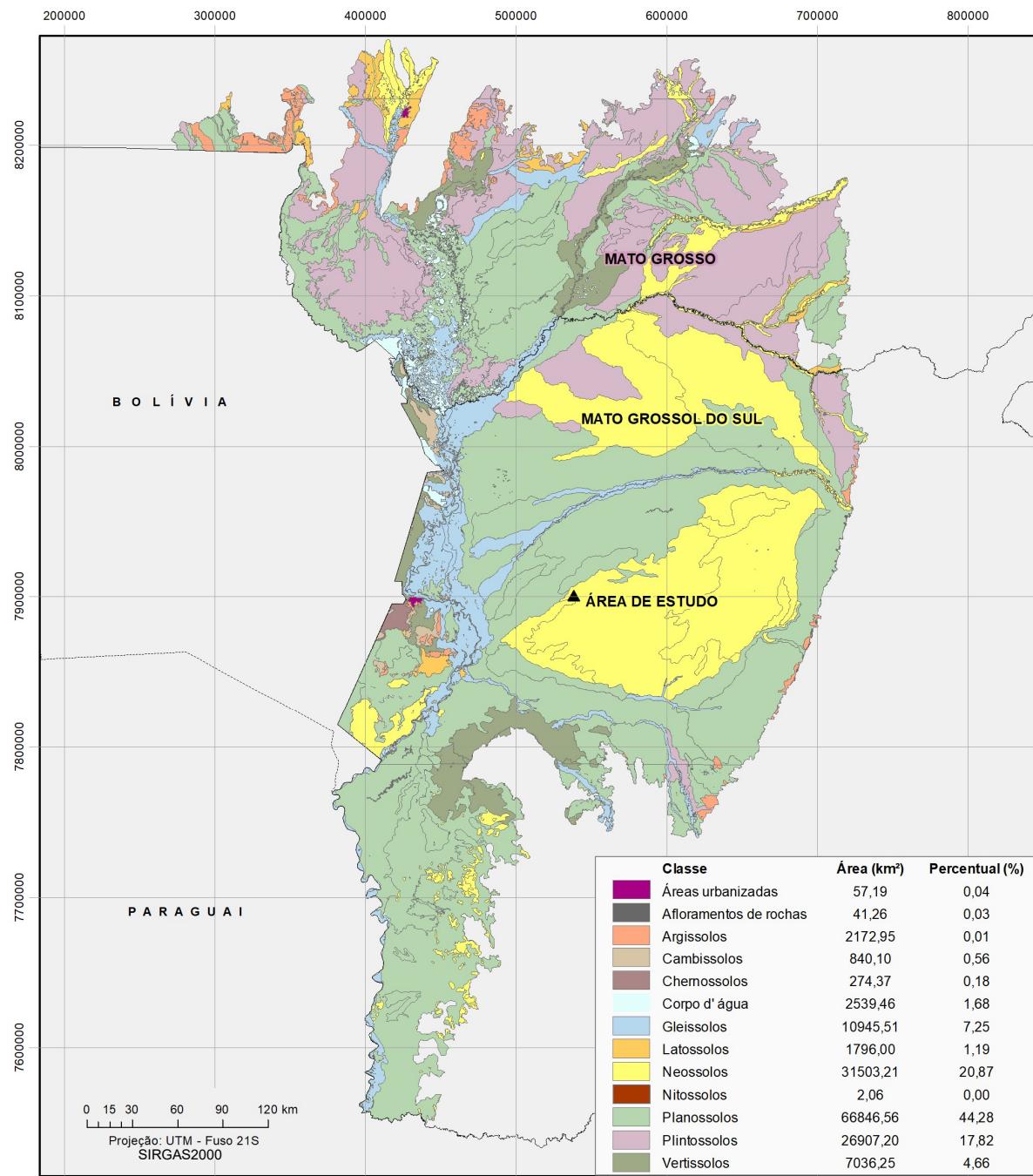
## 2.7.6. Solos

O Pantanal da Nhecolândia é caracterizado pela presença de sedimentos de natureza arenosa da Formação Pantanal (PROJETO RADAMBRASIL, 1982). Nessa área, diferentes publicações e mapas de solos indicavam a classe dos Espodossolos como predominante (CUNHA, 1980; SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1986; FERNANDES et al., 2007; FURQUIM, 2007; SANTOS et al., 2011; COUTO et al., 2017), como também indicavam a forte ocorrência de Neossolos e Planossolos, sendo essas três classes arenosas na maior parte do perfil de solo. No entanto, houve uma grande mudança na representação desta classe de solos na versão mais recente do Mapa de Solos do Brasil, escala de elaboração 1:1.000.000 (IBGE, 2019c), em que a classe dos Espodossolos, que anteriormente recobria toda a área (SANTOS et al., 2011), não aparece mais de modo a definir unidades de mapeamento, mas associada a outras classes de solo (Figura 19). Tal modificação indica a ocorrência menos generalizada e de caráter mais pontual na área, mediante as condições locais específicas.

Em todo o Pantanal, de acordo com IBGE (2019c), as unidades de mapeamento referentes a ordem dos Planossolos ocorrem em 44,26% da área, principalmente nas proximidades dos rios Negro, Miranda, Abobral, Vermelho, Paraguai e Taquari (Figura 19). Já para a ordem dos Neossolos (20,87% da área), as unidades ocorrem nas áreas interioranas, mais afastadas dos rios, e da porção leste do Megaleque Taquari. Nas áreas adjacentes aos cursos d'água, o predomínio é das unidades de mapeamento da ordem dos Gleissolos (7,25% da área), enquanto no Pantanal do Mato Grosso é dos Plintossolos (17,82% da área). Os Espodossolos ocorrem como primeiro componente principalmente nas unidades de mapeamento dos Neossolos Quartzarênicos, hidromórficos ou típicos, na região do Megaleque do Taquari, mas também estão associados à uma unidade de mapeamento de Planossolos Háplicos nesta região e à outra unidade de mapeamento de Plintossolos Argilúvicos no Pantanal do Mato Grosso.

Como já abordado no item 2.6. *Espodossolos do Pantanal da Baixa Nhecolândia: Ocorrência e Características Diferenciais*, os Espodossolos dessa região apresentam horizontes espódicos com elevados valores de pH em água e de cátions trocáveis, baixo acúmulo de C org e óxidos de alumínio em comparação a B espódicos de outros pedoambientes brasileiros, como também apresentam caráter sódico e solódico e acúmulo de argila e de óxidos de ferro. Quanto a morfologia, os Espodossolos do Pantanal apresentam a sequência de horizontes A - E - B espódico ou A - B espódico, cores dos horizontes espódicos brunovermelhadas ou escuras, ausência de estrutura do horizonte B pela matriz substancialmente arenosa, como também pela presença de zonas de acumulação de óxidos ferro e manganês em virtude da alternância entre ciclos de umedecimento e secagem.

A ordem dos Planossolos é caracterizada pelo acúmulo de argila em subsuperfície, apresentando mudança textural abrupta ou atendendo critérios de relação textural em transição abrupta entre o horizonte B e o sobrejacente. São solos de permeabilidade lenta e na estação chuvosa, comumente há a formação de lençol freático suspenso (SANTOS et al., 2018). Conforme Couto et al. (2017), nas áreas próximas das planícies dos principais rios da região ocorrem Planossolos Háplicos. Já os Planossolos Nátricos (Figura 20.B), que apresentam elevados teores de sódio e saturação de sódio, ocupam as proximidades das salinas, das vazantes e dos corixos.



**Figura 19.** Mapa de Classes de Solo do bioma do Pantanal, com a indicação da área de localização de perfis de Espodossolos descritos na literatura. Fonte dos arquivos vetoriais utilizados para elaboração do mapa: IBGE (2019a, 2019b, 2019c).



**Figura 20.** Perfis de solos coletados na X RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012), na região do Pantanal da Nhecolândia, Corumbá - MS: **A.** ESPODOSSOLO FERRILÚVICO Órtico espessarênico (perfil MS-06); **B.** PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico típico (perfil MS-02); **C.** NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico êutrico (perfil MS-04). Fonte: Ademir Fontana.

Os Neossolos são solos de menor evolução pedogenética, sendo definidos pela ausência de horizonte diagnóstico subsuperficial (SANTOS et al., 2018). Os solos pertencentes à classe dos Neossolos Quarzarênicos, de maior ocorrência na região da Nhecolândia, são caracterizados pela matriz substancialmente arenosa em todo o perfil (Figura 20.C). Na porção sudoeste do Pantanal da Nhecolândia, segundo Fernandes et al. (2007), esses solos ocorrem associados aos Espodossolos e são hidromórficos, ou seja, possuem forte influência do lençol freático próximo à superfície.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. O Pantanal Brasileiro e a Sub-região da Baixa Nhecolândia

O Pantanal brasileiro é caracterizado por ser uma grande planície alagável, fortemente influenciada pelo regime hídrico da Bacia do Alto Paraguai (IBGE, 2019a). Esta região é a maior área inundada interiorana do mundo, e está localizada na porção centro-oeste do Brasil, com uma área de aproximadamente 150.988 km<sup>2</sup> (IBGE, 2019a). O rio Paraguai é o principal coletor das águas de vários contribuintes, dentre eles, o megaleque do rio Taquari é o maior em termos de área de contribuição, com aproximadamente 49.000 km<sup>2</sup> e elevações de 85 a 190 m, que resultam em um gradiente topográfico médio muito baixo de 36 cm km<sup>-1</sup> (ASSINE, 2005; ZANI, ASSINE, MCGLUE, 2012).

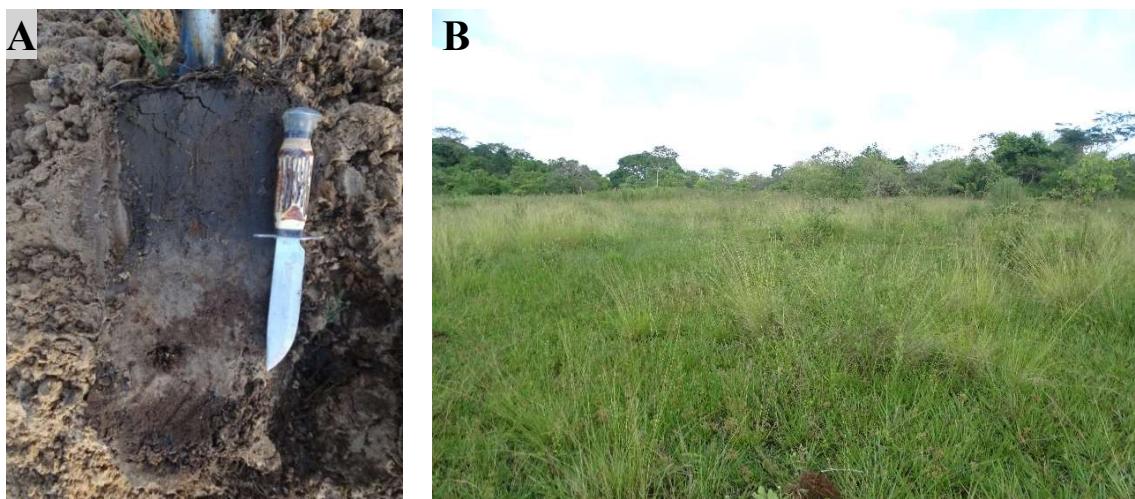
Este estudo foi realizado especificamente na Baixa Nhecolândia, que é uma sub-região do Pantanal localizada a sudoeste do megaleque do Taquari. É caracterizada pela presença de milhares de lagoas circulares, que podem ser de água doce, as baías, ou de água salobra, as salinas, e entre elas estão feições conhecidas regionalmente como cordilheiras, vazantes e corixos (BOIN et al., 2019). As vazantes são canais temporários com vários quilômetros de extensão que ligam as baías durante o período das cheias, assim como os corixos, mas estes podem ficar secos durante anos. As cordilheiras são pequenas elevações de cerca de 2 m acima do nível das lagoas que as rodeiam.

Sem aporte de sedimentos atuais, a Baixa Nhecolândia é recoberta por sedimentos argiloarenosos da Formação Pantanal, que apresentam estratificação incipiente de argila e matéria orgânica e têm a presença de feições ferruginosas (GODOI et al., 2001; ASSINE, 2005). Os solos desta região são substancialmente arenosos e frequentemente apresentam gradiente textural e acúmulo de sais (FURQUIM et al., 2010, 2017; SCHIAVO et al., 2012; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012; IBGE, 2019c; BOIN et al., 2019; ANDRADE et al., 2020). Especificamente, os solos com feições espódicas ocorrem em áreas de inundação periódica, como baías e salinas, e em cordilheiras (SCHIAVO et al., 2012; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012), normalmente sob vegetação de campo tropical e cerradão sub-tropical.

O clima da região é Aw, ou seja, tropical com inverno seco segundo a classificação climática Köppen-Geiger (APARECIDO et al., 2020). Devido ao relevo predominantemente plano da bacia do Pantanal, mesmo com pequenos eventos de chuvas, rapidamente ocorre o aumento da umidade do solo e elevação do nível do lençol freático, de modo que em cerca de 30 a 60 dias após o início das chuvas, em outubro, a porcentagem da área inundada no Pantanal começa a aumentar, atingindo seu valor máximo, entre 70 a 75%, por volta do mês de maio (HAMILTON, SOUZA, COUTINHO, 1998).

#### 3.2. Prospecção e Seleção dos Pontos de Coleta e Descrição dos Perfis de Solo

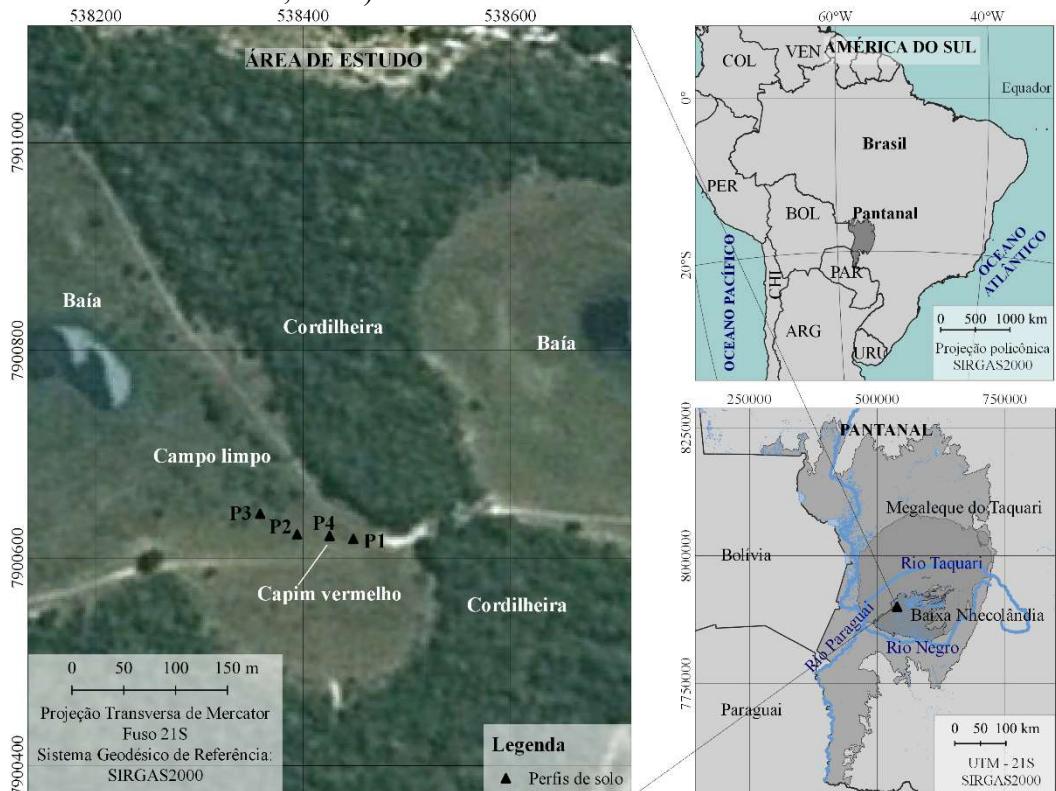
A área de estudo está localizada na Fazenda Nhumirim, área experimental da Embrapa Pantanal, na sub-região Baixa Nhecolândia, município de Corumbá, Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil, e o levantamento de solo foi realizado em novembro de 2018. A partir de mapas de solo do Pantanal e da localização de unidades de mapeamento contendo Espodossolos (FERNANDES et al., 2007; SANTOS et al., 2011), bem como de estudos que apresentam descrições de perfis dessa classe de solos (SCHIAVO et al., 2012; REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012) foram realizadas diversas tradagens em busca perfis representativos com feições espódicas (Figura 21). Após extenso levantamento, foi definida área de maior relevância e concentração de características espódicas.



**Figura 21.** A. Trado preenchido com uma amostra da camada superficial (0 a 20 cm). B. Paisagem onde os perfis com feições espódicas estão localizados na região da Baixa Nhecolândia, Pantanal brasileiro, Mato Grosso do Sul.

### 3.3. Localização dos Perfis de Solo e Amostragem

Quatro trincheiras ao longo de um transecto foram abertas para coleta de amostras deformadas e para a descrição morfológica dos perfis de solo segundo Santos et al. (2015) (Figura 22). Os perfis foram selecionados de modo que a morfologia fosse indicativa para a presença do horizonte espódico segundo o SiBCS (SANTOS et al., 2018) e no WRB (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015).



**Figura 22.** Localização dos perfis de solo coletados na região da Baixa Nhecolândia, Pantanal brasileiro, Mato Grosso do Sul. Fontes: *Shapefile* dos biomas brasileiros - IBGE (2019a); base cartográfica - IBGE (2019b); imagem da área de estudo - Google Earth Pro.

### 3.4. Preparação das Amostras e Análises Laboratoriais

Após a fragmentação manual, as amostras deformadas foram levadas para estufa de circulação forçada de ar a 40°C e depois passadas por peneira de malha de 2 mm, obtendo-se a fração terra fina. A preparação das amostras e os procedimentos das análises laboratoriais foram realizados de acordo com Teixeira et al. (2017).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta. As frações argila e areia foram determinadas e o silte foi obtido por diferença. A fração de areia total foi dividida em areia muito grossa (2,00-1,00 mm), areia grossa (1,00-0,50 mm), areia média (0,50-0,210 mm), areia fina (0,210-0,10 mm) e areia muito fina (0,10- 0,05 mm).

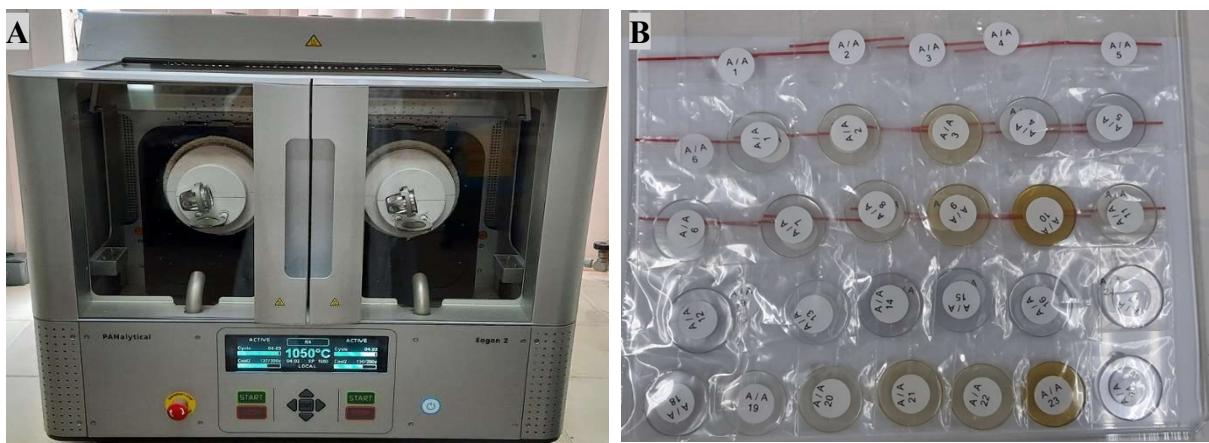
A partir da fração terra fina, foram determinados o pH (água e KCl), o complexo sortivo, o carbono orgânico (C org), os sais solúveis e a condutividade elétrica. Os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  foram extraídos com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, enquanto a extração de H + Al foi realizada com solução de  $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$  0,5 mol L<sup>-1</sup> em pH 7,0. Para os cátions  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , a extração foi realizada com solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125 mol L<sup>-1</sup> + HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>. Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram determinados por titulação com solução de EDTA 0,0125 mol L<sup>-1</sup>,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  por fotometria de chama e  $\text{Al}^{3+}$  e H + Al por titulação com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. O pH em água e KCl (1: 2,5) foram determinados com um potenciômetro. O carbono orgânico foi quantificado por oxidação com  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,0667 mol L<sup>-1</sup> e titulação com  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0,1 mol L<sup>-1</sup>. O carbono orgânico dos nódulos presentes nos solos, que foram moídos, também foi determinado pelo mesmo método.

Amostras da fração terra fina foram submetidas à extração em meio aquoso e à determinação dos sais solúveis ( $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ) por fotometria de chama. Posteriormente, foi realizada a leitura direta da condutividade elétrica do extrato de saturação por meio de um condutivímetro digital.

O ataque sulfúrico para determinação dos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  foi realizado na relação 1:1 de fração terra fina-solução. Os óxidos pedogenéticos de Fe, Al e Mn também foram determinados na fração terra fina, após a extração com solução de ditionito-citrato-bicarbonato de sódio ( $\text{Fe}_d$  e  $\text{Mn}_d$ ) e de oxalato ácido de amônio ( $\text{Fe}_o$ , Al<sub>o</sub> e Mn<sub>o</sub>). As razões entre  $\text{Fe}_o$  e  $\text{Fe}_d$  foram calculadas para avaliar a predominância das formas de maior ou menor cristalinidade dos óxidos de Fe nos horizontes.

Para identificar carbonatos e óxidos de manganês nas amostras, a efervescência do material foi avaliada em laboratório, respectivamente, com HCl 10% e peróxido de hidrogênio (20 volumes) (SANTOS et al., 2015).

As amostras da fração terra fina e dos nódulos foram preparadas conforme o método da pérola de vidro. As amostras de cada horizonte foram moídas em moinho vibratório, e, na sequência, uma massa de 0,5000 g foi pesada diretamente em cadrinho de platina juntamente com 5,0000 g de mistura de tetraborato de lítio/metaborato de lítio (66/34%). Após homogeneização do material, o cadrinho foi levado a máquina de fusão automática Eagon 2, a temperatura de 1050°C por 26 minutos (Figura 23.A). Algumas amostras passaram apenas por um ciclo de fusão, porém outras apresentaram material com fusão incompleta e precisaram passar por um ciclo a mais. Ao final dos ciclos de fusão obteve-se amostra na forma de pérola (Figura 23.B).



**Figura 23.** A. Máquina de fusão automática Eagon 2. B. Amostras na forma de pérolas preparadas para leitura dos espectros no FRX. Fonte: Felícia Miranda de Jesus.

As pastilhas (pérolas) foram levadas para obtenção dos espectros no equipamento de FRX, marca Rigaku modelo ZSX Primus III+, tubo de ródio, por dispersão de comprimento de onda (WD-XRF). As amostras foram lidas uma vez e cada leitura levou em média 16 minutos. A leitura foi baseada em uma curva quantitativa no modo empírico, construída a partir de amostras de referência, cujos parâmetros estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Parâmetros adotados na curva quantitativa para as leituras das amostras pela FRX.

Elemento	Linha	Cristal	Ângulo (deg)	Detector
Al	K $\alpha$	PET	144,712	PC
Fe	K $\alpha$	LiF1	57,502	SC
Mn	K $\alpha$	LiF1	62,956	SC
P	K $\alpha$	PET	89,392	PC
Si	K $\alpha$	PET	109,006	PC
Ti	K $\alpha$	LiF1	86,134	SC

SC - scintillation counter; PC - proportional counter.

A curva multielementar padrão utilizada para quantificação das amostras tem os padrões de referências especificados na Tabela 3. A importação dos dados foi realizada através do ZSX software. Para os resultados obtidos em percentuais de cada elemento foram aplicados os seguintes fatores de conversão: 2,12 de Si para SiO<sub>2</sub>, 1,89 de Al para Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de 1,43 de Fe para Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de 1,29 de Ti para TiO<sub>2</sub>, de 1,22 de Mn para MnO<sub>2</sub> e 2,29 de P para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Em seguida, os resultados foram convertidos de percentual para g por kg<sup>-1</sup>.

**Tabela 3.** Padrões de referência da curva multielementar padrão.

Padrão de referência	Al	Fe	Mn	P	Si		Ti
					(%)		
Montana Soil I – NIST 2710a	5,95	4,320	0,2104	0,1050	31,10	0,311	
Montana Soil II – NIST 2711a	6,72	2,820	0,0675	0,0842	31,40	0,317	
San Joaquin Soil – NIST 2709a	7,37	3,360	0,0529	0,0688	30,30	0,336	
Flint Clay – SRM 97b (National Bureau of Standards)	20,76	0,831	0,0047	0,0200	19,81	1,430	
Plastic Clay – SRM 98b (National Bureau of Standards)	14,30	1,180	0,0116	0,0300	26,65	0,809	
Brick Clay - SRM 679 (National Bureau of Standards)	11,01	9,050	0,1730	0,0750	24,34	0,577	

Para cada um dos perfis foi calculada a diferença entre os valores de  $Fe_2O_3$  e de  $Al_2O_3$  obtidos por FRX e pelo método do ataque sulfúrico. Ressalta-se que por meio da diferença dos resultados de FRX e ataque sulfúrico, busca-se avaliar se a distribuição de  $Fe_2O_3$  e  $Al_2O_3$  que não fazem parte da fração argila e está relacionada aos teores de C org, condição necessária do processo de podzolização. Nos casos em que o valor obtido para um determinado elemento pelo ataque sulfúrico excedeu o valor obtido pelo FRX, foi atribuído o valor zero a diferença entre os resultados da extração com FRX e ataque sulfúrico. Deve ser mencionado que pelo fato de os solos em estudo serem substancialmente arenosos, existe grande dificuldade técnica na separação da fração argila para avaliação da composição elementar desta fração granulométrica pela FRX. Diante disso, não foi possível a avaliação da diferença dos óxidos de ferro e dos óxidos de alumínio pela FRX da terra fina e pela FRX da argila, sendo necessário lançar mão da análise de ataque sulfúrico para tal propósito.

Com os resultados das análises laboratoriais e as descrições morfológicas, os perfis foram classificados segundo o SiBCS (SANTOS et al., 2018) e o WRB (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015).

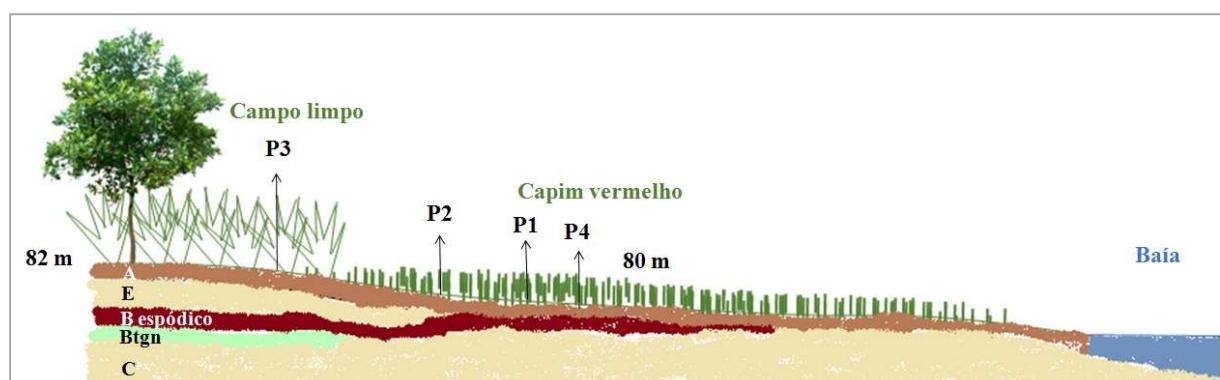
## 4. RESULTADOS

### 4.1. Pedoambiente, Morfologia e Granulometria dos Perfis de Solo

Os perfis localizam-se em duas partes distintas de uma paisagem: três adjacentes a uma baía (P1, P2 e P4) e um na transição entre baía e cordilheira (P3) (Tabela 4) (Figura 24). Os perfis P1, P2 e P4 encontram-se em área de inundação sazonal, relevo plano, sob vegetação de capim vermelho (*Andropogon hypogynus*) e altitude elipsoidal de 80 m (Tabela 4). O perfil P3 encontra-se em uma área de relevo plano, altitude elipsoidal de 82 m e sob uma vegetação conhecida localmente como campo limpo (Tabela 4). Essa vegetação é uma pastagem nativa composta por *Mesosetum sp.*, *Setaria geniculata* e *Rychardia sp.*, com ocorrência de *Bromelia antiacantha*, *Vernonia polysphaera* e *Laurus nobilis*.

**Tabela 4.** Caracterização do pedoambiente dos perfis de solo da região do Pantanal Sul-mato-grossense.

Perfil	Relevo	Posição na paisagem	Drenagem	Vegetação	Elevação	Nível freático
P1	Plano	Área de baía	Imperfeitamente drenado	Capim vermelho ( <i>Andropogon hypogynus</i> )	80 m	52 cm
P2	Plano	Área de baía	Imperfeitamente drenado	Capim vermelho ( <i>Andropogon hypogynus</i> )	80 m	55 cm
P3	Plano	Área de transição entre baía e cordilheira	Imperfeitamente drenado	Campo limpo	82 m	45 cm
P4	Plano	Área de baía	Imperfeitamente drenado	Capim vermelho ( <i>Andropogon hypogynus</i> )	80 m	43 cm



**Figura 24.** Esquema ilustrativo do ambiente de ocorrência dos perfis de solo da região do Pantanal Sul-mato-grossense.

Os perfis P4 e P3 estão respectivamente nos pontos mais baixo e mais alto do transecto e o nível do lençol freático no momento da coleta nesses pontos estava a 43 e 45 cm de profundidade (Tabela 4) (Figura 24). Já os pontos P2 e P3 apresentaram nível freático em maior profundidade, de 52 e 55 cm em relação a superfície.

Os perfis adjacentes a baía (P1, P2 e P4) têm um *solum* raso e apresentam a sequência de horizontes A, B e C, exceto para P2 que possui um horizonte E descontínuo sobreposto ao horizonte B (Tabela 5, Figura 25). Nestes solos, mosqueados nas cores preto e bruno-amarelado, bruno-avermelhado ou vermelho-amarelado são decorrentes da precipitação de

óxidos e formação de nódulos, respectivamente de manganês e ferro, principalmente nos horizontes B (Tabela 5, Figura 26). O perfil do solo localizado na zona de transição entre baía e cordilheira (P3) apresenta um horizonte E espesso, maior profundidade do *solum* e mosqueados e nódulos menos distintos em comparação com os demais perfis (Tabela 5).

**Tabela 5.** Morfologia dos perfis de solo da região do Pantanal Sul-mato-grossense.

Hor.	Profundidade (cm)	Estrutura	Cor (úmida)	Mosqueados	Tra.	Nódulos
<b>Perfil P1 – relevo plano, área de baía, imperfeitamente drenado, elevação de 80 m</b>						
A	0-12 (10-13)	F, P/M, G	5YR 3/1	5YR 3/4 A. Peq. Dis e N 2/ P. Peq. Dis.	OC	-
Bhsc	12(10-13) - 16 (13-20)	GS	5YR 3/2	5YR 3/4 A. Med. Dis.	OA	MP, Peq, D, I, Fe e Mn
Bsc	16 (13-20) - 27(26-29)	GS	5YR 3/4	5YR 4/4 A. Gra. Dis.	OA	MP, Peq, D, I, Fe e Mn
Bhc	(24-33) - (26-24)	GS	N 2/	-	DA	MP, Peq e Gra., D, I, Fe e Mn
C	27(26-29) - 52+	GS	-	-	-	MP, Gra, D, I, Fe e Mn
<b>Perfil P2 – relevo plano, área de baía, imperfeitamente drenado, elevação de 80 m</b>						
A	0 - 10 (8-11)	F, P, G	10YR 3/1	-	OC	-
Bh	10(8-11) - 12(8-16)	GS	10YR 3/2	-	DC	-
Bhsc	12(8-16) - 14(11-17)	GS	7.5YR 3/2	-	OC	MP, Peq, D, I, Fe e Mn
Bhsc/E	14(11-17) - 23(17-30)	GS	10YR 3/2	10YR 4/4 P. Peq. Dis.	DC	MP, Peq, D, I, Fe e Mn
Bstc	23(17-30) - 31(30-33)	F/M, P/M, SB	Var. N 2/ e 10YR 3/4	-	OC	MP, Peq, D, I, Fe e Mn
Bhc	31(30-33) - 37(36-38)	GS	10YR 2/1	-	OC	P, Peq, D, I, Fe e Mn
C	37(36-38) - 55+	GS	10YR 8/1	N 2/ P. Med. Pro.	-	MP, Gra, D, I, Fe e Mn
<b>Perfil P3 – relevo plano, transição entre baía e cordilheira, imperfeitamente drenado, elevação de 82 m</b>						
A1	0 - 10	F, P/M, G	10YR 3/1	-	PC	-
A2	10-18	F, P, G	10YR 4/1	-	PA	-
E1	18 - 28	GS	7.5YR 3/4	-	PC	MP, Peq, D, I, Fe e Mn
E2	18 - 45	GS	10YR 5/4	-	-	MP, Peq, D, I, Fe e Mn
Bh	85 - 105	-	N 2/	-	-	-
Btgn	105 - 115+	-	Var. N 2/ e 5GY 5/2	-	-	-
<b>Perfil P4 – relevo plano, área de baía, imperfeitamente drenado, elevação de 80 m</b>						
A	0 - 6.5	F, P/M, G	10YR 3/3	5YR 5/8 C. Peq. Dis.	PC	-
Bhs	6.5 - 9	GS	Var. 7.5YR 2.5/3 e 7.5YR 3/1	-	PA	-
Bs1	9 - 14.5	GS	7.5YR 3/4	-	PC	MP, Peq, D, I, Fe and Mn
Bs2	14.5 - 20.5	GS	10YR 4/6	-	PC	MP, Peq, D, I, Fe e Mn
Bsc	20.5 - 27	GS	Var. 5YR 3/4 e 5YR 3/3	-	PA	Fr, Peq. e Gra, D, I, Fe e Mn
C	27 - 45+	GS	10YR 6/4	10YR 4/4 P/C Med. Dis.	-	-

Horizontes subscritos de acordo com Santos et al. (2015) em que a letra h corresponde ao acúmulo de matéria orgânica iluvial, s corresponde ao acúmulo de óxidos de Al e Fe iluviais e c corresponde à presença de concreções e/ou nódulos. Em *WRB Guidelines for Soil Description* (JAHN et al., 2006), as letras c e s têm a mesma descrição que Santos et al. (2015), mas a letra h significa acúmulo de matéria orgânica, e, neste caso, o acúmulo pode ocorrer em horizontes superficiais, ou em horizontes subsuperficiais por meio de iluviação.

Hor. – Horizonte. Tra. – Transição.

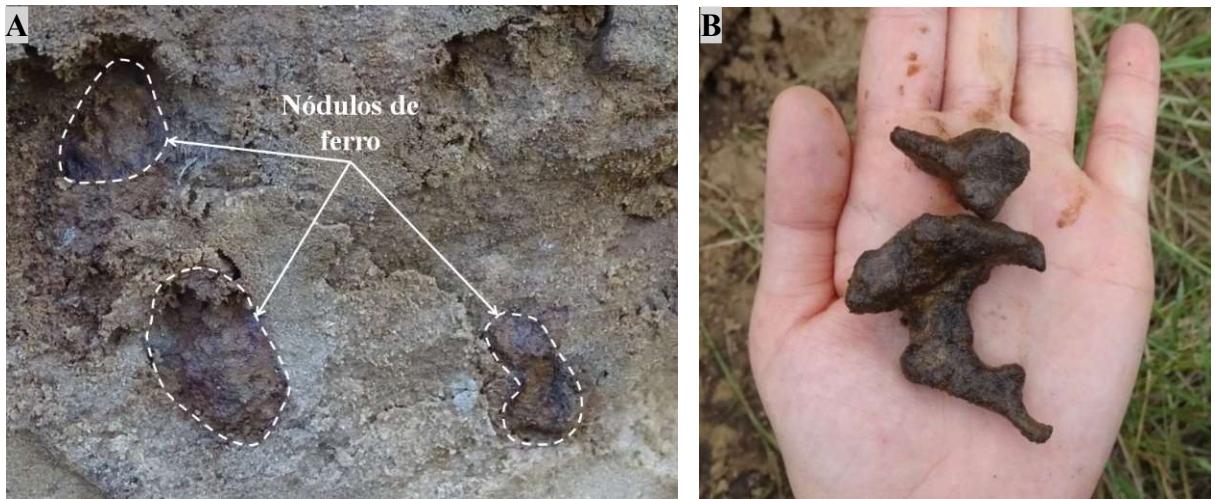
Estrutura: (i) grau de desenvolvimento: F – fraco e M – moderado; (ii) tamanho: P – pequeno e M – médio; (iii) tipo: G – granular, SB – blocos subangulares, GS – grãos simples; Cor: Var – variegada; Mosquedo: (i) Quantidade: P – pouco, C – comum e A – abundante; (ii) Tamanho: Peq – pequeno, Med – médio e Gra – grande; (iii) Contraste: Dis – distinto e Pro – proeminente; Transição: (i) Topografia: P – plana; O – ondulada e D – descontínua; (ii) Nitidez: A – abrupta, C – clara. Nódulos: (i) Quantidade: MP – muito pouco (menos de 5% do volume); P – pouco (5 a 15% do volume); Fr – frequente (15 a 40% do volume); (ii) Tamanho: Peq. – pequeno (menor que 1 cm de diâmetro); Gra – grande (maior que 1 cm de diâmetro); (iii) Forma: I – Irregular; (iv) Dureza: D - Duro; (v) Natureza: Ferro e Manganês.

Não houve presença de carbonatos em todos os perfis. Os calhaus e os cascalhos são compostos por nódulos de Fe e /ou Mn nos perfis de solo P1 e P2.

O horizonte Btgn foi coletado por tradagem e não foi possível avaliar sua estrutura. Porém, foi coletado exatamente no mesmo local que o perfil MS-01 descrito na X RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012), desse modo optou-se por identificá-lo na mesma forma que no evento.



**Figura 25.** Perfis descritos em uma área de relevo plano, na borda de uma baía (A. P1; B. P2 e D. P4) e em uma área de transição entre a baía e cordilheira (C. perfil MS-01 descrito na X RCC, que está localizado nas mesmas coordenadas do perfil P3). Na data da realização da campanha de campo não foi possível tirar foto mostrando o horizonte B do perfil P3 por causa do elevado nível freático (45 cm de profundidade em relação à superfície).



**Figura 26.** A. Detalhe dos nódulos de ferro no horizonte C do perfil P1. B. Nódulos de manganês no horizonte C do perfil P2.

As cores variam do cinza ao bruno escuro no horizonte A, brunadas ou preta no B e claras no C. Através do critério de cor e do acúmulo de Fe também evidenciado pela presença de nódulos, os horizontes B foram identificados em campo como espódicos, tanto no WRB como no SiBCS, de modo que os horizontes Bh(c) ou Bhs(c) têm cores que variam do preto ao bruno escuro e os horizontes Bs(c) com pelo menos uma cor composta pelos matizes 5YR ou 10YR, valor 3 ou 4 e croma 4 ou 6 (Tabela 5), exceto para o horizonte Btgn do perfil P3 que apresenta cor variegada composta por verde-acinzentado e preto. Os horizontes eluviais do perfil P3 apresentam coloração bruno-amarelada escura e bruno-amarelada.

Nos perfis P3 e P4, as transições planas entre os horizontes indicam o fluxo vertical ascendente/ descendente dominante do lençol freático (Figura 25.C e 25.D). Por outro lado, as transições predominantemente onduladas ou descontínuas entre os horizontes dos perfis P1 e P2 sugerem uma maior entrada de fluxo lateral de água nestes pontos intermediários do transepto (Figura 25.A e 25.B).

Os horizontes superficiais têm estrutura fraca pequena a média granular em função do conteúdo de matéria orgânica e da presença de raízes da vegetação gramínea, enquanto os horizontes B, C e E não possuem agregados, exceto para o horizonte Bstc do perfil P2 que possui uma estrutura fraca a moderada pequenos a médios blocos subangulares (Tabela 5).

Todos os perfis apresentam nódulos de ferro e manganês, de forma irregular e tamanho que varia de pequeno a grande (Tabela 5). Nos solos de baía (P1, P2 e P4), os nódulos estão principalmente nos horizontes B, mas também existem grandes nódulos isolados no horizonte C dos perfis P1 e P2 (Figura 26), enquanto o perfil P3 apresenta nódulos somente no horizonte E. Em campo, a quantidade dos nódulos foi identificada como muito pouca a pouca para a maioria dos horizontes, com exceção do horizonte Bsc do perfil P4, que apresenta a quantidade frequente de nódulos (Tabela 5). Vale ressaltar que os nódulos eram muito duros e inquebráveis com o uso das mãos. Porém, em laboratório, durante a preparação da fração terra fina, a maioria deles se fragmentou e, portanto, o teor de cascalho observado na granulometria não reflete a quantidade de nódulos observada em campo.

Os perfis P1 e P2 apresentam calhaus e/ou cascalho, que por sua vez são compostos por nódulos de ferro e manganês, em todos os horizontes B, exceto para os horizontes Bsc (P1) e Bh (P2) (Tabela 6). A fração areia predomina em todos os perfis e, consequentemente, a classe textural é a areia em todos os horizontes, com exceção do horizonte Bstc do perfil P2 e do horizonte Btgn do perfil P3, que apresentam classe textural de areia franca (Tabela 6). Dentre as frações de areia, a areia fina tem a maior participação, seguida da areia média.

**Tabela 6.** Granulometria dos perfis de solo da região do Pantanal Sul-mato-grossense.

Hor.	Frações da amostra total (g kg <sup>-1</sup> )			Composição granulométrica da terra fina (g kg <sup>-1</sup> )								
	Calhaus	Cascalho	Terra fina	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Areia total	Silte	Argila	Tex.
<b>Perfil P1 – relevo plano, área de baía, imperfeitamente drenado, elevação de 80 m</b>												
A	0	0	1000	11	29	457	429	39	965	22	12	Areia
Bhsc	0	36	964	16	29	354	534	30	963	21	16	Areia
Bsc	0	0	1000	24	25	271	602	40	962	17	21	Areia
Bhc	12	20	968	3	11	317	597	36	963	16	21	Areia
C	0	0	1000	0	9	218	694	63	985	6	9	Areia
<b>Perfil P2 – relevo plano, área de baía, imperfeitamente drenado, elevação de 80 m</b>												
A	0	0	1000	10	16	285	603	43	958	15	27	Areia
Bh	0	0	1000	6	26	209	655	56	952	10	38	Areia
Bhsc	0	23	977	5	22	235	615	72	950	12	38	Areia
Bhsc/E	0	32	968	12	29	238	605	45	929	7	64	Areia
Bstc	0	18	982	11	56	248	502	59	877	2	120	A. fran.
Bhc	0	53	947	4	40	258	594	45	941	9	49	Areia
C	0	0	1000	0	10	168	715	84	977	11	11	Areia
<b>Perfil P3 – relevo plano, transição entre baía e cordilheira, imperfeitamente drenado, elevação de 82 m</b>												
A1	0	0	1000	11	19	340	534	57	961	22	17	Areia
A2	0	0	1000	0	7	204	702	62	975	11	14	Areia
E1	0	0	1000	0	10	187	721	61	980	10	11	Areia
E2	0	0	1000	0	9	197	723	52	982	8	10	Areia
Bh	0	0	1000	0	7	163	711	75	956	7	37	Areia
Btgn	0	0	1000	0	15	148	673	55	892	9	99	A. fran.
<b>Perfil P4 – relevo plano, área de baía, imperfeitamente drenado, elevação de 80 m</b>												
A	0	0	1000	9	23	320	580	32	964	10	26	Areia
Bhs	0	0	1000	11	24	236	639	51	960	11	29	Areia
Bs1	0	0	1000	19	21	249	611	51	951	13	35	Areia
Bs2	0	0	1000	18	26	336	529	44	954	5	42	Areia
Bsc	0	0	1000	59	39	194	587	50	929	10	61	Areia
C	0	0	1000	1	12	264	641	66	983	7	9	Areia

Hor. – horizonte; Tex. – Textura; A. fran. – Areia franca.

Os horizontes Bsc do perfil P1 e Bsc do perfil P4 apresentaram cascalho em quantidade inferior a 1%, porém, optou-se por manter a descrição do campo com o subscrito "c", pois nódulos extremamente duros e inquebráveis foram identificados com o uso do tato, mas que se desfizeram após a preparação da fração de terra fina.

Não são observadas variações significativas entre as frações da terra fina ao longo dos horizontes de todos os perfis de solo de modo de indicar a variabilidade litológica causada pela deposição de diferentes sedimentos (Tabela 6). Observa-se um aumento absoluto dos teores de argila nos horizontes B em relação aos horizontes superficiais (Tabela 6), exceto para o perfil P1, visto que a localização dos perfis em relevo plano não é favorável à remoção lateral de argila dos horizontes superficiais.

#### 4.2. Atributos Químicos, Óxidos Pedogenéticos e Composição Elementar da Terra Fina

Os valores de pH em água são iguais ou superiores a 6,0 na maioria dos horizontes e aumentam em profundidade (Tabela 7). Os valores de pH em KCl, que são menores do que o pH na água para todos os horizontes, diminuem dos horizontes superficiais para os horizontes B e aumentam novamente nos horizontes C (Tabela 7). Portanto, os valores de  $\Delta$ pH, comumente usados para denotar a predominância da adsorção de cátions no complexo de troca, são mais negativos nos horizontes B do que nos horizontes superficiais (Tabela 7).

**Tabela 7.** Atributos químicos dos perfis de solo da região do Pantanal Sul-mato-grossense.

Hor.	pH (1:2,5)				Complexo sortivo				T	V	m	Sat Na	C org	Pasta saturada	Sais solúveis			
	H <sub>2</sub> O	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	S	H + Al		—%—	g kg <sup>-1</sup>	%	H <sub>2</sub> O	CE	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>		
					cmolc kg <sup>-1</sup>					25°C	mS cm <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>						
<b>Perfil P1 – relevo plano, área de baía, imperfeitamente drenado, elevação de 80 m</b>																		
A	6,0	5,2	-0,8	1,8	0,3	0,32	0,00	2,3	2,0	0,0	4,3	53	0	0	6,2	29	0,80	0,06 0,06
Bhsc	5,5	4,4	-1,1	0,9	0,1	0,17	0,07	1,2	1,8	0,1	3,0	39	7	2	2,1	26	0,30	0,02 0,03
Bsc	5,9	5,0	-0,9	0,6	0,1	0,10	0,05	0,9	0,7	0,0	1,6	55	0	3	0,8	23	0,26	0,01 0,02
Bhc	5,7	4,3	-1,4	1,1	0,2	0,26	0,08	1,6	0,7	0,1	2,3	69	6	4	0,5	20	0,30	0,02 0,02
C	6,0	4,7	-1,3	0,0	0,0	0,04	0,02	0,1	0,0	0,0	0,1	100	0	24	0,2	20	0,13	0,00 0,01
<b>Perfil P2 – relevo plano, área de baía, imperfeitamente drenado, elevação de 80 m</b>																		
A	6,6	5,6	-1,0	1,9	0,5	0,31	0,20	2,7	1,2	0,0	3,9	70	0	5	5,4	26	0,94	0,05 0,11
Bh	6,3	4,8	-1,5	1,5	0,5	0,46	0,22	2,6	1,8	0,0	4,4	59	0	5	3,3	23	0,63	0,03 0,08
Bhsc	6,6	5,0	-1,6	1,2	0,4	0,36	0,25	2,1	1,0	0,0	3,1	68	0	8	2,1	23	0,52	0,02 0,08
Bhsc/E	6,6	5,0	-1,6	2,0	0,8	0,54	0,40	3,6	1,7	0,0	5,3	68	0	8	2,5	25	0,62	0,03 0,1
Bstc	7,0	5,3	-1,7	6,9	2,9	0,64	1,20	11,5	1,8	0,0	13,3	87	0	9	2,1	45	0,18	0,01 0,05
Bhc	7,2	5,4	-1,8	2,6	0,9	0,47	0,49	4,5	0,7	0,0	5,2	86	0	9	0,8	31	0,15	0,01 0,03
C	7,2	5,7	-1,5	0,1	0,1	0,08	0,10	0,4	0,0	0,0	0,4	100	0	28	0,1	21	0,22	0,01 0,03
<b>Perfil P3 – relevo plano, transição entre baía e cordilheira, imperfeitamente drenado, elevação de 82 m</b>																		
A1	7,5	6,8	-0,7	2,9	0,6	0,14	0,02	3,7	0,3	0,0	4,1	90	0	0	7,7	28	0,82	0,03 0,01
A2	5,5	4,8	-0,7	0,7	0,1	0,09	0,01	0,9	0,7	0,0	1,6	55	0	1	1,1	22	0,46	0,02 0,01
E1	6,9	6,2	-0,7	0,4	0,1	0,07	0,01	0,6	0,0	0,0	0,6	100	0	2	0,2	22	0,38	0,01 0,01
E2	6,6	5,7	-0,9	0,2	0,1	0,07	0,01	0,4	0,0	0,0	0,4	100	0	3	0,7	22	0,29	0,01 0,01
Bh	7,9	6,3	-1,6	1,8	0,5	0,48	0,23	3,0	0,3	0,0	3,3	91	0	7	1,7	32	0,15	0,01 0,03
Btgn	7,7	5,7	-2,0	2,1	0,6	1,6	0,72	5,0	0,7	0,0	5,7	88	0	13	0,1	32	0,19	0,01 0,04
<b>Perfil P4 – relevo plano, área de baía, imperfeitamente drenado, elevação de 80 m</b>																		
A	5,8	5,1	-0,7	1,6	0,2	0,15	0,05	1,9	2,1	0,0	4,0	48	0	1	5,0	28	0,90	0,03 0,03
Bhs	5,8	4,6	-1,2	0,7	0,1	0,10	0,09	1,0	1,7	0,0	2,7	36	0	3	2,7	25	0,23	0,01 0,03
Bs1	6,2	5,1	-1,1	0,5	0,1	0,07	0,05	0,7	1,0	0,0	1,7	40	0	3	1,4	23	0,21	0,01 0,02
Bs2	6,2	4,9	-1,3	0,5	0,1	0,08	0,07	0,8	1,5	0,0	2,3	34	0	3	2,0	24	0,21	0,01 0,02
Bsc	6,3	5,2	-1,1	0,7	0,1	0,11	0,07	1,0	1,7	0,0	2,7	36	0	3	1,6	27	0,24	0,01 0,02
C	6,5	5,2	-1,3	0,0	0,0	0,04	0,02	0,1	0,0	0,0	0,1	100	0	24	0,1	24	0,12	0,00 0,01

Hor. – horizonte; S – soma de bases; T – capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V – saturação por bases, m – saturação por alumínio; Sat Na – saturação por sódio = (Na/T) · 100; C org – carbono orgânico; CE – condutividade elétrica.

Em relação ao complexo de troca, os cátions com maior participação são  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (Tabela 7), enquanto  $\text{Al}^{3+}$  não foi detectado ou está em quantidades muito baixas. A distribuição dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  segue os teores de C org e argila, para os horizontes A e B. O  $\text{K}^+$  e o  $\text{Na}^+$  acumulam-se principalmente no horizonte B imediatamente acima do horizonte C nos solos da baía, enquanto no P3 esses cátions apresentam maior concentração no horizonte B sobrejacente ao Btgn, de acúmulo de argila (Tabela 7).

Como foi observado na composição do complexo de troca, os valores S estão acima de 1,0  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para a maioria dos horizontes A e B avaliados, exceto para os horizontes Bsc (P1), A2 (P3) e Bs1 e Bs2 (P4) e, em geral, em todos os perfis os valores S variam de acordo com a distribuição de argila e C org em profundidade. Os valores de V% estão acima de 50% para todos os horizontes dos perfis P1, P2 e P3, exceto para o horizonte Bhsc do perfil P1, bem como para o horizonte C do perfil P4.

A saturação por sódio (Sat Na) aumenta em profundidade, atingindo o valor máximo de 24% nos perfis P1 e P4, de 28% no perfil P2 e de 13% no perfil P3 (Tabela 7). Consequentemente, os horizontes Bhsc, Bhsc/E, Bstc, Bhc do perfil P2 e os horizontes Bh e Btgn do perfil P3 têm caráter solódico, e os horizontes C dos perfis P1, P2 e P4 têm caráter sódico, de acordo com o SiBCS (SANTOS et al., 2018).

Os horizontes superficiais apresentam teores ligeiramente maiores de  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  solúveis em relação aos horizontes B, de modo que nos horizontes A, os teores de  $\text{K}^+$  variam de 0,02 a 0,06  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e de  $\text{Na}^+$  de 0,01 a 0,11  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , enquanto nos horizontes B, os teores de  $\text{K}^+$  variam de 0,01 a 0,03  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e  $\text{Na}^+$  de 0,01 a 0,10  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Tabela 7). Da mesma forma, a condutividade elétrica diminui em profundidade devido à maior concentração de sais na superfície, de forma que os horizontes apresentam condutividade elétrica predominantemente: A - maior que 0,8  $\text{mS cm}^{-1}$  25°C, B - menor que 0,6  $\text{mS cm}^{-1}$  25 °C e C – menor que 0,2  $\text{mS cm}^{-1}$  25 °C (Tabela 7).

De modo geral, há uma diminuição de C org em profundidade nos perfis, no entanto, três horizontes B mostram um aumento do conteúdo de C org em relação aos horizontes sobrejacentes (Tabela 7). Os valores são de 0,4  $\text{g kg}^{-1}$  no horizonte Bhs/E em relação ao horizonte Bhsc do perfil P2, de 1,0  $\text{g kg}^{-1}$  no horizonte Bh em relação ao horizonte E2 do perfil P3 e 0,6  $\text{g kg}^{-1}$  no horizonte Bs2 em relação ao horizonte Bs1 do perfil P4 (Tabela 7).

Os elementos predominantes na composição da terra fina são  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , exceto para o perfil P3 em que os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  são maiores que de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Tabela 8). Os teores de  $\text{SiO}_2$  são predominantemente acima de 800  $\text{g kg}^{-1}$  (Tabela 8) e conforme os teores de argila aumentam em profundidade, os teores de  $\text{SiO}_2$  diminuem. Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  seguem as variações dos teores de argila em profundidade e são maiores nos horizontes Bs(c) e Bhs(c) em relação aos demais, de forma que nestes os teores variam de 32,7 a 181,0  $\text{g kg}^{-1}$ , enquanto nos horizontes A variam de 2,4 a 31,1  $\text{g kg}^{-1}$ , nos Bh(c) de 7,2 a 32,7  $\text{g kg}^{-1}$  e nos C de 1,4 a 2,4  $\text{g kg}^{-1}$  (Tabela 8). Os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  são maiores nos horizontes B, variando de 11,1 a 42,1  $\text{g kg}^{-1}$ , em comparação com os horizontes A, que variam de 11,7 a 14,7  $\text{g kg}^{-1}$  (Tabela 8).

A partir da diferença entre os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  obtidos por FRX e pelo ataque sulfúrico, observa-se que há um aumento nos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  que não estão atrelados a fração argila nos horizontes B em relação aos horizontes superficiais de todos os perfis, exceto os P1 (Tabela 8).

Os teores de  $\text{TiO}_2$  não mostram grandes variações entre os horizontes de todos os perfis a fim de indicar alguma descontinuidade litológica, exceto para o horizonte Btgn do perfil P3 que apresenta 2,7  $\text{g kg}^{-1}$  de  $\text{TiO}_2$  enquanto o horizonte sobrejacente apresenta 1,7  $\text{g kg}^{-1}$ . Porém, não necessariamente essa variação é devido à descontinuidade do material de origem, mas ao acúmulo de argila no horizonte Btgn (Tabela 8). Os conteúdos de  $\text{MnO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  são menores que 1,0  $\text{g kg}^{-1}$  na maioria dos horizontes (Tabela 8). Observa-se que os teores de  $\text{MnO}_2$  são maiores nos horizontes B com presença de nódulos (Bhsc e Bsc) e no horizonte Btgn em relação

aos demais, e que os valores de  $P_2O_5$  são maiores nos horizontes Bsc do que nos demais horizontes (Tabela 8).

**Tabela 8.** Óxidos obtidos por FRX, óxidos pedogenéticos,  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$  (diferença entre FRX e ataque sulfúrico) dos perfis de solo da região do Pantanal Sul-mato-grossense.

Horizonte	FRX					$Fe_o$	$Al_o$	$Mn_o$	$Fe_d$	$Mn_d$	FRX – ataque sulfúrico					
	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$	$MnO_2$	$P_2O_5$					$Fe_o/Fe_d$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$			
						$g\ kg^{-1}$						$g\ kg^{-1}$				
<b>Perfil P1 – relevo plano, área de baía, imperfeitamente drenado, elevação de 80 m</b>																
A	961,0	11,8	24,5	1,2	0,9	0,6	13,3	0,1	0,9	14,9	0,6	0,9	8,8 1,5			
Bhsc	946,9	11,6	39,3	1,2	0,6	0,4	10,1	0,1	0,4	31,2	0,4	0,3	9,6 6,3			
Bsc	911,8	11,3	74,2	1,2	0,5	1,0	4,9	0,1	0,3	65,0	0,3	0,1	7,3 2,2			
Bhc	965,0	16,6	16,7	1,2	0,2	0,3	3,1	0,1	0,2	7,5	0,1	0,4	7,6 0,7			
C	988,7	8,8	1,4	0,9	0,0	0,2	0,2	0,0	<LD	0,8	<LD	0,3	6,8 0,0			
<b>Perfil P2 – relevo plano, área de baía, imperfeitamente drenado, elevação de 80 m</b>																
A	973,3	14,7	9,9	1,5	0,3	0,3	3,1	0,1	0,3	5,0	0,2	0,6	10,7 0,0			
Bh	960,0	18,6	18,2	1,6	1,3	0,3	7,1	0,1	1,3	8,3	1,0	0,9	8,6 1,2			
Bhsc	948,5	15,9	32,7	1,6	1,0	0,3	5,1	0,1	0,9	26,6	0,7	0,2	7,9 3,7			
Bhsc/E	896,8	19,2	80,3	1,6	1,7	0,4	7,8	0,1	1,1	61,6	1,3	0,1	8,2 11,3			
Bstc	792,8	21,4	181,0	1,4	2,1	1,3	16,5	0,2	1,4	93,4	1,2	0,2	6,4 26,0			
Bhc	946,3	18,8	32,7	1,4	0,5	0,3	3,2	0,1	0,4	12,3	0,3	0,3	9,8 1,7			
C	984,7	11,3	2,4	1,3	0,1	0,2	0,6	0,0	0,0	0,8	<LD	0,8	8,3 0,4			
<b>Perfil P3 – relevo plano, transição entre baía e cordilheira, imperfeitamente drenado, elevação de 82 m</b>																
A1	981,8	12,7	3,4	1,4	0,4	0,3	0,7	0,1	0,5	0,7	0,2	1,0	8,7 1,4			
A2	984,0	11,8	2,4	1,3	0,3	0,2	0,3	0,0	0,3	0,4	0,1	0,8	8,8 0,0			
E1	985,0	11,2	2,0	1,2	0,4	0,2	0,2	0,0	0,4	0,3	0,2	0,7	8,2 0,0			
E2	985,0	11,6	1,8	1,3	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0,3	9,6 0,0			
Bh	968,2	22,3	7,2	1,7	0,3	0,3	0,5	0,1	0,2	1,1	0,1	0,5	8,3 0,2			
Btgn	937,4	42,1	15,4	2,7	2,1	0,3	0,9	0,2	1,9	1,7	1,5	0,5	12,1 0,0			
<b>Perfil P4 – relevo plano, área de baía, imperfeitamente drenado, elevação de 80 m</b>																
A	954,8	11,7	31,1	1,2	0,7	0,5	10,6	0,1	0,6	23,2	0,5	0,5	6,7 7,1			
Bhs	942,7	11,4	43,5	1,3	0,7	0,4	10,6	0,1	0,5	35,0	0,5	0,3	7,4 2,5			
Bs1	913,6	11,1	73,1	1,3	0,3	0,6	4,3	0,0	0,2	60,2	0,1	0,1	7,1 8,1			
Bs2	916,8	11,3	69,7	1,3	0,4	0,5	5,3	0,0	0,2	57,9	0,2	0,1	7,3 1,7			
Bsc	809,9	12,3	173,7	1,2	1,0	1,9	13,2	0,1	0,7	136,0	0,6	0,1	7,3 13,7			
C	986,6	10,3	1,7	1,2	0,0	0,2	0,2	0,0	<LD	0,4	<LD	0,5	7,3 0,0			

<LD – Abaixo dos limites de detecção.

Em todos os perfis há um aumento dos conteúdos de  $Fe_o$  e  $Fe_d$  nos horizontes B em relação aos horizontes superficiais, exceto para  $Fe_o$  no perfil P1. A relação  $Fe_o/Fe_d$  é predominantemente menor ou igual a 0,3 nos horizontes B com presença de nódulos, enquanto nos demais horizontes essa relação é maior ou igual a 0,5 (Tabela 8). Esses valores indicam que nos horizontes B com nódulos há uma maior participação das formas mais cristalinas dos óxidos de ferro, enquanto nos demais horizontes predominam as formas menos cristalinas.

Os teores de alumínio expressos como  $Al_o$ , presumivelmente nas formas de baixa cristalinidade, são menores ou iguais a  $0,2\ g\ kg^{-1}$  (Tabela 8). Nos perfis de solo adjacentes a área da baía, os horizontes B possuem o mesmo valor  $Al_o$  ou decréscimo em relação ao horizonte superficial, exceto para o horizonte Bstc do perfil P2, que apresenta uma variação de  $0,1\ g\ kg^{-1}$  em relação ao horizonte A (Tabela 8). O horizonte Bh do perfil P3, por outro lado, varia em  $0,1\ g\ kg^{-1}$  em relação ao horizonte eluvial sobrejacente.

Há um aumento em profundidade do conteúdo de Mn nas formas de baixa cristalinidade ( $Mn_o$ ) e nas formas de alta e baixa cristalinidade ( $Mn_d$ ) em todos os perfis, exceto no perfil P1 (Tabela 8). Nos perfis P2 e P4, os teores mais elevados de  $Mn_o$  e  $Mn_d$  nos horizontes B estão relacionados a presença de nódulos e a variabilidade do nível do lençol freático. No

perfil P3, esse aumento é observado no horizonte Btgn, com maior teor de argila e consequentemente de menor permeabilidade, o que favorece o acúmulo de Mn neste horizonte.

#### 4.3. Carbono Orgânico e Composição Elementar dos Nódulos

O C org dos nódulos varia de 1,5 a 3,0 g kg<sup>-1</sup> nos horizontes com feições espódicas e é predominantemente superior ou muito próximo ao valor observado na terra fina de seus respectivos horizontes (Tabela 9). Os horizontes eluviais do perfil P3 têm teores de C org negativos (Tabela 9). No entanto, deve-se observar que devido ao alto teor de manganês (Tabela 9), que compete com C org na quantificação por oxidação com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,0667 mol L<sup>-1</sup>, os teores de C org podem ser subestimados pela presença deste elemento.

**Tabela 9.** Óxidos obtidos por FRX e carbono orgânico dos nódulos presentes nos perfis de solo da região do Pantanal Sul-mato-grossense.

Horizontes	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C org
	g kg <sup>-1</sup>						
P1 - Bhsc	610,1	12,7	369,1	1,5	2,9	3,7	2,9
P1 - Bhc	826,0	20,0	149,7	1,7	0,9	1,7	2,7
P2 - Bhsc	784,5	18,1	189,6	1,8	5,1	0,9	2,0
P2 - Bhsc/E	780,8	18,9	193,8	1,9	3,9	0,7	3,0
P2 - Bstc	601,9	15,7	374,2	1,6	3,1	3,5	1,7
P2 - Bhc	771,9	14,0	189,9	1,7	20,8	1,7	2,2
P3 - E1	868,2	13,6	41,4	1,6	74,9	0,3	-0,3*
P3 - E2	862,6	13,7	56,8	1,6	64,8	0,5	-0,3*
P4 - Bs1	389,0	12,7	590,7	1,2	1,3	5,1	1,5
P4 - Bs2	438,9	13,0	540,4	1,3	1,8	4,6	1,8
P4 - Bsc	529,9	11,3	450,0	1,2	3,2	4,4	1,6

\* Os valores negativos de C org nos nódulos é devido ao fato do manganês competir com C org na oxidação por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,0667 mol L<sup>-1</sup>, portanto, os valores C org podem ser subestimados na presença desse elemento.

Na composição dos nódulos dos horizontes B, os óxidos predominantes são SiO<sub>2</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, enquanto nos nódulos dos horizontes E do perfil P3 são os óxidos de SiO<sub>2</sub> e MnO<sub>2</sub> (Tabela 9). Além disso, vale ressaltar que os nódulos presentes nos horizontes E do perfil P3 possuem teores de SiO<sub>2</sub> relativamente maiores em comparação com os nódulos dos horizontes B, de modo que nos horizontes E os teores de SiO<sub>2</sub> estão em torno de 850 g kg<sup>-1</sup> e nos horizontes B os teores são predominantemente abaixo de 700 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 9).

Os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de todos os nódulos são superiores aos níveis observados na terra fina de seus respectivos horizontes, o que indica o acúmulo desses elementos nos mesmos, enquanto os teores de SiO<sub>2</sub> são muito inferiores nos nódulos em comparação com a terra fina (Tabela 9). Nos nódulos dos horizontes B, os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> variam respectivamente de 149,7 a 590,7 g kg<sup>-1</sup>, de 0,9 a 20,8 g kg<sup>-1</sup> e de 0,7 a 5,1 g kg<sup>-1</sup>, enquanto nos horizontes eluviais variam de 411,4 a 56,8 g kg<sup>-1</sup>, de 64,8 a 74,9 g kg<sup>-1</sup> e de 0,3 a 0,5 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 9). Também deve ser mencionado que há um maior acúmulo de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nos horizontes B do perfil P4 em relação aos demais perfis de solo (Tabela 9).

Os teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> são relativamente próximos aos observados na terra fina, assim como os teores de TiO<sub>2</sub> (Tabela 9), portanto, não há acúmulo desses elementos nos nódulos. Os conteúdos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiO<sub>2</sub> variam de 11,3 a 20,0 g kg<sup>-1</sup> e de 1,2 a 1,9 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 9).

#### 4.4. Classificação dos Solos

Segundo o SiBCS (SANTOS et al., 2018), os horizontes B são identificados como horizontes espódicos, pois atendem aos seguintes critérios: cor dentro das especificações para os diferentes tipos de horizontes espódicos, espessura maior que 2,5 cm, acúmulo de Fe e Al (obtido pela diferença dos métodos FRX e ataque sulfúrico) com baixo teor de matéria orgânica.

Embora o SiBCS defina que deve haver acúmulo de alumínio nos horizontes espódicos, o sistema não destaca quais análises de solo devem ser utilizadas para tal classificação (SANTOS et al., 2018). Embora os teores de Al<sub>o</sub> não reflitam tal acúmulo nos solos, considera-se que a diferença obtida entre os teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtidos pela FRX e pelo ataque sulfúrico evidencia o acúmulo deste elemento fora da fração argila nos horizontes B com a presença de nódulos nos perfis P1, P2 e P4, enquanto o conteúdo Al<sub>o</sub> do horizonte Bh do perfil P3 apresenta um ligeiro aumento em relação ao horizonte sobrejacente. O acúmulo de Fe nos horizontes B de todos os solos é evidenciado pelos teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total, Fe<sub>d</sub>, Fe<sub>o</sub> e pela diferença entre o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtido pela FRX e pelo ataque sulfúrico.

Ressalta-se também que embora a definição de horizonte espódico preveja o acúmulo de matéria orgânica e que haja uma diminuição dos teores de C org nos horizontes B desses solos, o SiBCS não define um valor mínimo de C org para tal acumulação e os horizontes atendem à definição do horizonte espódico de Bs de “*acúmulo iluvial de material amorfó, principalmente alumínio e ferro combinado com baixos teores de matéria orgânica*” (SANTOS et al., 2018).

A sequência de horizontes observada nos perfis é A, B espódico, C ou A, E, B espódico e C em menos de 200 cm. Assim, os quatro perfis são classificados como Espodossolos em nível de ordem segundo o SiBCS, e de acordo com os tipos de horizontes espódicos imediatamente subjacentes ao A ou E, os perfis são classificados no nível da subordem como: Humilúvicos - Bh subjacente ao A (perfis P2 e P3) e Ferri-humilúvicos - Bhs subjacente ao A ou E (perfis P1 e P4) (SANTOS et al., 2018).

No nível de grande grupo, os Espodossolos são classificados como Hidromórficos quando apresentam o horizonte B espódico a uma profundidade menor ou igual a 200 cm a partir da superfície, permanecem saturados com água em um ou mais horizontes dentro de 100 cm a partir da superfície do solo durante algum tempo na maioria dos anos e devem apresentar pelo menos uma das seguintes características: (i) horizonte H hístico; (ii) horizonte Eg e/ou áreas de acumulação de óxidos de Fe e Mn no horizonte E ou no B espódico dentro de 100 cm a partir da superfície (SANTOS et al., 2018). Diante disso, somente os solos de baía, por apresentarem mosqueados e nódulos de Fe e Mn nos horizontes espódicos se classificam como hidromórficos, ao passo que o perfil P3, que somente apresenta dois nódulos de Mn no horizonte E, em proporção menor que 1% de sua massa, e tampouco apresenta os horizontes H hístico ou Eg, se classifica como Órtico. Deve ser reforçado que apesar do nível freático a 45 cm de profundidade em relação a superfície do solo no perfil P3 na data da coleta, esse perfil não apresenta em sua morfologia às características definidas no SiBCS para ser classificado como Hidromórfico.

No nível de sub-grupo, os solos da área da baía foram classificados como típicos e o perfil P3 foi classificado como arênico devido à textura arenosa da superfície até o limite superior do horizonte B (85 a 105 cm profundidade).

No WRB (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015), os horizontes B não atendem aos critérios para *spodic horizon*, pois valores de pH em água estão acima de 5,9 e/ou C org estão abaixo de 5,0 g kg<sup>-1</sup>. Apesar de apresentarem alguma iluviação de argila, os horizontes B (exceto os horizontes Bstc do perfil P2 e Btgn do perfil P3) também não atendem aos critérios para *argic* e para *natic horizon*, pois estes horizontes diagnósticos devem apresentar textura de areia franca ou mais fina e teor de argila maior ou igual a 8%, bem como para *cambic horizon*.

que deve apresentar textura de francoarenosa ou mais fina. Os horizontes B também não atendem o critério para *nitic horizon*, horizonte diagnóstico que deve apresentar teor de argila maior ou igual a 30%. E, os horizontes B não se enquadram nos critérios de *plintic horizon* por não apresentarem 15% ou mais nódulos ou concreções de Fe.

Os horizontes Bstc do perfil P2 e Btgn do perfil P3 atendem os atributos diagnósticos para *argic horizon* relacionados a classe textural (areia franca ou mais fina com mais fina com teor de argila maior ou igual a 8%), espessura (maior que 7,5 cm e mais que 10% da espessura dos horizontes minerais sobrejacentes), aumento do teor de argila absoluto de mais de 4% em relação ao horizonte de textura mais grosseira os quais apresentam menos de 10% de teor de argila, ausência de descontinuidade litológica entre ele e o horizonte de textura mais grosseira, dentre outros critérios (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015). Além disso, esses horizontes não atendem os critérios definidos para *natic horizon* relacionados ao desenvolvimento da estrutura.

Os perfis P2 e P3, apesar de apresentarem o *argic horizon*, não se classificam como *Planosols*. No caso do perfil P2 a transição entre horizontes não permite a identificação de mudança textural abrupta requerida para identificação da ordem dos *Planosols* e o perfil P3 não apresenta *stagnic properties* de maneira suficiente para atender esta classe. O perfil P2 atende a sessão de controle para ordem dos *Stagnosols*, apresenta *stagnic properties* e cores oximórficas e redoximórficas em uma área maior que 50% da camada, bem como apresenta condições redutoras por algum tempo durante o ano na maior parte do perfil. Desse modo, os perfis P1, P3 e P4 são classificados como *Arenosols* por apresentarem textura arenosa até 100 cm de profundidade e por não possuírem horizontes diagnósticos nesta sessão de controle, enquanto o perfil P2 se classifica como *Stagnosol*.

Destaca-se que apesar das condições de estagnação de água nos perfis P1, P3 e P4, eles não se classificam como *Stagnosols* por não apresentarem *stagnic properties* associadas a cores redoximórficas e cores oximórficas em 50% ou mais da área total de uma camada maior ou igual a 50 cm, como também não atendem o qualificador *stagnic* por não apresentarem uma camada maior ou igual a 25 cm, a 75 cm ou menos de profundidade, com *stagnic properties* e cores redoximórficas e oximórficas em 25% ou mais da área total.

Todos os perfis por apresentarem uma camada maior ou igual a 20 cm de espessura com percentual de Mg + Na maior ou igual a 15% e Sat Na maior ou igual a 6% e iniciando em menos de 100 cm da superfície do solo atendem o qualificador *sodic*.

Desse modo, as classificações dos perfis segundo o WRB são: P1 – Sodic Arenosol; P2 – Sodic Stagnosol; P3 – Sodic Arenosol e P4 – Sodic Arenosol.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Pedoambiente, Morfologia e Granulometria dos Perfis de Solo

Os solos com feições espódicas ocorrem em áreas muito específicas e condições restritas no Pantanal da Baixa Nhecolândia e não em grandes extensões como diferentes publicações e mapas de solos deste ambiente indicam os Espodossolos (PROJETO RADAMBRASIL, 1982; FERNANDES et al., 2007; SANTOS et al., 2011). Diante disso, o mapa de solos publicado pelo IBGE (2019c) corrobora as observações realizadas em campo, de forma que não indica a ocorrência de Espodossolos neste ambiente na definição de unidades de mapeamento, mas associados a outras classes de solos.

Os perfis ocorrem numa área adjacente a uma baía e na zona de transição entre a baía e a cordilheira, o que denota a importância do lençol freático nestes pontos da paisagem para a formação do horizonte subsuperficial com feições espódicas, visto que este atua como uma barreira física e evita a descida em profundidade de Fe e C org. Além disso, os perfis dos solos estudados mostram que a posição na paisagem influencia fortemente a sequência de horizontes e a topografia das transições entre eles, a profundidade do *solum*, a presença de mosqueados e a formação de nódulos. A maior restrição de drenagem nos perfis adjacentes à área da baía (P1, P2 e P4) impede a formação e desenvolvimento do horizonte E, assim como a oscilação do nível do lençol freático promove a formação de mosqueados e nódulos de Fe e Mn. Na transição entre a baía e a cordilheira, o solo apresenta um horizonte E espesso, mosqueados menos distintos e nódulos em menor quantidade (P3). Os perfis de solo localizados nos pontos de maior (P3) e menor (P4) elevação do transecto têm transições predominantemente planas, enquanto os demais apresentam transições descontínuas e onduladas.

Ao longo do transecto, a formação do horizonte E começa no perfil P2 e avança lateralmente para o perfil P3. Neste trecho da paisagem, a estabilidade do lençol freático no topo do horizonte C durante a maior parte do ano é indicada pela topografia plana entre os horizontes B e C e pela menor ocorrência ou abstenção de mosqueados no perfil.

Em hidrosequências de Podzols na planície litorânea brasileira, Buurman, Vidal-Torrado, Martins (2013) e Lopes-Mazzetto et al. (2018) também correlacionaram a presença de mosqueados, a topografia das transições entre horizontes e o desenvolvimento do horizonte E com o fluxo de água no perfil. Nos dois estudos mencionados, os Podzols sob drenagem imperfeita apresentaram transições predominantemente onduladas ou descontínuas entre o horizonte espódico e o sobrejacente, enquanto os solos de drenagem mais restrita tiveram transições predominantemente planas. Em solos sob drenagem imperfeita, Lopes-Mazzetto et al. (2018) observaram mosqueados no horizonte B devido à precipitação de óxidos de Fe, enquanto os solos de drenagem restrita apresentaram ausência de mosqueados e baixo teor de Fe. De acordo com Buurman, Vidal-Torrado, Martins (2013), a conversão do horizonte espódico em horizonte E inicia-se com o surgimento de áreas de depleção de matéria orgânica devido à intensa atividade biológica, de forma que o espessamento E está diretamente associado à variação do nível do lençol freático.

Os nódulos de Fe e Mn nos perfis, provavelmente, não são derivados de condições pretéritas ou de origem sedimentar; considerando que com a estagnação da água que ocorre durante a estação chuvosa no Pantanal, o  $Fe^{3+}$ , o  $Mn^{3+}$  e o  $Mn^{4+}$  presentes nos nódulos mudariam para a forma reduzida e migrariam na solução do solo em função do potencial redox. Assim, a formação de nódulos na zona de flutuação do lençol freático, que ocorre principalmente nos horizontes B dos solos de baía, nos horizontes C dos perfis P1 e P2, e nos horizontes E do perfil P3, se dá a partir da intermitência da condição de inundação sazonal e evidencia a atuação do processo de redoximorfismo (VEPRASKAS, 2015).

Em condições de prolongada saturação de água, em que a disponibilidade de O<sub>2</sub> para a respiração é reduzida, outros íons são usados como aceptores finais de elétrons para atender à demanda biológica. Em função disso, à medida que o potencial redox é reduzido, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>3+</sup> e Mn<sup>4+</sup>, NO<sup>3-</sup>, sulfetos, sulfatos, produtos da dissimilação da matéria orgânica e H<sup>+</sup> presentes na solução do solo são consumidos na respiração anaeróbia (BARTLETT & JAMES, 1993). Na forma reduzida, os íons Fe<sup>2+</sup> e Mn<sup>2+</sup> migram na solução do solo de acordo com o gradiente redox e precipitam nas zonas oxidadas, como no interior de agregados, poros, raízes ou conforme o lençol freático é rebaixado. Quando o nível do lençol freático é oscilante, o movimento do Fe ocorre em fluxos sazonais, permitindo ocasionalmente a formação do horizonte plácico (KÄMPF & CURI, 2012).

A presença de nódulos nos horizontes com feições espódicas foi previamente verificada durante a campanha de campo da X Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012). É importante destacar a manutenção do Fe nos sedimentos da Formação Pantanal, que apresentam feições ferruginosas (GODOI et al., 2001), é favorecida pelo relevo substancialmente plano em que a lixiviação ou remoção lateral deste elemento é inviável (ASSINE, 2005). Além disso, deve-se mencionar que as feições ferruginosas em materiais da Formação Pantanal estão presentes em áreas não inundáveis e foram formadas em condições climáticas diferentes da atual, possivelmente no Quartenário (GODOI et al., 2001).

Os solos adjacentes às lagoas da bacia do Pantanal são rasos e sua gênese é fortemente influenciada pelas condições restritas de drenagem na estação chuvosa e pela natureza dos sedimentos. Além disso, a estação seca e a influência das águas lagoas levam a processos pedogenéticos peculiares neste ambiente (FURQUIM et al., 2010; 2017; ANDRADE et al., 2020), especialmente quando comparados aos solos classificados como Espodossolos no SiBCS e aos Podzols descritos na literatura (BEYER, 1996; BUURMAN, VIDAL-TORRADO, MARTINS, 2013; FERRO-VÁZQUEZ et al., 2014; VALERIO, MCDANIEL, GESSLER, 2016; ISHIDA et al., 2018; SILVA NETO et al., 2018; LOPES-MAZZETTO et al., 2018; TADINI et al., 2018; RÊGO et al., 2019; SCHIAVO et al., 2020; BROCK et al., 2020).

De modo geral, os solos com feições espódicas do Pantanal se assemelham em relação à morfologia a Espodossolos formados em condições hidromórficas descritos na planície litorânea e na planície amazônica, mas não são comuns descrições de solos com presença de nódulos (BUURMAN, VIDAL-TORRADO, MARTINS, 2013; LOPES-MAZZETTO et al., 2018; SILVA NETO et al., 2018; TADINI et al., 2018; SCHIAVO et al., 2020). Normalmente, esses solos apresentam a sequência de horizontes A ou H, com abstenção ou pouco desenvolvimento do horizonte E, o horizonte espódico e os horizontes C, às vezes o horizonte espódico está na forma consolidada, o ortstein, bem como apresentam a sequência de cores escuras no horizonte A, cromadas ou pretas no horizonte B e cores claras nos horizontes C e E. Devido à textura arenosa, o grau de desenvolvimento das estruturas observadas nos horizontes dos Espodossolos é fraco ou ausente.

A textura arenosa é uma característica recorrente nos Espodossolos dos diferentes pedoambientes brasileiros (SCHAFFER et al., 2002; SIMAS et al., 2005; BUURMAN, VIDAL-TORRADO, MARTINS, 2013; SILVA NETO et al., 2018; ISHIDA et al., 2018; TADINI et al., 2018; LOPES-MAZZETTO et al., 2018; RÊGO et al., 2019; SCHIAVO et al., 2020), assim como nos Podzols de regiões de clima temperado ou boreal (BEYER, 1996; FERRO-VÁZQUEZ et al., 2014; VALERIO, MCDANIEL, GESSLER, 2016; BROCK et al., 2020). A predominância da fração areia fina reflete a granulometria mais fina do material de origem e foi previamente observada neste ambiente por Schiavo et al. (2012) e na X Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012).

Embora o Pantanal seja uma grande bacia sedimentar, os solos examinados não apresentam evidências, com base na variação das frações granulométricas ao longo dos perfis, de deposição de diferentes sedimentos. Ressalta-se também que o perfil MS-01 descrito na ocasião da X Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012), na mesma localização do perfil P3 do presente estudo, não apresentou mineralogia que diferenciasse o material de origem dos horizontes E e Btgn. Ressalta-se ainda que a micromorfologia do horizonte Btgn do perfil MS-01 indicou revestimentos e preenchimentos de argila iluvial, bem como hiporevestimento de Fe nos poros (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012).

Assim, o ligeiro aumento no teor de argila nos horizontes B dos solos estudados pode ser atribuído ao processo de iluviação. Esta não é uma característica restrita ao ambiente do Pantanal, mas também está presente em outros ambientes sedimentares brasileiros, como nas planícies litorânea (SILVA NETO et al., 2018) e nos tabuleiros costeiros (RÊGO et al., 2019; SCHIAVO et al., 2020). Este acúmulo também foi observado por Guillet, Rouiller, Souchier (1975) em Podzols da França, bem como por Liu & Chen (2004) em Podzols de duas florestas subalpinas de Taiwan.

## 5.2. Atributos Químicos, Óxidos Pedogenéticos e Composição Elementar da Terra Fina

De modo geral, horizontes espódicos de diferentes pedoambientes brasileiros costumam apresentar valores de pH em água em torno de 5,0, valor S abaixo de 1,0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, C org acima de 5 g kg<sup>-1</sup> e Al<sub>o</sub> acima de 1,0 g kg<sup>-1</sup> de acordo com o conjunto de 385 horizontes espódicos analisados por Menezes, Fontana, Anjos (2018). Portanto, os atributos químicos dos horizontes com feições espódicas do Pantanal destacam a singularidade deste ambiente em relação aos demais, principalmente devido ao valor S acima de 1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, pH em água predominantemente maior ou igual a 6,0 e baixos teores de C org e Al<sub>o</sub>.

Os altos valores de bases trocáveis comparados a outros B espódicos, a ocorrência do caráter solódico e sódico e o pH neutro a alcalino nos solos são dados pela influência da baía. De acordo com Barbiéro et al. (2002), as baías de região têm águas sódicas/cálcicas (às vezes potássicas) e carbonatadas/ cloradas. Além disso, a estagnação do lençol freático nos perfis adjacentes à baía (P1, P2 e P4) e a presença do horizonte verde com menor permeabilidade na zona de transição entre a baía e as cordilheiras (P3), desfavorecem a lixiviação de cátions trocáveis. De acordo com Fernandes et al. (1999), esse horizonte de baixa permeabilidade e coloração esverdeada ocorre frequentemente de 1 a 4 m de distância das cordilheiras.

Tais características mencionadas dos solos do Pantanal são antagônicas às três principais teorias voltadas para o processo de podzolização: a teoria da complexação, a teoria da proto-imogolita e teoria da metal-redução, as quais requerem condições de acidólise para liberação de Fe e Al de minerais primários ou de argilossilicatos, bem como baixos teores de cátions que promoveriam a dispersão da matéria orgânica para que ocorram (DE CONINCK, 1980; FARMER, RUSSELL, BERRROW, 1980; FARMER, 1982; ANDERSON et al., 1982; FARMER et al., 1985; CHESWORTH & MACIAS-VASQUEZ, 1985; LUNDSTRÖM, VAN BREEMEN, BAIN, 2000; FARMER & LUMSDON, 2001; SAUER et al., 2007). Adicionalmente, conforme as teorias da complexação e da metal-redução é necessária a atuação da matéria orgânica, o que torna as duas teorias contraditórias neste ambiente pelos baixíssimos teores de C org observados. Já a teoria da proto-imogolita, a abstenção ou teores ínfimos de Al<sub>o</sub> nos horizontes B não justificam sua aplicação, visto que a imogolita e a alofana, óxidos de Al encontrados em maiores quantidade nos horizontes Bs e principais agentes de mobilização do Fe e Al, segundo esta teoria, são identificadas nesta análise (COELHO et al., 2010b).

Conforme a teoria da complexação, a matéria orgânica humificada oriunda dos resíduos vegetais presentes na superfície do solo complexa óxidos de Fe e Al também presentes no horizonte superficial e, com a água de infiltração e o meio de elevada permeabilidade, os quelatos formados são translocados para subsuperfície, precipitando a partir de diferentes mecanismos de imobilização e levando a formação do horizonte espódico (LUNDSTRÖM, VAN BREEMEN, BAIN, 2000; SAUER et al., 2007). Segundo a teoria da metal-redução, o  $Fe^{3+}$  presente nos óxidos é reduzido pela presença de substâncias orgânicas redutoras liberadas da serrapilheira de diferentes espécies, sendo formados em seguida complexos férrico-orgânicos que podem translocar e levar a formação do horizonte espódico (SAUER et al., 2007). A teoria da proto-imogolita considera que a mobilização dos cátions polivalentes está associada à formação de ortossilicatos móveis hidróxi-Al-Si-Fe (proto-imogolita), com cargas positivas, originados pelo intemperismo dos horizontes A e E (FARMER, RUSSELL, BERROW, 1980; FARMER, 1982; ANDERSON et al., 1982; FARMER et al., 1985; FARMER & LUMSDON, 2001). Com a ação da água, esses silicatos são translocados e precipitam no horizonte B como óxidos de Fe ou Al, ou na forma de materiais tipo imogolita. Em etapa posterior, os ácidos orgânicos seriam mobilizados e seu acúmulo no horizonte B seria devido à adsorção dos ácidos orgânicos carregados negativamente na fração inorgânica.

Dito isso, comparados aos horizontes espódicos dos Podzols desenvolvidos no clima temperado, os horizontes do Pantanal se destacam ainda mais, já que os horizontes espódicos dos Podzols comumente apresentam maiores teores de C org, bem como pH em água abaixo de 5,0. Em um ambiente de planície no noroeste da Alemanha, os horizontes espódicos avaliados por Beyer (1995) apresentaram teores de C org predominantemente acima de 10 g  $kg^{-1}$ , chegando a 80 g  $kg^{-1}$ . Brock et al. (2020) relatou teores de C org em horizontes espódicos da Holanda, predominantemente acima de 10 g  $kg^{-1}$ , atingindo o valor máximo de 78,1 g  $kg^{-1}$ , enquanto os valores de pH em água foram abaixo de 4,0. Na costa da Galícia, horizontes espódicos estudados por Ferro-Vasquez et al. (2014) apresentaram valores de pH em água abaixo de 5,0 e C org entre 17,8 e 38,6 g  $kg^{-1}$ .

A respeito a gênese por podzolização de horizontes espódicos na região do Pantanal, não há na literatura estudos conclusivos. Ressalta-se que na região da Baixa Nhecolândia, as únicas referências de micromorfologia, uma análise extremamente relevante na identificação da podzolização, dos horizontes espódicos são do horizonte Bsm/En e da transição entre os horizontes Bs/En e Bmn do perfil MS-05, descritos na X Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012). Nestes horizontes, observou-se a abundância de preenchimentos completos densos ferruginosos e preenchimentos densos completos de argila e ferro, não sendo reportada a presença de matéria orgânica preenchendo poros ou recobrindo agregados.

É relevante mencionar que devido ao valor de pH predominantemente acima de 5,6, o  $Al^{3+}$  não está disponível na forma trocável nestes solos, mas na forma de hidróxido de alumínio, o que justifica sua ausência ou baixos teores no complexo sortivo (BERTSCH & PARKER, 1995).

Os sais solúveis e a condutividade elétrica não expressam salinidade nos solos. Porém, vale ressaltar que o ambiente dos solos com feições espódicas é propício para o acúmulo de  $Na^+$  e  $K^+$  tanto em superfície quanto em subsuperfície. Na Baixa Nhecolândia, a evapotranspiração supera a precipitação favorecendo o acúmulo de sais (SORIANO, 2000). Além disso, o lençol freático próximo a superfície nas áreas adjacentes às baías, cujas águas são de natureza sódica, cárlica e eventualmente potássica, atua tanto como fornecedor de  $Na^+$  e  $K^+$  em subsuperfície, quanto mantenedor desses elementos do sistema por se tratar de uma barreira física à lixiviação, o que justifica a ocorrência de horizontes sódicos e solódicos. Especialmente na zona de transição da baía e cordilheira (P3), a lixiviação de  $Na^+$  e  $K^+$  é também dificultada pela presença do horizonte verde, de maior teor de argila e de baixa permeabilidade.

A vista disso, os solos em estudo encontram-se em condições potenciais para a ocorrência do processo pedogenético de sodificação, o qual se caracteriza pela ação do  $\text{Na}^+$  na dispersão de argilas silicatadas e de matéria orgânica, que, devido à alta permeabilidade do material de origem e ao fluxo de água, são transportados verticalmente (MILLER & BRIERLEY, 2011). Porém, o impedimento da drenagem na área estudada do Pantanal, devido ao lençol freático elevado, leva ao acúmulo de argila e matéria orgânica, mesmo que em pequenas quantidades, nos horizontes B de todos os perfis. Nesse sentido, os horizontes com feições espódicas de caráter sódico e solódico, bem como a presença do horizonte de acumulação de argila e sais Btgn do perfil P3 corroboram a ocorrência desse processo pedogenético neste ambiente. Além disso, destaca-se que valores de Sat Na maiores ou iguais a 6% são incomuns nos horizontes espódicos brasileiros, que geralmente apresentam são iguais ou próximos a zero (SCHAEFER et al., 2002; SIMAS et al., 2005; RÊGO et al., 2019; SCHIAVO et al., 2020).

Os teores de ferro total ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), nas formas livres ( $\text{Fe}_d$ ) e amorfas ( $\text{Fe}_o$ ) presentes nos horizontes com feições espódicas de todos os perfis, destacam o acúmulo desse elemento. Subtraindo-se os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  obtidos por FRX e pelo ataque sulfúrico, verifica-se que o acúmulo não está apenas na fração argila, mas pode estar junto com a matéria orgânica e/ou na fração areia dos perfis P2, P3 e P4. Embora os teores de  $\text{Al}_o$  não evidenciem o acúmulo desse elemento nos horizontes B, os valores de alumínio total ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e a subtração dos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  obtidos por FRX e pelo ataque sulfúrico também denotam um acúmulo desse elemento nos horizontes com feições espódicas, tanto pela iluviação da argila, como pela associação com matéria orgânica e/ou pela presença desses óxidos na fração areia.

A possibilidade de óxidos de Fe e Al estarem presentes na fração areia está relacionada aos fragmentos de nódulos que se encontram nesses horizontes. Além disso, os óxidos podem ter se associado à matéria orgânica dissolvida, presente em maiores quantidades em solos com estagnação de água e que pode se combinar com óxidos já existentes em subsuperfície (RENNERT et al., 2014).

Os teores de  $\text{Fe}_o$  e  $\text{Fe}_d$  dos horizontes B são elevados em relação aos horizontes espódicos de outros ambientes sedimentares brasileiros sob condições tropicais, conforme os valores frequentemente abaixo de  $1,0 \text{ g kg}^{-1}$  relatados por Menezes, Fontana, Anjos (2018). No entanto, os teores de  $\text{Fe}_o$  e  $\text{Fe}_d$  são próximos aos horizontes espódicos de Podzols formados em condições de clima temperado como também de Espodossolos descritos nos campos de altitude brasileiros, onde as perdas por lixiviação são menos intensas (BEYER, 1995; SCHAEFER et al., 2002; SIMAS et al., 2005). Por outro lado, os teores de  $\text{Al}_o$  dos horizontes B são muito baixos em comparação aos horizontes espódicos de outros pedoambientes brasileiros, que normalmente apresentam acúmulo de  $\text{Al}_o$  e teores acima de  $1,5 \text{ g kg}^{-1}$  (MENEZES, FONTANA, ANJOS, 2018).

As variações do manganês na forma total ( $\text{MnO}_2$ ), nas formas livres ( $\text{Mn}_d$ ) e amorfas ( $\text{Mn}_o$ ) evidenciam o acúmulo desse elemento principalmente nos horizontes com presença de nódulos e no horizonte Btgn, cuja cor é variegada composta de verde acinzentado e preto. Assim, considerando que Btgn possui conteúdo de C org muito baixo, a cor preta desse horizonte é atribuída ao acúmulo de manganês.

O manganês ocorre nos solos em um grande número de diferentes minerais, geralmente com baixo grau de cristalinidade e em baixas quantidades (CARVALHO FILHO et al., 2011). Assim, a extração de óxidos de Mn por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e oxalato de ácido de amônio não são realizadas de maneira recorrente. Nos perfis, os teores de  $\text{Mn}_d$  e  $\text{Mn}_o$  são muito próximos, o que corrobora a prevalência de formas menos cristalinas desses óxidos nos solos estudados. Embora a extração por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio identifique as formas mais cristalinas e menos cristalinas, nos solos em estudo os teores de  $\text{Mn}_o$  superam os teores de  $\text{Mn}_d$ , o que indica que parte do manganês presente nos óxidos não foi

reduzida no procedimento de quantificação. No entanto, deve ser mencionado que no perfil MS-01 da X Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012), os valores de Mn<sub>o</sub> também superaram os valores de Mn<sub>d</sub>.

As variações dos óxidos de titânio (TiO<sub>2</sub>) não indicam descontinuidade litológica nos solos estudados e sua variação em profundidade reflete o teor de argila, o que foi evidenciado no horizonte Btgn do perfil P3, que possui concomitantemente o maior valor de TiO<sub>2</sub> e de argila. Os teores de SiO<sub>2</sub> corroboram a natureza silicosa do material de origem (GODOI et al., 2001). E, os níveis mais elevados de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nos horizontes com presença de nódulos sugerem a participação desse elemento em seus fragmentos.

### 5.3. Carbono Orgânico e Composição Elementar dos Nódulos

Os nódulos geralmente apresentam baixo teor de carbono orgânico em sua composição e, ao contrário das concreções, não apresentam organização interna (SANTOS et al., 2015). Na ocasião da X Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012), foram identificados nódulos ferruginosos no perfil MS-01, no mesmo local do perfil P3 do presente estudo, por meio da micromorfologia, mas não há dados referentes à composição química ou à presença de matéria orgânica nesses nódulos.

Assim como nos solos do Pantanal, Rennert et al. (2014) identificaram nódulos com maior conteúdo de matéria orgânica, ferro e manganês do que o material circundante em um Stagnosol do leste da Alemanha. Os autores observaram uma associação preferencial da matéria orgânica dissolvida pelo ferro em relação ao manganês e concluíram que os ciclos redox progressivos e a possível iluviação da argila reduzem o espaço dos poros dentro dos nódulos e concreções, o que restringe a acessibilidade aos microrganismos. Assim, a degradação microbiana é inibida e, consequentemente, a matéria orgânica é estabilizada em nódulos e concreções de ferro e manganês.

É relevante destacar a diferenciação dos nódulos de Fe e Mn identificados nos solos com as feições espódicas com a plintita, que é uma acumulação localizada de óxidos de Fe na forma de mosqueado ou nódulo macio e que podem vir a endurecer irreversivelmente após diferentes ciclos de umedecimento e secagem (KÄMPF & CURI, 2012). No caso, a plintita pode ser individualizada na matriz do solo, o que não foi o caso dos mosqueados presentes nos perfis. Além disso, a plintita é uma formação “*pobre em carbono orgânico*” segundo Santos et al. (2018). Portanto, os nódulos presentes nos solos com feições espódicas, com acumulação de material orgânico em relação a sua vizinhança, não devem ser comparados a plintita ou a petroplintita, bem como a sua formação não está relacionada ao processo pedogenético específico de plintitização.

Outro aspecto que deve ser mencionado é a respeito dos valores negativos de carbono orgânicos obtidos nos nódulos dos horizontes E do perfil P3. Óxidos de manganês competem na oxidação por dicromato na metodologia adotada para quantificação de carbono orgânico, e, por sua vez, na presença desses óxidos, o teor de C org é subestimado (GUERRA & SANTOS, 2008). Dessa forma, os nódulos presentes nos horizontes E, que têm óxidos de manganês em sua composição, têm o valor de C org subestimado, e por isso foram obtidos valores negativos.

Os teores de alumínio dos nódulos comparáveis à terra fina, sem acompanhar o aumento do teor de C org nos nódulos em relação à matriz do solo, indicam que a iluviação deste elemento por podzolização é improvável. Também reforça a possibilidade de que a diferença entre os teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtidos por FRX e pelo ataque sulfúrico seja devido à presença de fragmentos de nódulos na fração areia.

A maior quantidade de  $Fe_2O_3$  nos horizontes B do perfil P4 possivelmente está ligada à sua posição na paisagem, visto que este é o perfil de menor elevação, onde o  $Fe^{+2}$  no período de inundação se acumula em maior proporção em relação aos demais perfis de transecto.

#### 5.4. Classificação dos Solos

A classificação do horizonte espódico pelo SiBCS (SANTOS et al., 2018) é comprometida pela falta de valores limites que definam os seus componentes iluviados: matéria orgânica, alumínio e ferro, bem como pela falta do estabelecimento de quais análises devem ser aplicadas para identificação do acúmulo de óxidos pedogenéticos neste horizonte. Assim, a identificação desse horizonte diagnóstico é interpretativa e realizada a partir de características morfopedogenéticas. Nesse sentido, este estudo reforça a possibilidade de discrepâncias na classificação de solos com feições espódicas pelo SiBCS e seus respectivos processos de formação, destacando a necessidade de definição quantitativa de C org, Al e Fe, bem como seus métodos de quantificação, de modo que o processo de podzolização seja identificado adequadamente nos horizontes espódicos.

Ao avaliar os teores de Al<sub>o</sub> dos solos, pode-se interpretar que esses horizontes não são espódicos devido à falta ou ao baixo teor de alumínio, cujo acúmulo é uma condição estabelecida pelo SiBCS neste horizonte diagnóstico, mas ao utilizar a diferença entre os conteúdos do  $Al_2O_3$  obtido pela FRX e pelo ataque sulfúrico, bem como os valores totais de  $Al_2O_3$  obtidos pela FRX, foi possível identificar o aumento deste elemento nos horizontes espódicos em relação aos horizontes superficiais. Assim, a identificação desses horizontes como espódicos foi baseada na avaliação conjunta de morfologia e de dados que não são comumente encontrados em análises químicas de rotina.

Como proposta de aprimoramento da definição do horizonte diagnóstico espódico pode se revisar a exigência de acúmulo de alumínio, a exemplo do que ocorre para o horizonte plácico, definido segundo Santos et al. (2018) por “*apresentar cimentação aparente de ferro (ou ferro e manganês) e matéria orgânica*”, ou seja, não necessariamente com a presença de alumínio em sua composição. Ademais, a teoria da metal-redução voltada para o processo de podzolização não explica a iluviação de Al, mas a mobilização de Fe (SAUER et al., 2007). E, neste sentido, o próprio WRB deixa em aberto a identificação de horizontes espódicos apenas com Fe iluvial (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015).

Os solos estudados apresentam características diferenciais nos horizontes espódicos tais como valores de sódio suficientes para definir caráter sódico/solódico e presença de nódulos, mas atualmente o SiBCS não prevê chaves taxonômicas de nenhuma classe até o quarto nível categórico que refletam esses atributos. Nesse sentido, deve-se mencionar que embora o SiBCS defina que solos de textura arenosa não possam ser considerados eutróficos quando a saturação de bases é maior ou igual a 50%, não há restrição para atribuir o caráter sódico ou solódico a solos de textura arenosa (SANTOS et al., 2018).

De modo geral, a classificação no WRB (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015) ressalta a natureza arenosa e o baixo grau de desenvolvimento pedogenético nos solos em estudo e faz a distinção dos mesmos com relação a solos formados pela podzolização, que normalmente apresentam pH em água ácido, com acumulação de matéria orgânica e óxidos de Fe e Al. Além disso, esta classificação destaca a presença de sódio nos solos, porém, devido aos critérios de cores oximórficas e redoximórficas, não foi possível atribuir o *qualifier stagnic* ou outro que pudesse vir a representar atributos conferidos pela estagnação sazonal de água nos perfis P1, P3 e P4, que ocorrem nas adjacências às baías do Pantanal.

## 6. CONCLUSÕES

O elevado nível freático na área adjacente da baía fornece características marcantes de redoximorfismo como presença de mosqueados, ausência ou baixo desenvolvimento do horizonte E, *solum* raso, presença de nódulos e óxidos de ferro e manganês.

Os horizontes subsuperficiais com acúmulo de Fe e C org predominam nas áreas adjacentes às baías do Pantanal e sua gênese está relacionada ao processo de sodificação e redoximorfismo.

Nódulos com acúmulo de matéria orgânica, ferro, manganês e sem aumento relativo de alumínio em relação à fração terra fina, reiteram o processo de redoximorfismo nos horizontes com feições espódicas do Pantanal.

Nos solos estudados no Pantanal, o pH neutro a alcalino, os altos valores de soma de bases, baixo conteúdo de carbono orgânico e de óxidos de alumínio extraídos por oxalato ácido de amônio, são características contraditórias em relação ao que é observado em solos formados pelo processo clássico de podzolização. Porém, o acúmulo de Fe e C org, mesmo que pequeno, nos nódulos e nos horizontes B caracterizam as feições espódicas nesses solos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. A.; LONGO, A. E. D. V.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R. Fluorescência de raio-x versus ataque sulfúrico para quantificação elementar de óxidos e relações moleculares em solos do Maranhão: problemas e perspectivas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 13, 2019, São Luís. **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**. São Luís: Embrapa Cocais; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2019. 482p.
- ALMEIDA, T.; FERNANDES, E.; MENDES, D.; BRANCO, F.; SÍGOLO, J. Distribuição espacial de diferentes classes de Lagoas no Pantanal da Nhecolândia, MS, a partir de dados vetoriais e SRTM: uma contribuição ao estudo de sua compartimentação e gênese. **Geologia USP, Série Científica**, v. 7, n. 2, p. 95-107, 2007. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874x2007000200007>
- ALVARES, L. **Taxonomia**. Brasília: Faculdade de Ciência da Informação, Universidade de Brasília, 2015. 36 slides, color. Disponível em: <<http://lillianalvares.fci.unb.br/phocadownload/Fundamentos/Sistemas/Aula23Taxonomia.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2020.
- ALVAREZ, J. R. E.; MONTERO, A. A.; JIMÉNEZ, N. H.; MUÑIZ, U. O.; PADILLA, A. R.; MOLINA, R. J.; VERA, S. Q. Nuclear and related analytical methods applied to the determination of Cr, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in a red ferralitic soil and *Sorghum* samples. **Journal of Radioanalytical And Nuclear Chemistry**, [S.L.], v. 247, n. 3, p. 479-486, 2001. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1010640009301>
- ANDERSON, H. A.; BERRROW, M. L.; FARMER, V. C.; HEPBURN, A.; RUSSELL, J. D.; WALKER, A. D. A reassessment of podzol formation processes. **Journal of Soil Science**, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 125-136, 1982. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01753.x>
- ANDRADE, G. R. P.; FURQUIM, S. A. C.; NASCIMENTO, T. T. V.; BRITO, A. C.; CAMARGO, G. R.; SOUZA, G. Transformation of clay minerals in salt-affected soils, Pantanal wetland, Brazil. **Geoderma**, [S.L.], v. 371, p. 1-17, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114380>
- ANDRIESSE, J. P. A study of the environment and characteristics of tropical podzols in sarawak (east-Malaysia). **Geoderma**, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 201-227, 1969. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(69\)90038-x](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(69)90038-x)
- ANJOS, L. H. C.; JACOMINE, P. K. T.; SANTOS, H. G.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.) **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: SBCS, 2012. p.303-343.
- APARECIDO, L. E. O.; MORAES, J. R. S. C.; MENESES, K. C.; TORSONI, G. B.; LIMA, R. F.; COSTA, C. T. S. Köppen-Geiger and Camargo climate classifications for the Midwest of Brasil. **Theoretical and Applied Climatology**, [S.L.], v. 142, n. 3-4, p. 1133-1145, 2020. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-020-03358-2>
- AQUINO, I. J.; CARLAN, E.; BASCHER, M. B. Princípios Classificatórios para a Construção de Taxonomias. **Pontodeacesso: Revista do Instituto de Ciência da Informação da UFBA**, Salvador, v. 3, n. 3, p. 196-2015, 2009. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/revistaici/article/view/3626/2744>>. Acesso em: 02 mai. 2020.
- ARAÚJO FILHO, J. C. **Horizontes cimentados em Argissolos e Espodossolos dos Tabuleiros Costeiros e em Neossolos Regolíticos e Planossolos da Depressão Sertaneja no Nordeste do Brasil**. 2003. 223 p. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Geoquímica

e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44134/tde-20022004-143700/publico/JoseCoelho.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2020.

ARAÚJO FILHO, J. C.; LOPES, O. F.; OLIVEIRA NETO, M. B.; NOGUEIRA, L. R. Q.; BARRETO, A. C. **Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos da Região dos Tabuleiros Costeiros e da Baixada Litorânea do Estado de Sergipe**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, 4).

ARENARE, B. S. **Estudo da estrutura, morfologia e mineralogia de um sistema de solos laterítico-podzolizado na bacia do Alto Rio Negro - AM**. 2007. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/95738/arenare\\_bs\\_me\\_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/95738/arenare_bs_me_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 14 set. 2020.

ASSINE, M. L. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, [S.L.], v. 70, n. 3-4, p. 357-371, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.013>.

ASSINE, M. L. **Sedimentação na bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. 2003. 106 p. Tese (Livre Docência), Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Departamento de Geologia Sedimentar, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/108382/assine\\_ml\\_ld\\_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/108382/assine_ml_ld_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 03 mai. 2020.

BARBIÉRO, L.; QUEIROZ NETO, J. P.; CIORNEI, G.; SAKAMOTO, A. Y.; CAPELLARI, B.; FERNANDES, E.; VALLES, V. Geochemistry of water and ground water in the Nhecolândia, Pantanal of Mato Grosso, Brazil: variability and associated processes. **Wetlands**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 528-540, 2002. [http://dx.doi.org/10.1672/0277-5212\(2002\)022\[0528:gowagw\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1672/0277-5212(2002)022[0528:gowagw]2.0.co;2)

BARTLETT, R. J.; JAMES, B. R. Redox chemistry of soil. **Advances in Agronomy**, New York, v. 50, p. 151-208, 1993.

BAZZO, J. C.; FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; SANTOS, S. A. Aspectos geofísicos e ambientais do Pantanal da Nhecolândia. **Revista de Geografia (UFPE)**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 141-161, 2012.

BENITES, V. M. **Caracterização de solos e das substâncias húmicas em Áreas de Vegetação Rupestre de Altitude**. 2001, 83 p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/11377>>. Acesso em: 03 mai. 2020.

BENITES, V. M. **Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata Mineira**. 1998. 123p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MENDONÇA, E. S.; MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 661-674, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832001000300015>

- BERTSCH, P. M.; PARKER, D. R. Aqueous polynuclear aluminum species. In: SPOSITO, G. (Coord.). **The environmental chemistry of aluminum**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 117-168.
- BEYER, L. Soil organic matter composition of spodic horizons in Podzols of the Northwest German Lower Plain. **Science of The Total Environment**, [S.L.], v. 181, n. 2, p. 167-180, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)05007-8](http://dx.doi.org/10.1016/0048-9697(95)05007-8)
- BOIN, M. N.; MARTINS, P. C. S.; SILVA, C. A.; SALGADO, A. A. R. Pantanal: The Brazilian Wetlands. In: SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C.; PAISANI, J. C. **The Physical Geography of Brazil: environment, vegetation and landscape**. Cham: Springer, 2019. p. 75-91. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9>
- BRAVARD, S.; RIGHI, D. Geochemical differences in an Oxisol-Spodosol toposequence of Amazonia, Brazil. **Geoderma**, [S.L.], v. 44, n. 1, p. 29-42, 1989. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(89\)90004-9](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(89)90004-9)
- BRAVARD, S.; RIGHI, D. Micromorphology of an Oxisol-Spodosol Catena in Amazonia (Brazil). **Developments in Soil Science**, [S.L.], v. 19, p. 169-174, 1990. [http://dx.doi.org/10.1016/s0166-2481\(08\)70327-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0166-2481(08)70327-1)
- BROCK, O.; KALBITZ, K.; ABSALAH, S.; JANSEN, B. Effects of development stage on organic matter transformation in Podzols. **Geoderma**, [S.L.], v. 378, p. 1-10, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114625>
- BUSACCA, A. J.; SINGER, M. J. Pedogenesis of a chronosequence in the Sacramento Valley, California, U.S.A., II. Elemental chemistry of silt fractions. **Geoderma**, [S.L.], v. 44, n. 1, p. 43-75, 1989. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(89\)90005-0](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(89)90005-0)
- BUURMAN, P. Carbon/sesquioxide ratios in organic complexes and the transition albic-spodic horizon. **Journal of Soil Science**, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 255-260, 1985. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1985.tb00329.x>
- BUURMAN, P.; VIDAL-TORRADO, P.; MARTINS, V. M. The Podzol Hydrosequence of Itaguaré (São Paulo, Brazil). 1. Geomorphology and Interpretation of Profile Morphology. **Soil Science Society of America Journal**, [S.L.], v. 77, n. 4, p. 1294-1306, 2013. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2012.0080>
- CAMPOS, J. C. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; SAADI, A.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. Gênese e Micropedologia de solos do Médio Jequitinhonha, de Turmalina a Pedra Azul, Minas Gerais. **Geonomos**, v.5, p.41-53, 1997.
- CARDOSO, E. L. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-Mato-Grossense**. 2008. 153 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3773/1/TESE\\_Qualidade%20do%20solo%20em%20sistemas%20de%20pastagens%20cultivada%20e%20nativa%20na%20sub-regi%C3%A3o%20da%20Nhecol%C3%A2ndia,%20Pantanal%20Sul%20Mato-Grossense.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3773/1/TESE_Qualidade%20do%20solo%20em%20sistemas%20de%20pastagens%20cultivada%20e%20nativa%20na%20sub-regi%C3%A3o%20da%20Nhecol%C3%A2ndia,%20Pantanal%20Sul%20Mato-Grossense.pdf)>. Acesso em: 03 mai. 2020.
- CARTER, V. H. **Classificação de Terras para Irrigação**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Irrigação, 1993. 203 p.
- CARVALHO, V. S.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JUNIOR, V. S.; BRILHANTE, S. A. Caracterização de Espodossolos dos Estados da Paraíba e do Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 37, n. 6, p. 1454-1463, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832013000600003>

- CHESWORTH, W.; MACIAS-VASQUEZ, F. Pe, pH, and podzolization. **American Journal of Science**, [S.L.], v. 285, n. 2, p. 128-146, 1985. <http://dx.doi.org/10.2475/ajs.285.2.128>
- CLINE, M. G. Logic of the new system of soil classification. **Soil Sci.**, New York, v. 96, n. 1, p. 17-22, 1963.
- COELHO, M. R. **Caracterização e gênese de Espodossolos da planície costeira do Estado de São Paulo**. 2008. 270 p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Departamento de Ciência do Solo, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-11032009-094418/publico/Mauricio\\_Coelho.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-11032009-094418/publico/Mauricio_Coelho.pdf)>. Acesso em: 03 mai. 2020.
- COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P.; PÉREZ, X. L. O.; MARTINS, V. M.; VÁSQUEZ, F. M. Química e gênese de solos desenvolvidos sob vegetação de restinga no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 1951-1964, 2010a. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000600020>
- COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P.; PÉREZ, X. L. O.; MARTINS, V. M.; VÁZQUEZ, F. M. Fracionamento do alumínio por técnicas de dissoluções seletivas em Espodossolos da planície costeira do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 34, n. 4, p. 1081-1092, 2010b. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000400008>.
- CORRÊA, J. A., CORREIA FILHO, F. C. L., SCISLEWSKI, G., NETO, C., CAVALLON, L. A., CERQUEIRA, N. L. S., NOGUEIRA, V. L. Projeto Bodoquena: Relatório Final. Goiânia: Convênio DNPM/CPRM, 1976. In: GODOI, H. O.; MARTINS, E. G.; MELLO, J. C. R.; SCISLEWSKI, G. **Corumbá: folha SE.21-Y-D - Aldeia Tomazia: folha SF.21-V-B - Porto Murtinho: folha SF.21-V-D: estado do Mato Grosso do Sul**. Brasília: CPRM, 2001.
- CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; ARAUJO FILHO, J. C.; CAMÊLO, D. L. Formas de ferro, silício e, ou, alumínio na gênese de fragipãs e horizontes coesos dos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 39, n. 4, p. 940-949, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20140679>
- CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T. C. P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 297-313, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100028>
- COUTO, A. G.; OLIVEIRA, V. A.; BEIRINGO, R. M.; OLIVEIRA JUNIOR, J. C.; NASCIMENTO, A. F.; VIDAL-TORRADO, P. Solos do Pantanal Mato-Grossense. In: CURI, N. KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. (Eds.) **Pedologia – Solos dos biomas brasileiros**. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 303-352.
- CPRM. **Carta Geológica Folha Corumbá, SE. 21-Y-D**. Rio de Janeiro: CPRM, 2004. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/downloads/>>. Acesso em: 23 nov. 2019.
- CRISPIM, S. M. A.; RODRIGUES, C. A. G.; DOMINGOS BRANCO, O. Levantamentos altimétrico e florístico na Fazenda Nhumirim, Pantanal da Nhecolândia-MS. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 4., 2004, Corumbá. *Anais...* Corumbá: Embrapa Pantanal; UCDB; UFMS; SEBRAE-MS, 2004.
- CUNHA, N. G. **Considerações Sobre os Solos da Sub-Região da Nhecolândia, Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: EMBRAPA -UEPAE de Corumbá, 1980. 45p.
- DAHLGREN, R. A.; WALKER, W. J. Aluminum release rates from selected Spodosol Bs horizons: Effect of pH and solid-phase aluminum pools. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, [S.L.], v. 57, n. 1, p. 57-66, 1993. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(93\)90468-c](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(93)90468-c)

- DE CONINCK, F. Major mechanisms in formation of spodic horizons. **Geoderma**, v. 24, n. 2, p. 101–128, 1980. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(80\)90038-5](https://doi.org/10.1016/0016-7061(80)90038-5)
- DELARMELINDA, E. A.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; WADT, P. G. S.; DENG, Y.; CAMPOS, M. C. C.; CÂMARA, E. R. G. Soil-landscape relationship in a chronosequence of the middle Madeira River in southwestern Amazon, Brazil. **Catena**, [S.L.], v. 149, p. 199-208, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.09.021>
- DIAS, H. C. T.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; OLIVEIRA, A. P.; MICHEL, R. F. M.; LEMOS JUNIOR, J. B. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 469-481, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000300009>
- DUBROEUCQ, D.; VOLKOFF, B. From Oxisols to Spodosol and Histosols: evolution of the soil mantles in the Rio Negro basin (Amazonia). **Catena**, v.32, p.245–280, 1998.
- FAO SOILS PORTAL, **Numerical systems**. 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-classification/numerical-systems/en/>>. Acesso em: 29 jul. 2020.
- FAO. **Digital Soil Map of World**. 2007. Disponível em: <<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show%3Fid=14116>>. Acesso em: 23 ago. 2020.
- FARMER, V. C. Significance of the presence of allophane and imogolite in Podzol Bs horizons for podzolization mechanisms: A review. **Soil Science and Plant Nutrition**, [S.L.], v. 28, n. 4, p. 571-578, 1982. <http://dx.doi.org/10.1080/00380768.1982.10432397>
- FARMER, V. C.; LUMSDON, D. G. Interactions of fulvic acid with aluminium and a proto-imogolite sol: the contribution of E-horizon eluates to podzolization. **European Journal of Soil Science**, [S.L.], v. 52, n. 2, p. 177-188, 2001. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2389.2001.00377.x>
- FARMER, V. C.; MCHARDY, W. J.; ROBERTSON, L.; WALKER, A.; WILSON, M. J. Micromorphology and sub-microscopy of allophane and imogolite in a Podzol Bs horizon: evidence for translocation and origin. **Journal of Soil Science**, [S.L.], v. 36, n. 1, p. 87-95, 1985. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1985.tb00315.x>
- FARMER, V. C.; RUSSELL, J. D.; BERROW, M. L. Imogolite and proto-imogolite allophane in spodic horizons: evidence for a mobile aluminium silicate complex in Podzol formation. **Journal of Soil Science**, [S.L.], v. 31, n. 4, p. 673-684, 1980. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1980.tb02113.x>
- FERNANDES, E. **Caracterização dos elementos do meio físico e da dinâmica da Nhecolândia (Pantanal Sulmatogrossense)**. 2000. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M.; SOARES, M. T. S; PELLEGRIN, L. A.; LIMA, I. B. T. **Atualização do mapa de solos da planície pantaneira para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007. 6 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 61). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161349/1/COT61.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2018.
- FERRO-VÁZQUEZ, C.; NÓVOA-MUÑOZ, J. C.; COSTA-CASAIS, M.; KLAMINDER, J.; MARTÍNEZ-CORTIZAS, A. Metal and organic matter immobilization in temperate Podzols: a high resolution study. **Geoderma**, [S.L.], v. 217-218, p. 225-234, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.10.006>

- FIGUEIREDO, M. A.; FABRIS, J. D.; VARAJÃO, A. F. D. C.; COUCEIRO, P. R. C.; LOUTFI, I. S.; AZEVEDO, I. S.; GARG, V. K. Óxidos de ferro de solos formados sobre gnaisse do Complexo Bação, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 313-321, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2006000200017>
- FOX, T. R.; COMERFORD, N. B. Influence of oxalate loading on phosphorous and aluminium solubility in Spodosols. **Soil Science Society of America Journal**, [S.L.], v. 56, n. 1, p. 290-294, 1992. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600010046x>
- FUJII, K.; HARTONO, A.; FUNAKAWA, S.; UEMURA, M.; SUKARTININGSIH; KOSAKI, T. Acidification of tropical forest soils derived from serpentine and sedimentary rocks in East Kalimantan, Indonesia. **Geoderma**, [S.L.], v. 160, n. 3-4, p. 311-323, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.09.027>
- FURQUIM, S. A. C. **Formação de carbonatos e argilo-minerais em solos sódicos do Pantanal sul-mato-grossense**. 2007. 208 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-18102007-142817/publico/TESE\\_SHEILA\\_APARECIDA\\_CORREIA\\_FURQUIM.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-18102007-142817/publico/TESE_SHEILA_APARECIDA_CORREIA_FURQUIM.pdf)>. Acesso em: 07 mai. 2007.
- FURQUIM, S. A. C.; GRAHAM, R. C.; BARBIERO, L.; QUEIROZ NETO, J. P.; VIDAL-TORRADO, P. Soil mineral genesis and distribution in a saline lake landscape of the Pantanal Wetland, Brazil. **Geoderma**, [S.L.], v. 154, n. 3-4, p. 518-528, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.03.014>
- FURQUIM, S. A. C.; SANTOS, M. A.; VIDOCA, T. T.; BALBINO, M. A.; CARDOSO, E. L. Salt-affected soils evolution and fluvial dynamics in the Pantanal wetland, Brazil. **Geoderma**, [S.L.], v. 286, p. 139-152, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.030>
- GARCIA, E. A. C. **O clima no Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: Embrapa/UEPAE de Corumbá, 1984. 42 p. (EMBRAPA-UEPAE Corumbá. Circular Técnica, 14). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37595/1/CT14.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2020.
- GARCIA, E. A.; CASTRO, L. H. R. Análise da frequência de chuva no Pantanal Mato-Grossense. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.21, n.9, p. 909-925, 1986.
- GODOI FILHO, J. D. Aspectos Geológicos do Pantanal Mato-Grossense e de sua Área de Influência. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1984, Corumbá. **Anais do 1º Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal**. Brasília: Embrapa, 1986. 265p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/787689/1/anais1simposio.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2020.
- GODOI, H. O.; MARTINS, E. G.; MELLO, J. C. R.; SCISLEWSKI, G. **Corumbá: folha SE.21-Y-D - Aldeia Tomazia: folha SF.21-V-B - Porto Murtinho: folha SF.21-V-D: estado do Mato Grosso do Sul**. Brasília: CPRM, 2001.
- GOMES, F. H. **Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso - SP**. 2005. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-31032006-151942/publico/FelipeGomes.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2020.
- GOMES, F. H.; TORRADO, P. V.; MACIAS, F.; GHERARDI, B.; PERES, J. L. O. Solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso (SP). I - Caracterização e Classificação. **Revista**

**Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1563-1580, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600033>

GOMES, J. B. V.; RESENDE, M.; REZENDE, S. B.; MENDONÇA, E. S. Solos de três áreas de restinga. I. Morfologia, caracterização e classificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 11, p. 1907-1919, 1998. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/45483/1/pab150-96.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2020.

GOMES, F. H. **Caracterização de Solos de Manguezais e de Restinga no Município de Ilhéus-Bahia**. 2002. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10767/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 16 maio 2020.

GRADELLA, F. S. **Morfologia do relevo da porção sul do megaleque fluvial do Taquari, Pantanal da Nhecolândia, Brasil**. 2012. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/102882/gradella\\_fs\\_dr\\_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/102882/gradella_fs_dr_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 07 mai. 2020.

GRADELLA, F. S.; HIRAN, Z.; SILVA, A.; KUERTEN, S.; CORRADINI, F. A.; SAKAMOTO, A. Y. Geomorphology and deposition events in Nhecolandia Pantanal wetland. **Geografia**, Rio Claro, v. 36, Número Especial, p. 107-117, 2011.

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. de A. Métodos químicos e físicos. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 185-199.

GUILLET, B.; ROUILLER, J.; SOUCHIER, B. Podzolization and clay migration in Spodosols of eastern France. **Geoderma**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 223-245, 1975. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(75\)90003-8](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(75)90003-8)

GUSTAFSSON, J. P.; BHATTACHARYA, P.; BAIN, D. C.; FRASER, A. R.; MCHARDY, W. J. Podzolisation mechanisms and the synthesis of imogolite in northern Scandinavia. **Geoderma**, [S.L.], v. 66, n. 3-4, p. 167-184, 1995. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(95\)00005-9](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(95)00005-9)

HAMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; MELACK, J. M. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. **Archiv fur Hydrobiologie**, Stuttgart, v. 137, n. 1, p.1-23, 1996.

HAMILTON, S. K.; SOUZA, O. C.; COUTINHO, M. E. Dynamics of floodplain inundation in the alluvial fan of the Taquari River (Pantanal, Brazil). **Sil Proceedings, 1922-2010**, v. 26, n. 3, p. 916-922, 1998. <http://dx.doi.org/10.1080/03680770.1995.11900852>.

HIGASHI, T.; DE CONINCK, F.; GELAUDE, F. Characterization of some spodic horizons of the Campine (Belgium) with dithionite-citrate, pyrophosphate and sodium hydroxide-tetraborate. **Geoderma**, [S.L.], v. 25, n. 1-2, p. 131-142, 1981. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(81\)90010-0](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(81)90010-0)

HORBE, A. M. C.; HORBE, M. A.; SUGUIO, K. Tropical Spodosols in northeastern Amazonas State, Brazil. **Geoderma**, [S.L.], v. 119, n. 1-2, p. 55-68, 2004. [http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061\(03\)00233-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061(03)00233-7)

HUGUET, A.; FOSSE, C.; METZGER, P.; FRITSCH, E.; DERENNE, S. Occurrence and distribution of non-extractable glycerol dialkyl glycerol tetraethers in temperate and tropical

podzol profiles. **Organic Geochemistry**, v. 41, n. 8, p. 833–844, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2010.04.020>

IBGE. **Base Cartográfica Contínua do Brasil - 1:250.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

IBGE. **Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2019a. 164 p. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101676>>. Acesso em: 09 mai. 2020.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2020.

IBGE. **Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos, regiões fitoecológicas e outras áreas**. 1. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2019c. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/24252-macrocaracterizacao-dos-recursos-naturais-do-brasil.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL - IAA. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO JANEIRO - UFRRJ. **Projeto de irrigação e drenagem da cana-de-açúcar na região Norte-Fluminense: estudos e levantamentos pedológicos**. Relatório técnico setorial. Anexo A. Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e Comércio. Instituto do Açúcar e do Álcool/UFRRJ, 1983a.

INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL - IAA. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO JANEIRO - UFRRJ. **Projeto de irrigação e drenagem da cana-de-açúcar na região Norte-Fluminense: estudos e levantamentos pedológicos**. Relatório técnico setorial, v.1, tomo II. Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e Comércio. Instituto do Açúcar e do Álcool. UFRRJ, 1983b.

IPAAM, EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de solos da região sudeste-sul do Projeto de Gestão Ambiental Integrado do Instituto de proteção Ambiental do Amazonas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Manaus: Projeto de Gestão Ambiental Integrado do Estado do Amazonas, 2001.

ISBELL, THE NATIONAL COMMITTEE ON SOIL AND TERRAIN. **The Australian Soil Classification**. 2 ed. CSIRO Publishing: Melbourne, 2016.

ISHIDA, D. A.; MONTES, C. R.; LUCAS, Y.; PEREIRA, O. J. R.; MERDY, P.; MELFI, A. J. Genetic relationships between ferralsols, podzols and white kaolin in Amazonia. **European Journal of Soil Science**, [S.L.], v. 65, n. 5, p. 706-717, 2014. <http://dx.doi.org/10.1111/ejss.12167>

ISHIDA, D. A.; VIEIRA-COELHO, A. C.; MELFI, A. J.; LUCAS, Y.; CAMARGO, J. P. B.; MONTES, C. R. Influence of pedogenetic processes on the validity of kaolinite crystallinity indices: a case study of an Amazonian Ferralsol-Podzol soil system with white kaolin. **Applied Clay Science**, [S.L.], v. 162, p. 435-442, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2018.06.025>

IUSS WORKING GROUP WRB. **World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015**. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO, 2015. 192 p. (World Soil Resources Reports, 106). Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2020.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; PESSÔA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. **Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado de Alagoas**. Recife,

- EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, 1975. 532 p. (EMBRAPA-CPP. Boletim técnico, 35; SUDENE, DRN. Recursos Solos, 5).
- JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; RODRIGUES E SILVA, F. B.; MONTENEGRO, J. O.; FORMIGA, R. A.; BURGOS, N.; MÉLO FILHO, H. F. R. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco, Estado da Bahia.** Recife, Embrapa/ Sudene, 1977. 738p.
- JAHN, R.; BLUME, H.P.; ASIO, V. B.; SPAARGAREN, O.; SCHAD, P. **Guidelines for soil description.** 4th ed. Rome: FAO, 2006. 110p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-a0541e.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2021.
- JONES, A. R.; SANDERMAN, J.; ALLEN, D.; DALAL, R.; SCHMIDT, S. Subtropical giant podzol chronosequence reveals that soil carbon stabilisation is not governed by litter quality. **Biogeochemistry**, v. 124, n. 1-3, p. 205–217, 2015.
- KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds). **Pedologia: fundamentos.** Viçosa: SBCS, 2012. p. 207-302.
- KLINGEBIEL, A. A.; MOTGOMERY, P. H. **Land Capability Classification.** Washington, DC, US Government Printing Office, 1961. 21p. (USDA Agricultural Handbook, 210) Disponível em: <[https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_052290.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052290.pdf)>. Acesso em: 02 mai. 2020.
- LEES, B. G.; STANNER, J.; PRICE, D. M.; YANCHOU, L. Thermoluminescence dating of dune podzols at Cape Arnhem, northern Australia. **Marine Geology**, [S.L.], v. 129, n. 1-2, p. 63-75, 1995. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227\(95\)00112-3](http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227(95)00112-3).
- LEMOS, R. C.; BENNEMA, J.; SANTOS, R. D.; ITURRI, J. O.; INCLAN, R. S.; PANOSO, L. A.; MENDES, W.; MELO, J. O.; SILVEIRA, C. O. **Levantamento de reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo** (contribuição a carta de solos do Brasil). Rio de Janeiro: Serviço Nacional De Pesquisas Agronômicas, 1960. 634p. (Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 12).
- LEPSCH, I. F. Classificação de Solos. In: LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011. p. 293-310.
- LEPSCH, I. F. Princípios básicos e as várias classificações. In: LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos.** 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. p. 79-92.
- LIU, J. C.; CHEN, Z. S. Soil characteristics and clay mineralogy of two subalpine forest Spodosols with clay accumulation in Taiwan. **Soil Science**, [S.L.], v. 169, n. 1, p. 66-80, 2004. <http://dx.doi.org/10.1097/01.ss.0000112013.97541.74>
- LOPES-MAZZETTO, J. M.; BUURMAN, P.; SCHELLEKENS, J.; MARTINEZ, P. H. R. M.; VIDAL-TORRADO, P. Soil morphology related to hydrology and degradation in tropical coastal podzols (SE Brazil). **Catena**, [S.L.], v. 162, p. 1-13, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2017.11.007>
- LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A.; CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, R. D. **Levantamento Pedológico, Vulnerabilidade e Potencialidade ao Uso das Terras: Quadrícula de Silva Jardim e Rio das Ostras, Estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2001, 79p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 23).
- LUNDSTRÖM, U. S.; VAN BREEMEN, N.; BAIN, D. The podzolization process. A review. **Geoderma**, [S.L.], v. 94, n. 2-4, p. 91-107, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061\(99\)00036-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061(99)00036-1)

MAFRA A. L.; MIKLÓS, A. A. W.; VOLKOFF, B.; MELFI, A. J. Peodogênesse numa sequência Latossolo-Espodossolo na região do alto Rio Negro, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 381-394, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832002000200012>

MAFRA, A. L.; SENESI, N.; BRUNETTI, G.; MIKLÓS, A. A. W.; MELFI, A. J. Humic acids from hydromorphic soil of the upper Negro river basin, Amazonas: Chemical and spectroscopic characterisation. **Geoderma**, v.138, n. 1-2, p. 170-176, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.11.005>

MANCINI, M.; WEINDORF, D. C.; CHAKRABORTY, S.; SILVA, S. H. G.; TEIXEIRA, A. F. S.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N. Tracing tropical soil parent material analysis via portable X-ray fluorescence (pXRF) spectrometry in Brazilian Cerrado. **Geoderma**, [S.L.], v. 337, p. 718-728, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.026>.

MARTINS, E. R. C. **Tipologias de lagoas salinas no Pantanal da Nhecolândia (MS)**. 2012. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Curso de Pós-Graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-14012013-172446/publico/2012\\_ElisangelaRosemeriCurtiMartins.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-14012013-172446/publico/2012_ElisangelaRosemeriCurtiMartins.pdf)> Acesso em: 02 ago. 2020.

MCKEAGUE, J. A.; ROSS, G. J.; GAMBLE, D. S.; MAHANEY, W. C. Properties, criteria of classification and genesis of podzolic soils in Canada in Quaternary soils. **Geo Abstracts**, Norwich, v. 27, n. 60, p. 27–60, 1978.

MELO, F. J. R.; SANTOS, M. C. Micromorfologia e mineralogia de dois solos de Tabuleiro Costeiro de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 99-108, 1996.

MENEZES, A. R. **Critérios Taxonômicos para Horizonte B Espódico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: Revisão e Ampliação da Nomenclatura e das Definições**. 2017. 44 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170730/1/Dissertacao-Andressa-Rosas-de-Menezes-2017.pdf>>. Acesso em: 07 mai, 2020.

MENEZES, A. R.; FONTANA, A.; ANJOS, L. H.C. Spodosols in Brazil: distribution, characteristics and diagnostic attributes of spodic horizons. **South African Journal of Plant and Soil**, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 241-250, 2018. <http://dx.doi.org/10.1080/02571862.2017.1410734>

MICHELON, C. R.; NASCIMENTO, N. R. A pedogênesse e a distribuição dos elementos maiores e traços num sistema de solo laterítico-podzolizado na Alta Bacia Do Rio Preto-MG. **Revista Geografar**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 72-100, 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/geografar.v10i1.41142>.

MILLER, J. J.; BRIERLEY, J. A. Solonetzic soils of Canada: genesis, distribution, and classification. **Canadian Journal of Soil Science**, [S.L.], v. 91, n. 5, p. 889-902, 2011. <http://dx.doi.org/10.4141/cjss10040>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Pantanal**. 201-. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/pantanal>>. Acesso em: 06 set. 2018.

MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C.; ALBREZ, E. D. O. A. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. **Revista Entre-Lugar**, v. 3, n. 6, p. 165-180, 2012.

MORALES, A. R. G.; PAZ, O. C.; VALDÉS-CARMENATE, R. Effects of the Pollution by Heavy Metals in a Soil with Agricultural Use. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, La

Habana, v. 28, n. 1, p. 1-8, 2019. Disponível em: <<https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1084/pdf>>. Acesso em: 09 set. 2020.

MOREAU, A. M. S. S.; KER, J. C.; COSTA, L. M.; GOMES, F. H. Caracterização de solos de duas topossequências em Tabuleiros costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 30, n. 6, p. 1007-1019, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832006000600010>.

OLIVEIRA, A. P. G.; MACHADO, R.; RIBEIRO, A. A.; MIOTO, C. L.; MARCATO JÚNIOR, J.; SAAD, A. R.; SÍGOLO, J. B.; PARANHOS FILHO, A. C. The expression of neotectonics in the Pantanal da Nhecolândia, State of Mato Grosso do Sul - Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 90, n. 2, p. 1293-1308, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201820170474>.

OLIVEIRA, A. P. G.; RIBEIRO, A. A.; WASSOUF JUNIOR, E. R.; SOUZA, G. F.; BERNADI, I.; PENATTI, N. C.; ALMEIDA, T. I. R.; PARANHOS FILHO; A. C. Uso de Sensoriamento Remoto na quantificação das lagoas do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. *Anais...* São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. p. 3695-3702. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/dpi.inpe.br/marte/2011/07.19.19.42?mirror=dpi.inpe.br/banon/2003/12.10.19.30.54&metadatarepository=dpi.inpe.br/marte/2011/07.19.19.42.54>>. Acesso em: 07 mai. 2020.

OLIVEIRA, A. P.; KER, J. C.; SILVA, I. R.; FONTES, M. P. F.; OLIVEIRA, A. P.; NEVES, A. T. G. Spodosols pedogenesis under Barreiras formation and sandbank environments in the south of Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 847-860, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300026>

PALMIERI, F.; SANTOS, H. G. **Levantamento Semidetalhado e Aptidão Agrícola dos Solos do Município do Rio de Janeiro, RJ**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1980. 389p

PANOSO, L. A.; GOMES, I. A.; PIRES FILHO, A. M.; BONELLI, S. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1978. 461p.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha NA. 19 Pico da Neblina**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral, 1976. 374p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 11). Disponível em: <<https://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?http=1&u=biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24028.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2020.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SB. 20 Purus**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral, 1978a. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 17). Disponível em: <[https://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?http=1&u=biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv3596\\_cd.zip](https://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?http=1&u=biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv3596_cd.zip)>. Acesso em: 19 ago. 2020.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha NA.20 Boa Vista e parte das Folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral, 1975. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 8). Disponível em: <[https://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?http=1&u=biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv3587\\_cd.zip](https://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?http=1&u=biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv3587_cd.zip)>. Acesso em: 17 mai. 2020.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SA. 19 Içá**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria-

Geral, 1977b. 446p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 14). Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24031.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2020.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SA. 20 Manaus**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral, 1978b. 623p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 18). Disponível em: <<https://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?http=1&u=biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24035.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2020.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SC. 20 Porto Velho**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral, 1978c. 663p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 16). Disponível em: <<https://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?http=1&u=biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24033.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2020.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SC. 21 Juruena**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral, 1980. 456p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 20). Disponível em: <<https://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?http=1&u=biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24038.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2020.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SE. 21 Corumbá e parte da folha SE.20**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral, 1982. 448p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 27). Disponível em: <<https://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?http=1&u=biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv13270.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2020.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folhas SB/SC. 18 Javari / Contamana**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral, 1977a. 413p (Levantamento de Recursos Naturais, v. 13). Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24030.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2020.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folhas SF. 23/24, Rio de Janeiro/Vitoria**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral, 1983. 775p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 32). Disponível em: <<https://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?http=1&u=biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv17129.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2020.

QUIROZ-JIMÉNEZ, J. D.; ROY, P. D. Evaluation of geochemical data by two different XRF spectrometers in sediments from the Santiagillo Basin (state of Durango, Mexico). **Geofísica Internacional**, [S.L.], v. 56, n. 3, p. 305-315, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.org.mx/pdf/geoint/v56n3/0016-7169-geoint-56-03-00305.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2020.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras**. 3 ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa, 1995. 65p.

RAVAGLIA, A. G.; SANTOS, S. A.; SORIANO, B. M. A.; DANIEL, O.; FREITAS, L. C.; PELLEGRIN, L. A.; TOMAS, W. M.; RODELA, L. G.; BUENO SOBRINHO, A. A.; ARAÚJO, M. T. B. D. **Mapeamento das unidades de paisagem das sub-regiões da Nhecolândia e Poconé, Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2011. 15 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 105). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79837/1/BP105.pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2020.

- RÊGO, L. G. S.; SILVA, J. J. A.; SOUZA, C. M. M.; PORTELA, J. C.; MOURA, I. N. B. M.; SILVA, A. C. R.; MIRANDA, N. O. Pedogenesis in the Barreiras Formation Under Climates of Rio Grande do Norte, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, [S.L.], v. 11, n. 16, p. 19-11, 2019. Canadian Center of Science and Education. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v11n16p19>.
- RENNERT, T.; HÄNDEL, M.; HÖSCHEN, C.; LUGMEIER, J.; STEFFENS, M.; TOTSCHE, K. U. A NanoSIMS study on the distribution of soil organic matter, iron and manganese in a nodule from a Stagnosol. **European Journal of Soil Science**, [S.L.], v. 65, n. 5, p. 684-692, 2014. <http://dx.doi.org/10.1111/ejss.12157>.
- RESENDE, M.; NILTON, C.; OLIVEIRA, J. B.; KER, J. C. Princípios da Classificação dos Solos. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: SBCS, 2012. p. 21-46.
- REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 10, 2012, Corumbá. **Guia de excursão de estudos de solos no Pantanal e Cerrados do Estado do Mato Grosso do Sul**. Corumbá: Embrapa Pantanal; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 176p.
- REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 11, 2015, Boa Vista. **Guia de excursão de estudos de solos do Estado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 206p.
- REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 9, 2010, Rio Branco. **Solos sedimentares em sistemas amazônicos: potencialidades e demandas de pesquisa: guia de campo**. Brasília: Embrapa, 2013.
- RIBEIRO, B. T.; SILVA, S. H. G.; SILVA, E. A.; GUILHERME, L. R. G. Portable X-Ray Fluorescence (pXRF) applications in tropical Soil Science. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 41, n. 3, p. 245-254, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542017413000117>
- RIISE, G.; VAN HEES, P.; LUNDSTRÖM, U. S.; STRAND, L. T. Mobility of different size fractions of organic carbon, Al, Fe, Mn and Si in podzols. **Geoderma**, [S.L.], v. 94, n. 2-4, p. 237-247, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061\(99\)00044-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061(99)00044-0)
- RIZO, O. D.; RUDNIKAS, A. G.; PÉREZ, R. D. L.; CARABALLO, G. A.; RODRÍGUEZ, K. A. XRF analysis of sediments from Nuevitas Bay (Cuba): assessment of current heavy metal contamination. **Nucleus**, La Habana, n. 55, p. 11-14, 2014.
- RODELA, L. G.; QUEIROZ NETO, J. P. Estacionalidade do Clima no Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 59, n. 1, p. 101-113, 2007. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43964/23217>>. Acesso em: 07 mai. 2020.
- RODRÍGUEZ-BOCANEGRA, J.; ROCA, N.; FEBRERO, A.; BORT, J. Assessment of heavy metal tolerance in two plant species growing in experimental disturbed polluted urban soil. **Journal of Soils and Sediments**, [S.L.], v. 6, n. 18, p. 2305-2317, 2017.
- ROSOLEN, V.; BUENO, G. T.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R.; COELHO, C. V. S.; ISHIDA, D. A.; GOVONE, J. S. Evolution of iron crust and clayey Ferralsol in deeply weathered sandstones of Marília Formation (Western Minas Gerais State, Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, [S.L.], v. 79, p. 421-430, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2017.09.001>
- ROSSI, M. **Fatores formadores da paisagem litorânea: a bacia do Guaratuba, São Paulo – Brasil**. 1999. 168p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.
- ROSSI, M.; QUEIROZ NETO, J. P. Evolução de Espodossolo Ferrocárlico em Gleissolo Háplico no planalto da Serra do Mar, Rio Guaratuba (SP). **Revista Brasileira de Ciência do**

**Solo**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 407-415, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000200014>

SAKAMOTO, A. Y.; BACANI, V. M. Desmatamento e Alterações Ambientais no Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil. **Revista Geonorte**, [S.L.], v. 3, n. 6, p. 827-839, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1991/1865>>. Acesso em: 07 mai. 2020.

SANTOS, H. G.; CARVALHO JÚNIOR, W.; ÁGLIO, M. L. D.; SILVA, J. S.; DART, R. O.; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. S.; OLIVEIRA, A. P. **Mapa de Solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5<sup>a</sup> ed. revista e ampliada. Brasília: Embrapa, 2018. 356p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2020.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. **Classificação do Perfil**. 2006. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_5\\_2212200611537.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_5_2212200611537.html)> Acesso em: 02 mai. 2020.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 170 p.

SAUER, D.; SPONAGEL, H.; SOMMER, M.; GIANI, L.; JAHN, R.; STAHR, K. Soil of the Year 2007: A review on its genesis, occurrence, and functions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [S.L.], v. 170, n. 5, p. 581-597, 2007. <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200700135>

SCHAEFER, C. E. R.; KER, J. C.; GILKES, R. J.; CAMPOS, J. C.; COSTA, L. M.; SAADI, A. Pedogenesis on the uplands of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil: a chemical and micropedological study. **Geoderma**, [S.L.], v. 107, n. 3-4, p. 243-269, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061\(01\)00151-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061(01)00151-3)

SCHAETZL, R. J. A Spodosol-Entisol Transition in Northern Michigan. **Soil Science Society of America Journal**, [S.L.], v. 66, n. 4, p. 1272-1284, 2002. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2002.1272>

SCHIAVO, J. A.; DIAS NETO, A. H.; PEREIRA, M. G.; ROSSET, J. S.; SECRETTI, M.; PESSENCDA, L. C. R. Characterization and classification of soils in the Taquari river basin - Pantanal region, state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 697-708, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832012000300002>

SCHIAVO, J. A.; PESSENCDA, L. C. R.; BUSO JÚNIOR, A. A.; CALEGARI, M. R.; FORNARI, M.; SECRETTI, M. L.; PEREIRA, M. G.; MAYLE, F. E. Genesis and variation spatial of Podzol in depressions of the Barreiras Formation, northeastern Espírito Santo State, Brazil, and its implications for Quaternary climate change. **Journal of South American Earth Sciences**, [S.L.], v. 98, p. 1-12, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102435>

SCHNITZER, M. Binding of humic substances by soil mineral colloids. In: HUANG, P. M.; SCHNITZER, M. (Eds.) **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison: SSSA, 1986. p.77-102.

- SECRETTO, M. L. **Caracterização e classificação de solos de campos nativos no nordeste do Espírito Santo.** 2013. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2013.
- SHISHOV, L. L.; TONKONOGOV, V. D.; LEBEDEVA, I. I.; GERASIMOVA, M. I. **Classification and Diagnostic System of Russian Soils.** Smolensk: Oikumena, 2004. (Em russo).
- SILVA NETO, E. C. DA; CALEGARI, M. R.; PEREIRA, M. G.; MARANHÃO, D. D. C.; SCHIAVO, J. A.; FONTANA, A.; FERNANDES, J. C. F. Phytoliths as indicators of pedogenesis and paleoenvironmental changes in Spodosols of the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Science of The Total Environment**, [S.L.], v. 636, p. 1070-1080, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.313>
- SILVA, B. N. R.; ARAÚJO, J. V.; RODRIGUES, T. E.; FALESI, I. C.; RÊGO, R. S.; GUIMARÃES, G. A. **Os solos da área Cacau Pirêra – Manacapuru.** Belém: Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte, 1970. 198 p. (Série Solos da Amazônia, v. 2, n. 3)
- SILVA, E. A.; GOMES, J. B. V.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, C. A. CARVALHO, S. A.; CURI, N. Podzolização em solos de áreas de depressão de topo dos tabuleiros costeiros do Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 11-24, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832013000100002>
- SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, Número Especial, p. 1703-1711, 1998.
- SILVA, S. H. G.; SILVA, E. A.; POGGERE, G. C.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N. Tropical soils characterization at low cost and time using portable X-ray fluorescence spectrometer (pXRF): effects of different sample preparation methods. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 80-92, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542018421009117>
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; CHAGAS, A. C.; BRANDÃO, P. C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. **Geoderma**, [S.L.], v. 125, n. 3-4, p. 187-201, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.013>
- SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1984, Corumbá. **Anais do 1º Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal.** Brasília: Embrapa, 1986. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/787689/1/anais1simposio.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2020.
- SOIL CLASSIFICATION WORKING GROUP. **Soil Classification - A Taxonomic System for South Africa.** 2 ed. Petrópolis: The Department of Agricultural Development Republic of South Africa, 1991. 257p.
- SOIL CLASSIFICATION WORKING GROUP. **The Canadian System of Soil Classification.** 3 ed. Ottawa: Agric. and Agri-Food Can, 1998. 187p.
- SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy.** 12. ed. Washington: USDA-Natural Resources Conservation Service, 2014. 360 p. Disponível em: <[https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA\\_NRCSConsumption/download?cid=stelprdb1252094&ext=pdf](https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA_NRCSConsumption/download?cid=stelprdb1252094&ext=pdf)>. Acesso em: 12 ago. 2020.
- SOMMER, M.; HALM, D.; WELLER, U.; ZAREI, M.; STAHR, K.. Lateral Podzolization in a Granite Landscape. **Soil Science Society of America Journal**, [S.L.], v. 64, n. 4, p. 1434-1442, 2000. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2000.6441434x>.

- SORIANO, B. M. A. **Boletim Agrometeorológico: 1997 (Fazenda Nhumirim)**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2000. 21p.
- SORIANO, B. M. A.; OLIVEIRA, H.; CATTO, J. B.; COMASTRI FILHO, J.A.; GALDINO, S.; SALIS, S. M. **Plano de Utilização da Fazenda Nhumirim**. Brasília: Embrapa-CPAP, 1997. 72p. (EMBRAPA-CPAP, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 21).
- STANLEY, S. R.; CIOLKOSZ, E. J. Classification and Genesis of Spodosols in the Central Appalachians. **Soil Science Society of America Journal**, [S.L.], v. 45, n. 5, p. 912-917, 1981. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500050019x>
- STEFU, N.; NECULAE, A.; TURCU, L.; BALINT, A. Analysis of Metal Content in Soil in Timis County. **Annals of West University Of Timisoara - Physics**, [S.L.], v. 57, n. 1, p. 44-51, 1 2013. <http://dx.doi.org/10.1515/awutp-2015-0105>
- STOCKMANN, U.; CATTLE, S. R.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. Utilizing portable X-ray fluorescence spectrometry for in-field investigation of pedogenesis. **Catena**, [S.L.], v. 139, p. 220-231, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.007>
- TABOR, J. **Soil Classification Systems**. 2001. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.367.4630&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2020.
- TADINI, A. M.; NICOLODELLI, G.; SENESI, G. S.; ISHIDA, D. A.; MONTES, C. R.; LUCAS, Y.; MOUNIER, S.; GUIMARÃES, F. E.G.; MILORI, D. M. B. P. Soil organic matter in Podzol horizons of the Amazon region: humification, recalcitrance, and dating. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 613-614, p. 160-167, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.068>
- TAPIA, M. I. C.; MAMANI, M. R. C.; CASTRO, J. C.; ALCAZAR, S. F.; RAMOS, O. E. R. Validación del método analítico de fluorescencia de rayos x (FRX-ED) para la determinación de metales en suelos del municipio de Colquencha. **Rev. Bol. Quim**, La Paz, v. 36, n. 3, p. 139-147, 2019.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2017. 574p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181717/1/Manual-de-Metodos-de-Analise-de-Solo-2017.pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2020.
- VALERIO, M. W.; McDANIEL, P. A.; GESSLER, P. E. Distribution and Properties of Podzolized Soils in the Northern Rocky Mountains. **Soil Science Society of America Journal**, [S.L.], v. 80, n. 5, p. 1308-1316, 2016. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2016.04.0109>
- VANCE, G. F.; MOKMA, D. L.; BOYD, S. A. Phenolic Compounds in Soils of Hydrosequences and Developmental Sequences of Spodosols. **Soil Science Society of America Journal**, [S.L.], v. 50, n. 4, p. 992-996, 1986. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000040032x.C>
- VEPRASKAS, M. J. **Redoximorphic Features for Identifying Aquic Conditions, North Carolina**. Raleigh: NC State University, 2015. 29 p. (Technical Bulletin, n. 301).
- VIDAL-TORRADO, P. **Espodossolos**. Piracicaba, 2009. 31 slides, color. Apresentação de aula da disciplina LSO 410 - Gênese, Morfologia e Classificação de Solos, ESALQ, USP. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/134638/mod\\_resource/content/1/Espodossolos.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/134638/mod_resource/content/1/Espodossolos.pdf)>. Acesso em: 02 mai. 2020.
- VILELA, E. F.; INDA, A. V.; ZINN, Y. L. Soil genesis, mineralogy and chemical composition in a stearite outcrop under tropical humid climate in Brazil. **Catena**, [S.L.], v. 183, p. 1-15, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2019.104234>

- WEINDORF, D. C.; BAKR, N.; ZHU, Y. Advances in Portable X-ray Fluorescence (PXRF) for Environmental, Pedological, and Agronomic Applications. **Advances in Agronomy**, [S.L.], p. 1-45, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-802139-2.00001-9>
- WEINDORF, D. C.; ZHU, Y.; MCDANIEL, P.; VALERIO, M.; LYNN, L.; MICHAELSON, G.; CLARK, M.; PING, C. L. Characterizing soils via portable x-ray fluorescence spectrometer: 2. Spodic and Albic horizons. **Geoderma**, [S.L.], v. 189-190, p. 268-277, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.06.034>
- WEYLER, G. Projeto Pantanal. Ponta Grossa: PETROBRÁS –DEBSP, 1962. IN: SOUZA, C. A.; SOUZA, J. B. Pantanal Mato-Grossense: origem, evolução e as características atuais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros Seção Três Lagoas**, n. 11, p. 34-54, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufms.br/index.php/RevAGB/article/view/654/469>>. Acesso em: 30 ago. 2020.
- WIEDERHOLD, J. G.; TEUTSCH, N.; KRAEMER, S. M.; HALLIDAY, A. N.; KRETZSCHMAR, R. Iron Isotope Fractionation during Pedogenesis in Redoximorphic Soils. **Soil Science Society of America Journal**, [S.L.], v. 71, n. 6, p. 1840-1850, 2007a. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2006.0379>
- WIEDERHOLD, J. G.; TEUTSCH, N.; KRAEMER, S. M.; HALLIDAY, A. N.; KRETZSCHMAR, R. Iron isotope fractionation in oxic soils by mineral weathering and podzolization. **Geochimica Et Cosmochimica Acta**, [S.L.], v. 71, n. 23, p. 5821-5833, 2007b. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2007.07.023>
- ZANI, H.; ASSINE, M. L. Paleocanais no megaleque do rio Taquari: mapeamento e significado geomorfológico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 1, p. 37-43, 2011. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.20114113743>
- ZANI, H.; ASSINE, M. L.; ARAÚJO, B. C.; MERINO, E. R.; SILVA, A.; FANCICANI, E. M. Lobos deposicionais na evolução do megaleque do rio Taquari, Pantanal Mato-grossense. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1., 2006, Campo Grande. *Anais...* Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006. p. 285-292. Disponível em: <<http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.12.13.12/doc/p101.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2020.
- ZANI, H.; ASSINE, M. L.; MCGLUE, M. M. Remote sensing analysis of depositional landforms in alluvial settings: method development and application to the Taquari Megafan, Pantanal (Brazil). **Geomorphology**, [S.L.], v. 161-162, p. 82-92, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.04.003>.

## 8. APÊNDICE

### Descrições gerais do ambiente e morfológicas dos solos estudados

**PERFIL – P1**

**DATA – 22/11/2018**

**CLASSIFICAÇÃO SiBCS (SANTOS et al, 2018) – ESPODOSSOLO FERRI-HUMILÚVICO**  
Hidromórfico típico

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS** – Perfil localizado próximo a estrada local da Fazenda Nhumirim, Corumbá – MS, P1 - (18°59'13,2"S; 56°38'5,6"W).

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** – Trincheira aberta em área plana com declividade inferior 2%, localizada em área de inundação sazonal adjacente a uma baía. Vegetação de pastagem nativa de capim-vermelho (*Andropogon hypogynus*) com ocorrência de gravatás nas proximidades.

**ELEVAÇÃO** – 80 m (altitude elipsoidal).

**LITOLOGIA REGIONAL** – Sedimentos arenosos e argilo-arenosos.

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA** – Formação Pantanal.

**CRONOLOGIA** – Quaternário.

**MATERIAL ORIGINÁRIO** – Produtos da alteração dos sedimentos supracitados.

**PEDREGOSIDADE** – não pedregosa.

**ROCHOSIDADE** – não rochosa.

**RELEVO LOCAL** – plano.

**RELEVO REGIONAL** – plano.

**EROSÃO** – nula.

**DRENAGEM** – Imperfeitamente drenado.

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA** – Campo tropical.

**USO ATUAL** – Sem uso. Vegetação nativa.

**CLIMA** – Tropical com chuvas de verão (Aw), da classificação de Köppen.

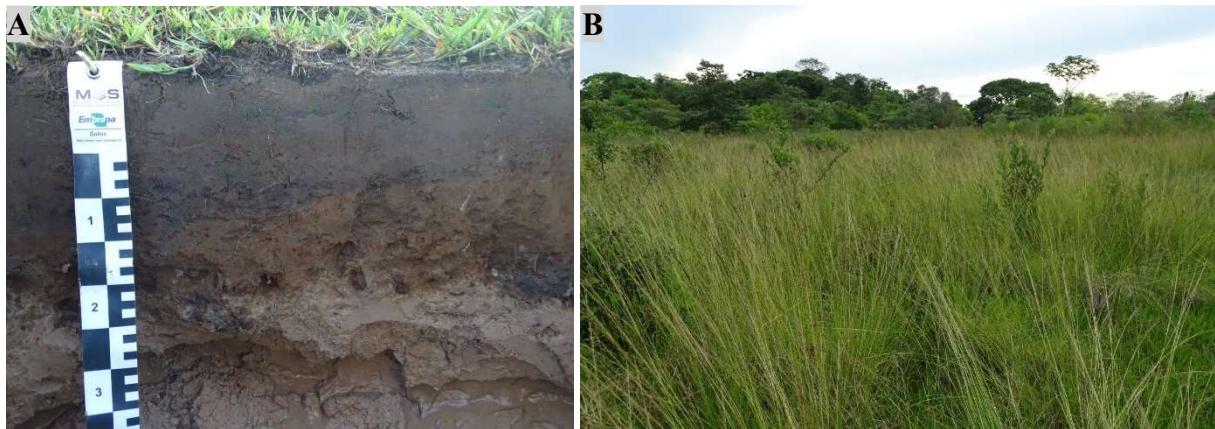
**DESCRITO E COLETADO POR** – Andressa Rosas de Menezes, Ana Carolina Canto, Ademir Fontana, Marcos Gervasio Pereira, Jolimar Antônio Schiavo.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A	0-12 cm (10-13), cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmida), mosqueado abundante, pequeno e distinto, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4) e pouco, pequeno e distinto, preto (N 2/); areia; fraca pequena a média granular, muito friável, ligeiramente plástica, não pegajosa; clara e ondulada.
Bhsc	12(10-13) - 16 (13-20) cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2); mosqueado abundante, médio e distinto, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); areia; grãos simples, solta, não plástica, não pegajosa, abrupta e ondulada. Muitos poucos nódulos pequenos, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.
Bsc	16 (13-20) - 27(26-29) cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4), mosqueado abundante, grande e distinto, bruno-avermelhado (5YR 4/4), areia; grãos simples, solta, não plástica, não pegajosa, abrupta e ondulada. Muitos poucos nódulos pequenos, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.
Bhc	(24-33) - (26-24), preto (N 2/); areia; grãos simples, solta, não plástica, não pegajosa, abrupta e quebrada. Muitos poucos nódulos pequenos e grandes, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.
C	27(26-29) - 52 cm, areia, grãos simples, solta, não plástica e não pegajosa. Muitos poucos nódulos grandes, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.

## OBSERVAÇÕES

- Presença de raízes no horizonte A muitas e finas e poucas médias;
- Lençol freático a 52 cm.



**Figura 27.** A. ESPODOSSOLO FERRI-HUMILÚVICO Hidromórfico típico, perfil. B. Vegetação de pastagem nativa de capim vermelho na área de coleta dos perfis P1, P2 e P4, Fazenda Nhumirim, Corumbá – MS.

### PERFIL – P2

**DATA** – 22/11/2018

**CLASSIFICAÇÃO SiBCS (SANTOS et al, 2018)** – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico típico.

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS** – Perfil localizado próximo a estrada local da Fazenda Nhumirim, Corumbá – MS, P2 - (18°59'11,9"S; 56°38'6,7"W).

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** – Trincheira aberta em área plana com declividade inferior 2%, localizada em área de inundação sazonal adjacente a uma baía. Vegetação de pastagem nativa de capim-vermelho (*Andropogon hypogynus*) com ocorrência de gravatás nas proximidades.

**ELEVAÇÃO** – 80 m (altitude elipsoidal).

**LITOLOGIA REGIONAL** – Sedimentos arenosos e argilo-arenosos.

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA** – Formação Pantanal.

**CRONOLOGIA** – Quaternário.

**MATERIAL ORIGINÁRIO** – Produtos da alteração dos sedimentos supracitados.

**PEDREGOSIDADE** – não pedregosa.

**ROCHOSIDADE** – não rochosa.

**RELEVO LOCAL** – plano.

**RELEVO REGIONAL** – plano.

**EROSÃO** – nula.

**DRENAGEM** – Imperfeitamente drenado.

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA** – Campo tropical.

**USO ATUAL** – Sem uso. Vegetação nativa.

**CLIMA** – Tropical com chuvas de verão (Aw), da classificação de Köppen.

**DESCRITO E COLETADO POR** – Andressa Rosas de Menezes, Ana Carolina Canto, Ademir Fontana, Marcos Gervasio Pereira, Jolimar Antônio Schiavo.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-10 (8-11) cm, cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmida); areia, fraca pequena granular, muito friável, ligeiramente plástica, não pegajosa, clara e ondulada.

Bh	10(8-11) - 12(8-16) cm, bruno-acimentado muito escuro (10YR 3/2); areia; grãos simples, solta, não plástica, não pegajosa, clara e descontínua.
Bhsc	12(8-16) - 14(11-17) cm, bruno escuro (7,5YR 3/2); areia; grãos simples, solta, não plástica, não pegajosa, clara e ondulada. Muitos poucos nódulos pequenos, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.
Bhsc/E	14(11-17) - 23(17-30) cm, bruno-acimentado muito escuro (10YR 3/2), mosqueado pouco, pequeno e distinto, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4); areia; grãos simples, solta, não plástica, não pegajosa, clara e descontínua. Muitos poucos nódulos pequenos, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.
Bstc	23(17-30) - 31(30-33) cm, coloração variegada composta por preto (N 2/) e bruno-amarelado escuro (10YR 3/4), areia franca, fraca a moderada pequena a média blocos sub-angulares, muito friável, ligeiramente plástica, não pegajosa, clara e ondulada. Muitos poucos nódulos pequenos, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.
Bhc	31(30-33) - 37(36-38) cm, preto (10YR 2/1), areia, grão simples, solta, não plástica, não pegajosa, clara e ondulada. Poucos nódulos pequenos, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.
C	37(36-38) - 55 cm, branco (10YR 8/1), mosqueado pouco, médio e proeminente, preto (N 2/), areia, grãos simples, solta, não plástica, não pegajosa. Muito poucos nódulos grandes, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.

### OBSERVAÇÕES

- Presença de raízes no horizonte no horizonte A muitas finas e raras médias;
- Lençol freático a 55 cm.



**Figura 28.** A. ESPODOSSOLO HUMILÚVICO  
Órtico típico, perfil P2. B. Nódulos no horizonte C do perfil P2, Fazenda Nhumirim, Corumbá – MS.

## PERFIL – P3

**DATA** – 22/11/2018

**CLASSIFICAÇÃO SiBCS (SANTOS et al, 2018)** – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico arênico.

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS** – Perfil localizado próximo a estrada da Fazenda Nhumirim para a Fazenda Campo Dora, 1,2 km após a sede, após 900 m à esquerda e em seguida 50 à direita da estrada. Corumbá – MS, P3 - (18°59'11,7"S; 56°38'10,2"W).

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** – Trincheira aberta em área plana com declividade inferior 2%, localizada em área de transição entre baía e cordilheira. Vegetação de pastagem nativa comporta por *Mesosetum sp.*, *Setariageniculata* e *Rychardia sp.*, com ocorrência de gravatás, assa-peixe, árvores de louro, juá e malva.

**ELEVAÇÃO** – 82 m (altitude elipsoidal).

**LITOLOGIAREGIONAL** – Sedimentos arenosos e argilo-arenosos.

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA** – Formação Pantanal.

**CRONOLOGIA** – Quaternário.

**MATERIAL ORIGINÁRIO** – Produtos da alteração dos sedimentos supracitados.

**PEDREGOSIDADE** – não pedregosa.

**ROCHOSIDADE** – não rochosa.

**RELEVO LOCAL** – plano.

**RELEVO REGIONAL** – plano.

**EROSÃO** – nula.

**DRENAGEM** – Imperfeitamente drenado.

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA** – Campo tropical.

**USO ATUAL** – Sem uso. Vegetação nativa.

**CLIMA** – Tropical com chuvas de verão (Aw), da classificação de Köppen.

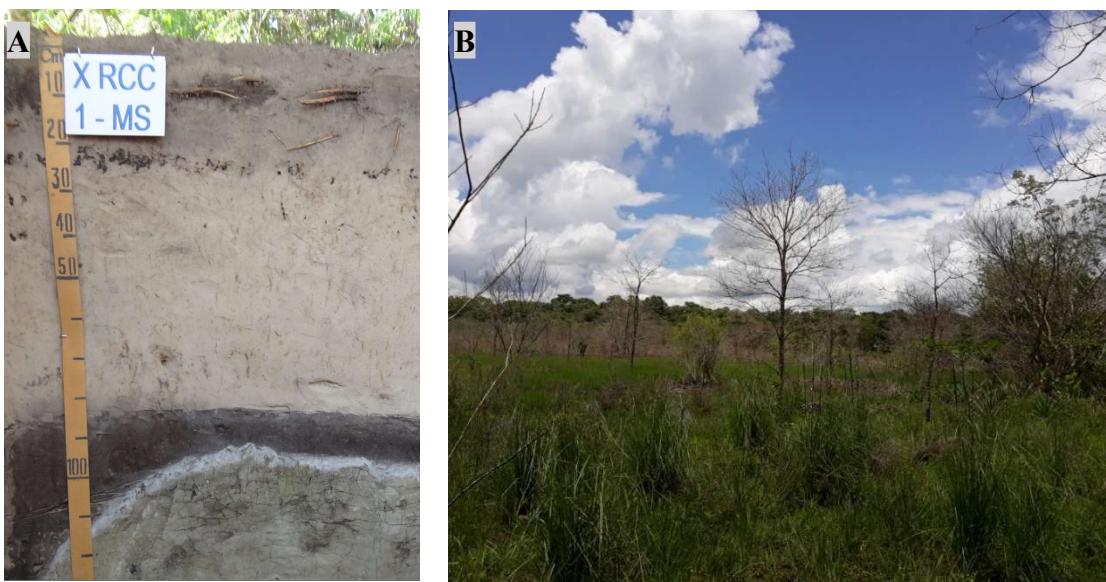
**DESCRITO E COLETADO POR** – Andressa Rosas de Menezes, Ana Carolina Canto, Ademir Fontana, Marcos Gervasio Pereira, Jolimar Antônio Schiavo.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1 0 - 10 cm, cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmida), areia, fraca pequena a média granular, muito friável, clara e plana.
- A2 10 - 18 cm, cinzento escuro (10YR 4/1); areia; fraca pequena granular, muito friável, ligeiramente plástica, não pegajosa, abrupta e plana.
- E1 18 - 28 cm, bruno-amarelado escuro (7,5YR 3/4); areia; grãos simples; solta, slta, não plástica, não pegajosa, clara e plana. Muitos poucos nódulos pequenos, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.
- E2 28 - 45 cm, bruno-amarelado (10YR 5/4); areia; grãos simples, solta, não plástica, não pegajosa. Muitos poucos nódulos pequenos, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.
- Bh 85 - 105 cm, preto (N 2/), areia, solta, não plástica, não pegajosa.
- Btgn 105 - 115 cm, coloração variegada composta por verde-acinzentado (5GY 5/2) e preto (N 2/), areia franca, muito friável, ligeiramente plástica, não pegajosa.

## OBSERVAÇÕES

- Presença comum de raízes finas comum no horizonte A1 e rara de raízes finas no horizonte A2;
- Lençol freático a 45 cm;
- Os horizontes Bh e Btgn foram coletados por tradagem;
- O perfil descrito na mesma localização do perfil MS-01 da X RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012).



**Figura 29.** A. ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico arênico, Perfil MS01 descrito na X RCC (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012), Fonte: Ademir Fontana. B. Vegetação de campo limpo, a área de coleta do perfil P3, Fazenda Nhumirim, Corumbá – MS.

#### PERFIL – P4

**DATA** – 22/11/2018

**CLASSIFICAÇÃO SiBCS (SANTOS et al, 2018)** – ESPODOSSOLO FERRI-HUMILÚVICO Hidromórfico típico.

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS** – Perfil localizado próximo a estrada da Fazenda Nhumirim para a Fazenda Campo Dora. Corumbá – MS, P4 - (18°59'13,4S; 56°38'5,9"W).

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** – Trincheira aberta em área plana com declividade inferior 2%, localizada em área de inundação sazonal adjacente a uma baía. Vegetação de pastagem nativa de capim-vermelho (*Andropogon hypogynus*) com ocorrência de gravatás nas proximidades.

**ELEVAÇÃO** – 80 m (altitude elipsoidal).

**LITOLOGIAREGIONAL** – Sedimentos arenosos e argilo-arenosos.

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA** – Formação Pantanal.

**CRONOLOGIA** – Quaternário.

**MATERIAL ORIGINÁRIO** – Produtos da alteração dos sedimentos supracitados.

**PEDREGOSIDADE** – não pedregosa.

**ROCHOSIDADE** – não rochosa.

**RELEVO LOCAL** – plano.

**RELEVO REGIONAL** – plano.

**EROSÃO** – nula.

**DRENAGEM** – Imperfeitamente drenado.

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA** – Campo tropical.

**USO ATUAL** – Sem uso. Vegetação nativa.

**CLIMA** – Tropical com chuvas de verão (Aw), da classificação de Köppen.

**DESCRITO E COLETADO POR** – Andressa Rosas de Menezes, Ana Carolina Canto, Ademir Fontana, Marcos Gervasio Pereira, Jolimar Antônio Schiavo.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0 - 6,5 cm, bruno escuro (10YR 3/3, úmida), mosqueado comum, pequeno e distinto, vermelho-amarelado (5YR 5/8), areia; fraca pequena a média granular, muito friável, ligeiramente plástica, não pegajosa, clara e plana.
- Bhs 6,5 - 9 cm, coloração variegada composta por bruno muito escuro (7,5YR 2,5/3) e cinzento muito escuro (7,5YR 3/1); areia; grãos simples, solta, não plástica, não pegajosa, abrupta e plana.
- Bs1 9 - 14,5 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4); areia; grãos simples, solta, não plástica, não pegajosa, clara e plana. Muitos poucos nódulos pequenos, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.
- Bs2 14,5 - 20,5 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6); areia, grãos simples, solta, não plástica, não pegajosa, clara e plana. Muitos poucos nódulos pequenos, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.
- Bsc 20,5 - 27 cm, coloração variegada composta por bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3), areia; grãos simples, solta, não plástica, não pegajosa, plana e abrupta. Frequentes nódulos pequenos e grandes, duros, irregulares, vermelhos e pretos, ferro e manganês.
- C 27 - 45 cm, bruno-amarelado-claro (10YR 6/4), mosqueado pouco a comum, médio e distinto, bruno-amarelado-esuro (10YR 4/4), areia, grãos simples, solta, não plástica, não pegajosa.

## OBSERVAÇÕES

- Presença de raízes finas em muita quantidade e médias em quantidade pouca no horizonte A, raízes finas em quantidade comum no horizonte Bhs e de raízes finas em rara quantidade no horizonte Bs1;
- Lençol freático a 43 cm.



**Figura 30.** ESPODOSSOLO FERRI-HUMILÚVICO Hidromórfico típico, perfil P4 descrito na Fazenda Nhumirim, Corumbá - MS.