

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**GUILHERME DE SOUZA GOMES**

**DIAGNÓSTICO DA EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DO DELTA DO JACÚÍ:  
PALEOCANAIS E FASES DE ACREÇÃO**

Porto Alegre, 2018

**GUILHERME DE SOUZA GOMES**

**DIAGNÓSTICO DA EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DO DELTA DO JACÚÍ:  
PALEOCANAIS E FASES DE ACREÇÃO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Rualdo Menegat

**Co-orientador:** Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza

Porto Alegre, 2018

## **UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

## **INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Gomes, Guilherme de Souza

Diagnóstico da evolução morfológica do Delta do Jacuí:  
paleocanais e fases de acreção. / Guilherme de Souza Gomes. -  
Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2018.  
97 f. il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão do Curso de  
Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2018.

Orientador: Rualdo Menegat

Co-orientador: Eduardo Guimarães Barboza

1. Paleocanais. 2. Ilhas deltaicas. 3. Acreção deltaica. 4.  
Sedimentação deltaica. I. Título.

CDU 551.4

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira      CRB 10/2310

---

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Diagnóstico da evolução morfológica do delta do Jacuí: paleocanais e fases de acreção** elaborado por **Guilherme de Souza Gomes**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Comissão Examinadora:**

Profa. Dra. Maria Lidia Vignol Lelarge

---

Prof. Dr. Pedro Antônio Roehe Reginato

---

Prof. Me. Alfonso Risso

---

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de iniciar meus agradecimentos à minha família (mãe, pai e irmão), por todo o suporte que recebi durante a vida inteira, pelo apoio que me deram e que sei que sempre terei aonde eu estiver. Mãe, Pai, obrigado por serem quem vocês são. Sei que o mundo lá fora é complicado e talvez seja por causa disso que vocês sejam super preocupados em quererem o nosso bem (meu e do meu irmão), mas agora o filho de vocês está pronto pra bater as asas e isso se deve diretamente a todos os infinitos conselhos que vocês me deram e que sei que vão continuar me dando ao longo da vida. Pode ter certeza que por mais alto, ou longe, que eu possa estar voando, saibam que eu sempre vou voltar pra casa. Amo muito todos vocês.

Aos meus amigos de longa data (da vila, do colégio e da praia), obrigado por todo companheirismo, pelos inúmeros momentos bons e por fazerem parte da minha família também. Sempre tive em mente que por mais distante que a gente possa estar, o que sentimos pelas pessoas que gostamos não muda. Ele apenas fica guardado a espera de despertar no próximo reencontro. Laços assim, eu nunca esquecerei e podem ter certeza que estarão sempre muito bem guardado em mim. A vocês, meu eterno carinho, respeito e admiração. Contem comigo sempre.

Ao meu orientador, o professor Rualdo Menegat, por ter sido um exemplo de professor, de orientador e por ter me ajudado em momentos difíceis, na qual requeria muito esforço de minha parte na organização de diversas tarefas estudantis. Ao senhor, meu eterno respeito, carinho e admiração, tanto pela pessoa que o senhor é, quanto pelas ideias e iniciativas visionárias em termos sociais que o senhor já conquistou e que ainda está conquistando. Muito obrigado professor, conte comigo sempre.

E agradeço também a todas as pessoas incríveis que conheci nessa geologia, nessa universidade e nesse momento atual da minha vida. Uma vez me disseram que "as pessoas passam pela nossa vida deixando um pouco de si e levando pouco da gente." Desta forma, à todos que estiveram ao meu lado, que torceram por mim e que compartilharam suas alegrias, seus anseios e suas esperanças comigo, vocês possuem um lugar reservado no meu coração. Contem comigo sempre. Obrigado.

"O amor é a maior força que a esperança tem para continuar a viver."

Vanderléia J. Nunes

## RESUMO

Uma das maiores áreas úmidas do Rio Grande do Sul, o Delta do Jacuí é um arquipélago que se originou por meio do acúmulo de sedimentos transportados pelos rios Jacuí, Gravataí, Caí e dos Sinos desde o Pleistoceno Superior. O estudo da morfologia de sistemas deltaicos pode fornecer informações litoestratigráficas e paleoambientais para se determinar como ilhas de deltas evoluíram ao longo do tempo. Como são escassos os estudos geológicos aprofundados no Delta do Jacuí, este trabalho tem por objetivo apresentar resultados de investigações para elaboração de mapas geomorfológicos-sedimentares de evolução das ilhas deltaicas, onde foi possível identificar paleocanais e paleozonas que evidenciem estágios de acreção sedimentar. Este trabalho estrutura-se em três etapas. a) análise de imagens de satélite para o rastreamento, avaliação e distribuição espacial de paleocanais e paleozonas de acreção, além de reconhecer padrões morfológicos que indiquem evolução deltaica; b) reconhecimento geomorfológico de superfície e de sub-superfície em período de campo, além de obtenção de quatro testemunhos de sondagem a percussão; c) processamento de dados em termos de análise granulométrica, de conteúdo de matéria orgânica, difração de raios X em 13 amostras dos testemunhos e confecção de mapas georreferenciados. Como resultado, foram produzidos os seguintes produtos técnicos: a) mapas georreferenciados (RGB, IV, altimétrico) na escala 1:1.000 e um mapa de paleocanais e zonas de acreção na escala 1:4.000; b) seção bidimensional de subsuperfície; c) arcabouço estratigráfico do arquipélago a baixas profundidades. Por fim, os dados foram integrados em termos da proposição de modelo evolutivo das ilhas do Delta do Jacuí. Foi possível reconhecer duas formas básicas de formação de ilhas deltaicas, as de barra em chevron e as de barra longitudinal. Essas formas se coalescem para formar ilhas mais complexas, cuja evolução, estágio por estágio, foi proposta para as principais ilhas, sendo reconhecidos seus análogos atuais em todos os estágios propostos (inicial, intermediário e avançado). Essa evolução reflete a variação do nível de base e a progradação deltaica no lago Guaíba.

**Palavras-Chave:** Paleocanais, ilhas deltaicas, sedimentação deltaica;

## ABSTRACT

One of the largest wetlands in Rio Grande do Sul, near to the biggest city in this state, the Jacuí Delta is an archipelago originated through the accumulation of sediments transported by the Jacuí, Gravataí, Caí and Sinos rivers since the Upper Pleistocene Age. The study of the morphology of this delta system can provide lithostratigraphic and paleoenvironmental information to determine how deltaic islands had evolved over time. As geological studies are scarce in this delta, the objective of this work is present a geomorphological-sedimentary map of the evolution of the deltaic islands, in which it is possible to identify paleodistributary channel and accretion zones that support evidences for the stages of sedimentary evolution. For this, the work is structured in three stages. a) analysis of satellite images and aerial photographs allowed the tracking, evaluation and spatial distribution of paleodistributary channel and accretion zones, besides of recognize morphological patterns indicative of delta evolution. b) geomorphological recognition of surface and subsurface formations, in field stage, besides of the getting four cores by percussion drilling; c) data processing in terms of particle size analysis, organic matter content, X-ray diffraction in 13 samples of the samples and georeferenced mapping. As a result, the following technical products were produced: a) georeferenced maps (RGB, IV, altimetric) in the 1: 1,000 scale and a map of paleodistributary channels and accretion zones in the 1: 4,000 scale; b) two-dimensional subsurface section; c) stratigraphic structure of the archipelago at low depths. Finally, the data were integrated in terms of the sedimentary evolution model of the Jacuí Delta's islands. In this way, two basic forms of islands were recognized: chevron bar and longitudinal bar. These forms coalesce to generate more complex islands, whose evolution stage by stage was proposed for the main islands, being recognized its analogues in all the stages of evolution (initial, intermediate and advanced). This evolution reflect the base level variation and the deltaic progradation in Guaíba Lake.

**Key words:** paleodistributary channel, deltaic island, deltaic sedimentary evolution; deltaic sedimentology; delta

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Fotografia aérea do Delta do Jacuí. (Foto: Gerson, 2009). 2
- Figura 2: Mapa geológico integrado do Delta do Jacuí, (Fonte: CPRM, 2006.) 7
- Figura 3: 1º estágio de formação das ilhas deltaicas e sua vegetação predominante (Modificado de KNIJINIK, 1977; Protero, 1990) e representação esquemática de macrófitos flutuantes e de juncais em terrenos recém-acretados. (OLIVEIRA; PORTO, 2006). 9
- Figura 4: 2º estágio de evolução das ilhas deltaicas (Modificado de KNIJINIK, 1977; PROTERO, 1990) e representação esquemática de Sarandis e de Aguapés (OLIVEIRA & PORTO, 2006). 10
- Figura 5: Estágio intermediário de evolução das ilhas deltaicas (Modificado de KNIJINIK, 1977; PROTERO, 1990). 10
- Figura 6: a) Formação de banhados ou lagoas de decantação; b) Estágio de coalescência das ilhas deltaicas (Modificado de KNIJINIK, 1977; PROTERO, 1990). 11
- Figura 7: a) Estágio avançado das ilhas deltaicas com formação de paleocanais (Modificado de KNIJINIK, 1977; PROTERO, 1990); b) Representação esquemática da vegetação num estágio mais avançado de evolução das ilhas deltaicas (OLIVEIRA; PORTO, 2006). 11
- Figura 8: Fluxograma com as metodologias e estratégias de ação do presente projeto. 12
- Figura 9: Geotecnologias aplicadas neste método para a análise e identificação de paleocanais e de paleozonas de acreção sedimentar na região do Delta do Jacuí [Modificado de ROSA (2012)]. 13
- Figura 10: Espectro eletromagnético dividido em regiões, caracterizados por diferentes comprimentos de onda e frequências (FLORENZANO, 2007 apud ROSA, 2012). Foram adicionadas as faixas utilizadas pelos equipamentos de sensoriamento remoto e de geofísica (ROSA, 2012). 17
- Figura 11: Curva espectral da água, do solo e da vegetação (FLORENZANO, 2007). 17
- Figura 12: Composição colorida de uma imagem de sensor ETM+ Landsat 7 dos canais 123 [Modificado de <http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/hist.html>] 19
- Figura 13: Arquitetura de um Sistema de Informação Geográfica [Modificado de (ROSA, 2012)]. 20

Figura 14: Etapas envolvidas por meio do método do georradar e esquema demonstrativo de obtenção de cota altimétrica pelo sistema GNSS.	22
Figura 15: Localização dos furos de sondagem PDJ01A, PDJ01B, PDJ02A, PDJ02B e seções geofísicas Delta001, Delta002, Delta003 e Delta004, levantadas com equipamento de GPR	23
Figura 16: Etapas para testemunho de sondagem durante o período de campo.	24
Figura 17: a) Processo de maceração e peneiramento das amostras; b) Identificação das amostras para posterior análise.	26
Figura 18: Processo de pesagem das amostras em cadinhos para posterior calcinação.	27
Figura 19: Ilustração esquemática dos componentes essenciais de um difratômetro de raios X. Nesse instrumento, o porta-amostra rotaciona a $\theta$ enquanto que o braço detector rotaciona a $2\theta$ (KLEIN; DUTROW, 2012).	29
Figura 20: a) Paleocanal coberto por gramíneas aquáticas e, nas laterais elevadas, vegetação arbustiva; b): Local onde foi fixado o equipamento para o furo de sondagem PDJ01A.	30
Figura 21: Mosaico do ponto PDJ01B localizado na crista com vegetação arbórea entre dois paleocanais.	31
Figura 22: a) Ponto PDJ02B localizado na crista com vegetação arbustiva entre dois paleocanais e recolhimento da amostra na viatura de campo; b) Transferindo a amostra coletada para dentro do carro.	31
Figura 23: a) Ponto PDJ03A localizado aos fundos de um terreno privado de uma família da localidade, próximos a uma sanga; b) Amostra coletada de uma calha de um paleocanal com vegetação arbórea fechada.	32
Figura 24: Ilha do Chico Inglês sob a perspectiva espectral de RGB - visível e de Infra-vermelho e sob uma perspectiva altimétrica, traçando um perfil topográfico, cortando a ilha longitudinalmente.	37
Figura 25: Mapa espectral com bandas RGB - visível do Delta do Jacuí.	38
Figura 26: Mapa espectral de infra-vermelho do Delta do Jacuí.	39
Figura 27: Mapa altimétrico do Delta do Jacuí.	40
Figura 28: Identificação de paleocanais por meio de critério vegetacional em mapa espectral RGB - visível	42
Figura 29: a) Espectro de absorção de uma folha comum. A folha absorve a radiação do azul e do vermelho e reflete o verde e o infravermelho próximo	

- (Campbell, 2011). Típica curva espectral de uma folha viva. A folha possui um brilho maior na região do infravermelho próximo do que a faixa do verde. No entanto, em termos de espectro do visível, a região de máxima refletância é o do verde (Campbell, 2011). 43
- Figura 30: a) Interação da estrutura interna da folha com as radiações do visível e do infravermelho (Campbell, 2011). b) Mudanças no conteúdo de água dentro da estrutura interna das folhas se tornam proeminentes na faixa do infravermelho médio (Tucker, 1979). 43
- Figura 31: Identificação de paleocanais por meio de critério vegetacional em mapa espectral de infravermelho. 44
- Figura 32: Identificação de paleocanais por meio de critério altimétrico. 45
- Figura 33: Esquema ilustrativo da geomorfologia de um dique marginal. 45
- Figura 34: a) Localização dos pontos para a coleta de testemunho de sondagem e também de onde foi feita a seção bidimensional de subsuperfície. b) Região de crista e de calha de um dique marginal e consequente coleta de amostra, por meio de testemunho de sondagem, em cada um deles. 47
- Figura 35: Identificação de um paleocanal e de um dique marginal por meio da técnica de georradar, ou GPR - *Ground Penetrating Radar*, onde foi possível observar diferenças litológicas em termos de sinais recebidos. 48
- Figura 36: Coluna estratigráfica do testemunho de sondagem PDJ01A em depósito de calha de um paleocanal. 49
- Figura 37: Coluna estratigráfica do testemunho de sondagem PDJ01B em depósito de crista de um paleocanal. 50
- Figura 38: Coluna estratigráfica do testemunho de sondagem PDJ02B em depósito de crista de um paleocanal. 51
- Figura 39: Coluna estratigráfica do testemunho de sondagem PDJ03A em depósito de calha de um paleocanal. 52
- Figura 40: Mapa de paleocanais e paleozonas de acreção sedimentar. [Fonte: Guilherme de Souza Gomes] 57
- Figura 41: a) Desaceleração rápida de velocidade de fluxo, ocasionando deposição de sedimento. b) Relação entre velocidade de fluxo com tamanho de grão e densidade dos sedimentos depositados [Modificado de LEEDER (1999), baseado em WRIGHT (1977)]. 58
- Figura 42: a) Formação de barras de acreção sedimentar na foz de um canal com posterior bifurcação de fluxo hidrodinâmico e formação de novas barras

de canal. b) Novas zonas de acreção sedimentar sendo formadas [Modificado de LEEDER (1999), baseado em WRIGHT (1977)]. 59

Figura 43: a) Formação de uma ilha de barra em chevron. b) Formação de uma ilha de barra longitudinal. 60

Figura 44: a) Análogo em estágio inicial de evolução em ilha de barra em chevron - Ilha do Chico Inglês. b) a) Análogo em estágio inicial de evolução em ilha de barra longitudinal. [Imagem Landsat, levantamento 1:1.000] 60

Figura 45: Estádios de acreção de barra longitudinal em canal distributário sob influência de fluxo lateral oblíquo. [Fonte: Guilherme de Souza Gomes] 62

Figura 46: Ilha do Cipriano, mostrando a forma final resultante de acreção de barra longitudinal, em estágio intermediário, sob influência de canal oblíquo. [Imagem do levantamento aerofotogramétrico] 62

Figura 47: Ilha Passo dos Marinheiros cuja forma resulta da coalescência, em estágio avançado, de duas ilhas longitudinais cuja acreção deu-se sob influência de fluxos oblíquos, sendo eles os rios Caí, Sinos. [Imagem do levantamento aerofotogramétrico] 63

Figura 48: a) Formação de uma ilha de barra em chevron com vértice a montante do fluxo principal. b) Formação de ilhas de barras em chevron adjacentes sob influência do fluxo principal. 64

Figura 49: a) Estreitamento do canal adjacente devido a acreção sedimentar lateral da barreira natural e das ilhas de barra em chevron próximas. b) Coalescência das ilhas com posterior formação de paleocanal, de uma baía de decantação e da criação de um canala com fluxo perpendicular ao fluxo principal. 65

Figura 50: a) Coalescência da ilha mais distal e posterior formação de baías. b) formação de uma barra em chevron no braço mais ao norte da ilha coalescida sob influência do fluxo do canal b. 65

Figura 51: Ilha da Casa da Pólvora, mostrando a forma final resultante de acreção de barra em chevron, em estágio intermediário, sob influência de canais com mesmo sentido de fluxo hidrodinâmico, mas separados por uma barreira natural. [Imagem Landsat, levantamento 1:1.000] 66

Figura 52: Ilha das Flores cuja forma resulta da coalescência de três ou mais ilhas de barra em chevron, configurando-se num estágio muito mais avançado de evolução. [Imagem Landsat, levantamento 1:1.000] 66

Figura 53: Localização dos análogos de ilhas de barra em chevron e de barra longitudinal em todos os seus estágios evolutivos (inicial, intermediário e avançado). 67

## LISTA DE QUADROS

Tabela 1: Profundidade total dos testemunhos e profundidade específica das amostras coletadas. 25

Tabela 2: Resultados das análises obtidas para as amostras coletadas dos testemunhos de sondagem por meio das análises sedimentológicas, de matéria orgânica e de DRX. 55

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO E PROPOSIÇÃO DO ESTUDO ....	1
1.2. JUSTIFICATIVA.....	2
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3. ESTADO DA ARTE</b> .....	<b>4</b>
3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO E FORMAÇÃO DO DELTA DO JACUÍ.....	4
3.2. MODELO EVOLUTIVO PRELIMINAR DAS ILHAS DELTAICAS.....	9
3.3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	12
<b>4. METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO</b> .....	<b>13</b>
4.1. SENSORIAMENTO REMOTO.....	15
4.2. GEOPROCESSAMENTO .....	19
4.3. GEORRADAR.....	20
4.3.1. APLICAÇÃO .....	21
4.4. TESTEMUNHADOR DE SONDAÇÃO A PERCUSSÃO.....	23
4.5. ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA.....	25
4.5.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	26
4.5.2. ANÁLISE DE MATÉRIA ORGÂNICA.....	26
4.6. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X .....	27
4.6.1. MÉTODO DO PÓ .....	28
4.6.2. APLICAÇÃO .....	28
4.7. CARACTERÍSTICAS DOS PONTOS COLETADOS EM CAMPO .....	29
4.7.1. INFORMAÇÕES DE CAMPO .....	30
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>33</b>
5.1. CARACTERIZAÇÃO DE PALEOCANAIS E PALEOZONAS DE ACREÇÃO .....	34

5.2. MODELOS EVOLUTIVOS DAS ILHAS DO DELTA DO JACUÍ .....	58
5.2.1. PADRÃO BÁSICO DE ILHA DO DELTA: ILHA DE BARRA EM CHEVRON .....	59
5.2.2. PADRÃO BÁSICO DE ILHA DO DELTA: ILHA DE BARRA LONGITUDINAL .....	60
5.2.3. COALESCÊNCIA DE PADRÕES BÁSICOS .....	61
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>74</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO E PROPOSIÇÃO DO ESTUDO

Uma das maiores áreas úmidas do Rio Grande do Sul, situada ao lado da capital do estado, o Delta do Jacuí originou-se por meio do acúmulo de sedimentos transportados pelos rios Jacuí, Gravataí, Caí e dos Sinos (Figura1) (MENEGAT & KIRCHHEIM, 2006). Ocupa uma vasta área com cerca de 210 km<sup>2</sup>, localizada entre as coordenadas geográficas de 29°53' e 30°03' de latitude sul e 51°28' e 51°13' de longitude oeste. É compartilhada por cinco municípios da Região Metropolitana: Porto Alegre, Canoas, Eldorado, Nova Santa Rita e Triunfo.

O Delta do Jacuí caracteriza-se como uma formação sedimentar que evoluiu a partir de eventos transgressivos e regressivos da linha de costa no Atlântico Sul, ocorridos desde o Pleistoceno Médio até os dias atuais (CHIAPPETTI, 2005). A área deltaica, no lago Guaíba, possui uma intensa dinâmica morfológica e sedimentar, o que, por sua vez, influencia na grande diferenciação das formações vegetais de suas ilhas e de seu entorno. Trata-se de uma área que apresenta também alta vulnerabilidade à ocupação humana, uma vez que se caracteriza como uma região com altos índices de inundações (RAUBER; ILGENFRITZ, 2006; RAUBER et al., 2006).

No entanto, essa região carece de pesquisas mais avançadas sobre a evolução morfodinâmica das ilhas deltaicas e de seus paleocanais. Logo, a investigação morfológica do sistema deltaico dessa área, que é de suma importância para o estado, bem como para o Brasil, pode fornecer informações importantes para se determinar como as ilhas que compõem esse sistema evoluíram ao longo do tempo.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Os resultados obtidos com este trabalho contribuirão para obter uma melhor compreensão evolutiva do Delta do Jacuí, auxiliando no desenvolvimento do conhecimento morfodinâmico, sedimentar e estratigráfico da região, uma vez que existem poucas referências na literatura a respeito desse tema. Portanto, o projeto fornecerá dados de caráter qualitativo e quantitativo que podem ser utilizados tanto para o meio acadêmico, para fins de pesquisa, como também para fins socioeconômicos e auxiliar no manejo ambiental da região, conscientizando as comunidades ribeirinhas que vivem ali sobre quais áreas possuem maior risco de inundação.

A pesquisa é viável em termos logísticos e financeiros, já que são poucos os equipamentos exigidos para a execução desta proposta. A área em questão está localizada a menos de 30 km do Campus do Vale da UFRGS, dentro da região metropolitana de Porto Alegre, com infraestrutura e facilidades de acesso por rodovia asfaltada.



Figura 1: Vista olho de pássaro do Delta do Jacuí, evidenciando-se a peculiar morfologia de suas ilhas em contexto de delta de cabeceira de baía confinado. (Foto: Gerson, 2009).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo central fazer um diagnóstico da evolução morfológica das ilhas do Delta do Jacuí, por meio de seus estudo morfodinâmico, sedimentar e estratigráfico, e propor um modelo integrador da evolução deltaica.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Rastrear a distribuição espacial de paleocanais e paleozonas de acreção sedimentar através da análise de fotografias aéreas e da elaboração de mapas georreferenciados (RGB, Infravermelho e Altimétrico) na escala 1:1.000, utilizando *softwares* de sensoriamento remoto e geoprocessamento (GLOBAL MAPPER®).
- b) Reconhecer padrões morfológicos que indiquem a evolução sedimentar das ilhas (paleocanais e paleozonas de acreção sedimentar).
- c) Fazer uma caracterização litológica deste tipo de ambiente, por meio da coleta de amostra via furo de sondagem análise de sedimentos, de matéria orgânica e difratometria de raios x;
- d) Mapear depósitos e formações subsuperficiais por meio do levantamento de dados geofísicos terrestres (métodos eletromagnético indutivo, eletrorresistividade e georadar – GPR, *ground penetrating radar*);
- e) Integrar os dados e proposição de modelo evolutivo das ilhas deltaicas.

### **3. ESTADO DA ARTE**

#### **3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO E FORMAÇÃO DO DELTA DO JACUÍ**

O Delta do Jacuí é um arquipélago formado por meio do acúmulo de sedimentos transportados pelos rios Jacuí, Gravataí, Caí e dos Sinos (MENEGAT; KIRCHHEIM, 2006), ocupando uma área territorial considerável. A área drenada por esses rios constitui-se em aproximadamente 110.000 km<sup>2</sup>, com suas bacias hidrográficas posicionadas em formações geológicas distintas, o que determina a deposição no delta de sedimentos de distintas composições. Esses sedimentos são oriundos tanto do Planalto Meridional, originados a partir de formações areníticas e basálticas, como da região do Planalto Uruguaio Sul-Rio-Grandense, onde existe a predominância de rochas ígneas e metamórficas; Por fim, também da Depressão Periférica, onde se formam a partir de rochas sedimentares da bacia do Paraná (CHIAPPETTI, 2005).

O delta do Jacuí tem sua formação e dinâmica relacionadas ao Sistema Laguna Barreira III, quando se formou o lago Guaíba na terceira transgressão há 125 mil anos (WILLWOCK; TOMAZELLI, 1995; MENEGAT et al. 2006), no Pleistoceno Superior, e Laguna Barreira IV. Este último sistema deposicional deveu-se à última transgressão marinha do Holoceno, há 5.600. O afogamento de costas embainhadas, como era a da costa sul-rio-grandense antes da formação da Laguna dos Patos, leva à formação de deltas de cabeceira de baía na desembocadura de rios. Isso reflete a mudança do nível de base e levando à transgressão da linha de costa em direção ao continente. A maior parte das margens continentais afogadas no sul da América do Sul possui deltas de cabeceira de baía, como o delta do Paraná no estuário Rio de La Plata, ou lagunares, como o Delta do Jacuí.

Além disso, tais feições são de ampla ocorrência nas costas afogadas da América do Norte e Europa (SIMMS et al., 2018), com papel relevante para as cidades costeiras pois possibilitam a instalação de portos. Deltas de cabeceira de baía ocorrem em diferentes contextos geomorfológicos (ver OLARIU et al., 2006;

ASCHOFF et al. 2016; SIMMS et al., 2018), entre os quais, vales incisos, fiordes, e ambientes de pós-barreira, como o do Delta do Jacuí no lago Guaíba. A progradação desses depósitos deltaicos ocorre em águas mais rasas e mais pantanosas do que quando em mar aberto, desenvolvendo clinofórmulas de no máximo 10 m de espessura, sendo comum abaixo de 5 m, sendo geralmente dominados por rios. Segundo Simms et al. (2018), a morfologia de deltas nesses contextos geomorfológicos sedimentares é condicionada por um limitado espaço de acomodação tanto pela pouca profundidade da lâmina d'água, que, no caso do Guaíba não ultrapassa 5 m, quanto pelo confinamento lateral, que contingencia a progradação, resultando em deltas confinados, como é o caso do delta do Jacuí. Regiões como essa são muito sensíveis à variação do nível de base, no caso em estudo, o delta do Jacuí é influenciado pela variação do nível do mar, porquanto o Guaíba é conectado com a laguna dos Patos e esta com o Oceano Atlântico. Por isso, tais deltas são muito sensíveis também a mudanças climáticas.

Durante os períodos de regressão marinha (entre 120.000 – 11.500 anos), os rios cavaram profundamente vales de diferentes regiões e de formações geológicas distintas, nas quais os sedimentos resultantes desse processo erosivo deslocaram-se em direção a um estuário localizado na região atualmente ocupada pelo Guaíba, contribuindo, assim, para a sedimentação do delta. Durante os períodos de transgressão marinha, depositaram-se também sedimentos marinhos associados a uma massa de sedimentos fluviais decorrentes de intervalos regressivos, o que se caracteriza em uma heterogeneidade sedimentológica muito grande neste ambiente (Figura 2) (KNIJINIK, 1977, p.6; MENEGAT, 1998).

Já no período atual, o fluxo hidrodinâmico dos rios Jacuí, Sinos, Caí e Gravataí diminui ao desaguardem no Lago Guaíba, o que ocasiona na deposição de materiais areno-argilosos, a qual pode formar bancos submersos de areia e lama. Esses bancos, com o passar do tempo e com o acréscimo gradual de sedimentos, evoluem até formar ilhas entremeadas por inúmeros canais distributários (FUJIMOTO; DIAS, 2009). Estas ilhas de idade holocênica, que possui uma totalidade de dezesseis (oito maiores e oito menores), são áreas de terras baixas, alagadiças (banhados), que

apresentam areias inconsolidadas, canais sinuosos, sacos, meandros abandonados e indícios de diversos paleocanais (FUJIMOTO; DIAS, 2009).

Quanto à caracterização litológica e pedológica das ilhas, tem-se que:

Este conjunto de formas de relevo é constituído por areias grossas e finas e de argila [...]. Variam em tonalidades de amareladas a pretas, moderadamente seleccionadas, com abundantes restos vegetais. Os solos são classificados como gleissolos e neossolos flúvicos originados de sedimentos fluviais, com uma estratificação de granulometria variável, são profundos, mal drenados e, com deficiência de oxigênio, propiciando acumulação de material orgânico (FUJIMOTO, DIAS, 2009).

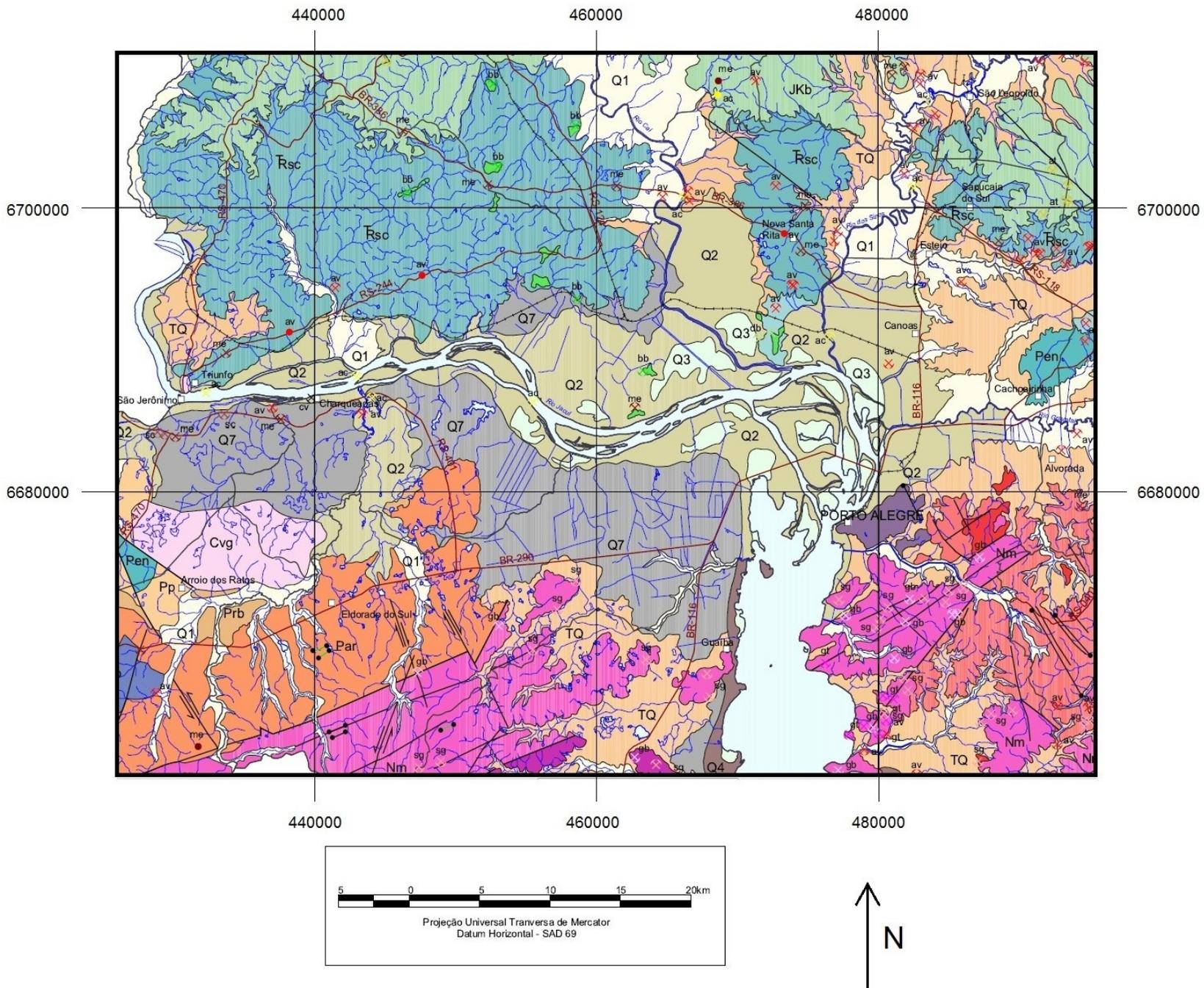


Figura 2: Mapa geológico integrado do Delta do Jacuí, (Fonte: CPRM, 2006).

## LEGENDA

### CENOZÓICO / QUATERNÁRIO

#### Depósitos Aluvionares Atuais

- Q1** Areias e cascalhos imaturos e mal classificados, localmente areias, siltes e argilas orgânicas de canais e planícies aluviais e lagunares.

#### Depósitos Fluvioacustres e Eólicos

- Q2** Depósitos inconsolidados de areias e argilas relacionados aos sistemas deltaico e fluvioacustre estabelecidos sobre os depósitos de planícies lagunares.

#### Depósitos Lacustres e Paludiais

- Q3** Depósitos orgânicos lacustres e paludiais; material turfáceo heterogêneo com areias, siltes e argilas plásticas.

#### Depósitos de Lagunas e Barreiras Marinhas

- Q4** Depósitos de planície lagunar, representados por seqüência mista compreendendo areias finas a médias, imaturas e mal classificadas, depósitos sílico-argilosos e intercalações de argilas plásticas, formados a montante da última linha de costa desenvolvida no Quaternário.

- Q5** Depósitos de planície lagunar, representados por seqüência mista compreendendo areias finas a médias, imaturas e mal classificadas, depósitos sílico-argilosos e intercalações de argilas plásticas, formados a montante da penúltima linha de costa desenvolvida no Quaternário.

- Q6** Depósitos de planície lagunar, representados por seqüência mista compreendendo areias finas a médias, imaturas e mal classificadas, depósitos sílico-argilosos e intercalações de argilas plásticas, formados a montante da segunda linha de costa desenvolvida no Quaternário.

- Q7** Depósitos de planície lagunar, representados por seqüência mista compreendendo areias finas a médias, imaturas e mal classificadas, depósitos sílico-argilosos e intercalações de argilas plásticas, formados a montante da primeira linha de costa desenvolvida no Quaternário.

- Q8** Depósitos de barreira marinha, constituídos por areias quartzosas finas a médias, bem selecionadas, semi-consolidadas, relacionados à primeira linha de costa originada pelas variações glácio-eustáticas no início do Quaternário.

### TERCIÁRIO / QUATERNÁRIO

#### Depósitos de Leques Aluviais

- TQ** Depósitos continentais de encosta e leques aluviais constituídos por arenitos arcoseanos, conglomerados e arenitos conglomeráticos, imaturos, fracamente consolidados, areias e argilas, com cores que variam entre vermelho, amarelo e cinza.

### MESOZÓICO / JURÁSSICO-CRETÁCEO

#### Grupo São Bento

- Ksg** Formação Serra Geral - rochas vulcânicas básicas a intermediárias, cinza a cinza escuras, finas a afaníticas, freqüentemente com textura amigdalóide. Constituem derrames principalmente de basalto e diques de diabásio relacionados ao magmatismo toleítico da Bacia do Paraná.

### TRIÁSSICO - JURÁSSICO

Formação Botucatu - arenitos finos a grosseiros, róseo-avermelhados com bimodalidade granulométrica de gradação normal ("grain fall"), lentes subordinadas com gradação inversa ("grain flow"), estratificações cruzadas acanaladas de grande porte, características de grandes campos de dunas. Inclui arenitos intertrapianos na fácies eólica, bem como arenitos finos a médios, róseos, argilosos, laminados, com freqüentes intercalações de drapes de argila e estratificações plano-paralela ou tabular tangencial na base, relacionados à fácies de interdunas.

**JKb**

### TRIÁSSICO

#### Grupo Rosário do Sul

- Rsc** Formações Santa Maria / Sanga do Cabral - seqüência indiferenciada caracterizada "sensu lato" por interdigitações de siltitos e argilitos vermelhos, maciços; arenitos médios a grosseiros, rosados, com estratificação cruzada acanalada e tabular, e arenitos avermelhados, finos a médios, quartzosos, com estratificação cruzada acanalada e lentes de conglomerados intraformacionais.

### PALEOZÓICO / PERMIANO SUPERIOR

#### Grupo Passa Dois

- Pr** Formação Rio do Rasto - arenitos finos, siltitos e argilitos, bordôs ou avermelhados, esverdeados, com laminações paralela, cruzada acanalada, ondulações "climbing", "linsen" e "wavy".

- Pen** Formação Estrada Nova - argilitos, folhelhos e siltitos, cinza a cinza-escuros ou pretos, com lentes arenosas calcíferas, laminação ondulada, "flaser" e gretas de contração.

- Pi** Formação Irati - argilitos e folhelhos, cinza-escuros a pretos, pirobetuminosos, intercalando lentes de marga.

### PERMIANO INFERIOR - SUPERIOR

#### Grupo Guatá

- Pp** Formação Palermo - siltitos arenosos, cinza a amarelo-esverdeados, quando alterados. Arenitos finos na base e na parte superior, intensa bioturbação, laminações cruzadas e lenticular, ondulação "flaser" e cimento calcítico.

- Prb** Formação Rio Bonito - siltitos cinza e folhelhos escuros, carbonosos, com leitões e camadas de carvão. Associações de arenitos cinza-esbranquiçados, finos a grosseiros, localmente conglomeráticos. Estratificações paralela, cruzada e acanalada.

### PROTEROZÓICO SUPERIOR - CAMBRIANO

#### Domínio Dorsal de Canguçu

- Cvg** Granito Vila Garcia - sienogranito de cor avermelhada com pontuações pretas de lamelas de biotita, isótropo e com granulação média a grossa.

- Cpb** Granito Passo do Barco - granito de cor avermelhada, isótropo, de granulação média, levemente porfirítico constituído por feldspato, quartzo e alguma biotita.

#### Domínio Dom Feliciano

##### Suíte Granítica Dom Feliciano

##### Fácies Sienogranítica

- Nrn** Tipo Morrinhos - plutons e intrusões de sienogranitos vermelhos, isótropos, de granulação média a grossa, ocasionalmente porfiríticos com fenocristais de feldspatos e praticamente isentos de máficos. Corpos circulares, contatos controlados por fraturas, presença de cavidades miarolíticas e transição para fácies subvulcânicas indicam posicionamento de epizona. Freqüentemente são cortados por diques de riolito ou microgranito.

- Nse** Tipo Serra do Erval - sienogranitos equigranulares a porfiríticos, médios a grossos, rosados a avermelhados, com feldspato alcalino, quartzo e rara biotita.

##### Fácies Monzogranítica

- Ncg** Tipo Cerro Grande - monzogranitos cinza-claros a levemente amarelados, inequigranulares porfiríticos com fenocristais cinza-claros de feldspato em matriz grossa a muito grossa. Ocorrência localizada de xenólitos mesocráticos de granodioritos de granulação média a fina de dimensões decimétricas e limites difusos.

### PROTEROZÓICO MÉDIO (?) - SUPERIOR

#### Domínio Dorsal de Canguçu

- Par** Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos - ortognaisses tonalíticos a granodioríticos com bandamento milimétrico nas zonas de alta deformação, com enclaves dioríticos e xenólitos de paragnaisses. Metamorfismo de alto grau e deformação polifásica.

#### Domínio Dom Feliciano

##### Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado

- Npmg** Fácies Porfírica - caracterizada por metagranitoides porfiríticos, mesocráticos cinza, com foliação marcada pelo alinhamento dos porfiroclastos de feldspato e filossilicatos e, estiramento dos minerais da matriz.

- Npm** Indiferenciado - granodioritos a monzogranitos com estrutura gnáissica contendo enclaves de dioritos e tonalitos deformados.

### 3.2. MODELO EVOLUTIVO PRELIMINAR DAS ILHAS DELTAICAS

Os rios formadores do Delta, ao atingirem a sua foz, perdem a velocidade da corrente, e, conseqüentemente, ocasiona a deposição de materiais areno-argilosos. Esse processo pode formar bancos submersos de areia e lama - barras ou bancos transversais de sedimentos - onde, com o passar do tempo e gradual sedimentação, pode até provocar o seu afloramento na superfície (FUJIMOTO; DIAS, 2009). Esse novo corpo aflorante, ainda que periodicamente submerso em épocas de cheias, é chamado de protoilha (Figura 3). Dessa forma, o fluxo hidrodinâmico naquela região bifurca em duas direções, seguindo o regime principal da corrente, mas que gera fluxos de retorno nos limites laterais da protoilha em direção a uma zona de fluxo estagnante recém-criada a jusante (KNIJINIK, 1977 apud CHIAPPETTI, 2005). Em termos de vegetação, "a colonização dos sedimentos aluviais depositados pelos rios inicia-se com espécies herbáceas de macrófitos flutuantes e também, mais arraigados ao fundo, plantas conhecidas como juncos." (Figura 3) (OLIVEIRA; PORTO, 2006).

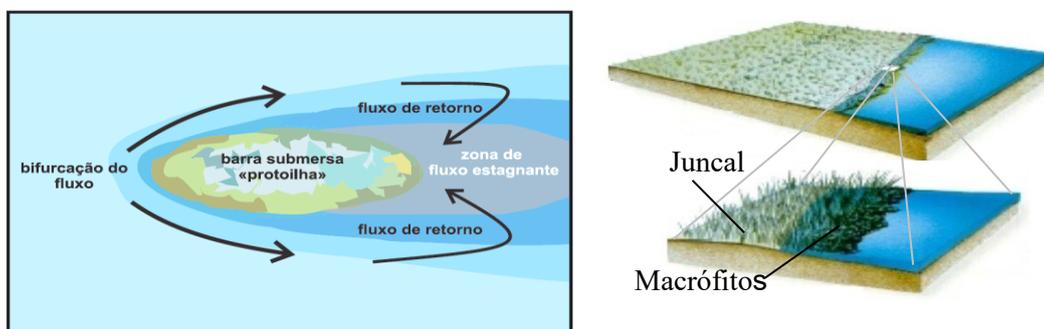


Figura 3: 1º estágio de formação das ilhas deltaicas e sua vegetação predominante (Modificado de KNIJINIK, 1977; PROThERO, 1990) e representação esquemática de macrófitos flutuantes e de juncais em terrenos recém-acretados. (OLIVEIRA; PORTO, 2006).

Essa deposição vai sendo consolidada pela vegetação, e na zona de sombra, correntes de retorno de menor velocidade proporcionam a deposição (área de acreção) e formação de um arco côncavo com forma de bumerangue, dando ao conjunto mais elevado, a forma de ferradura (Figura 4) (KNIJINIK 1977 apud CHIAPPETTI, 2005). Em termos de vegetação, "no interior das ilhas, em bacias de acumulação que contém água o ano inteiro, espécies

arbustivas como o sarandi desenvolvem-se entremeadas à vegetação herbácea dos juncais." (Figura 4) (OLIVEIRA; PORTO, 2006).

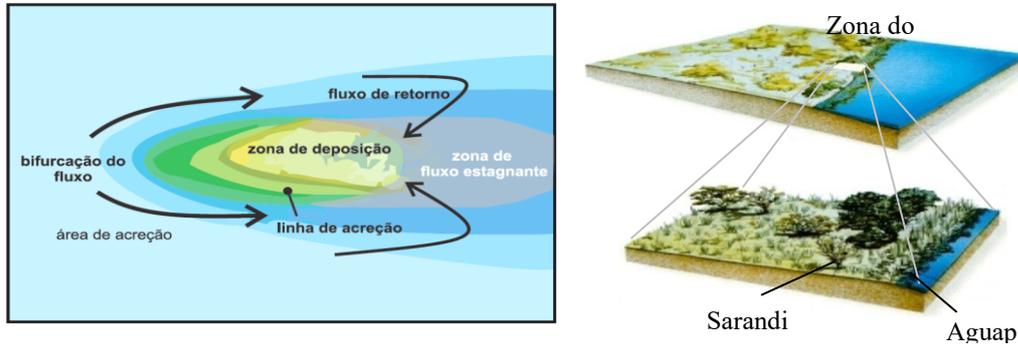


Figura 4: 2º estágio de evolução das ilhas deltaicas (Modificado de KNIJINIK, 1977; PROTHERO, 1990) e representação esquemática de Sarandis e de Aguapés (OLIVEIRA & PORTO, 2006).

Dessa forma, o número das ilhas e protoilhas e de novos braços de rio, aumentarão paralelamente com a repetição do processo (Figura 5) e formando áreas e canais de fluxo estagnante (KNIJINIK 1977 apud CHIAPPETTI, 2005).

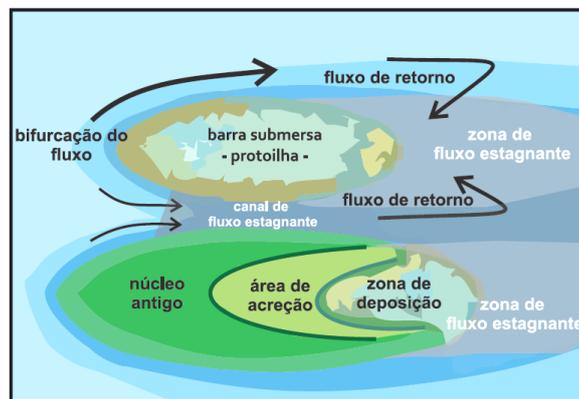


Figura 5: Estágio intermediário de evolução das ilhas deltaicas (Modificado de KNIJINIK, 1977; PROTHERO, 1990).

Ao estenderem-se longitudinalmente, essas barras de acreção sedimentar tendem a convergir, deixando no seu interior uma superfície relativamente côncava, onde se estabelece uma área inundada - banhado ou lagoa de decantação - que geralmente é rasa (Figura 6) (CHIAPPETTI, 2005). A respeito dessa área inundada originada durante o processo de evolução das ilhas deltaicas:

As bacias de decantação são as áreas em estágios de colmatação mais moderna, localizadas em depressões semifechadas, com grande participação do elemento orgânico:

são os banhados à retaguarda dos diques, como no interior da ilha das Flores, por exemplo. Nessas feições geomorfológicas é frequente o aparecimento de uma mistura de material de decantação e de um produto fino com grande quantidade de depósito orgânico (CHIAPPETTI, 2005).

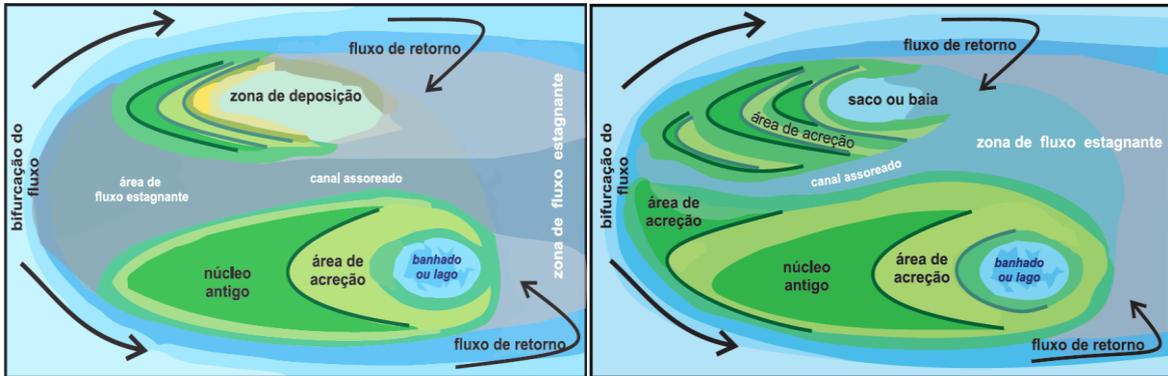


Figura 6: a) Formação de banhados ou lagoas de decantação; b) Estágio de coalescência das ilhas deltaicas (Modificado de KNIJINIK, 1977; PROTHERO, 1990).

Por fim, no estágio mais avançado de evolução das ilhas deltaicas, repete-se este processo nos canais adjacentes, com coalescência das ilhas, extinção de fluxo nos canais assoreados, preenchimento das mesmas e também nas faixas de acreção, resultando na formação de paleocanais (ou canais abandonados) e zonas alagadiças (figura 6b e 7a) (KNIJINIK, 1977 apud CHIAPPETTI, 2005). Em termos de vegetação, "[...] encontram-se florestas, que constituem o estágio de desenvolvimento mais avançado da vegetação desse ecossistema" (Figura 7b) (OLIVEIRA; PORTO, 2006).

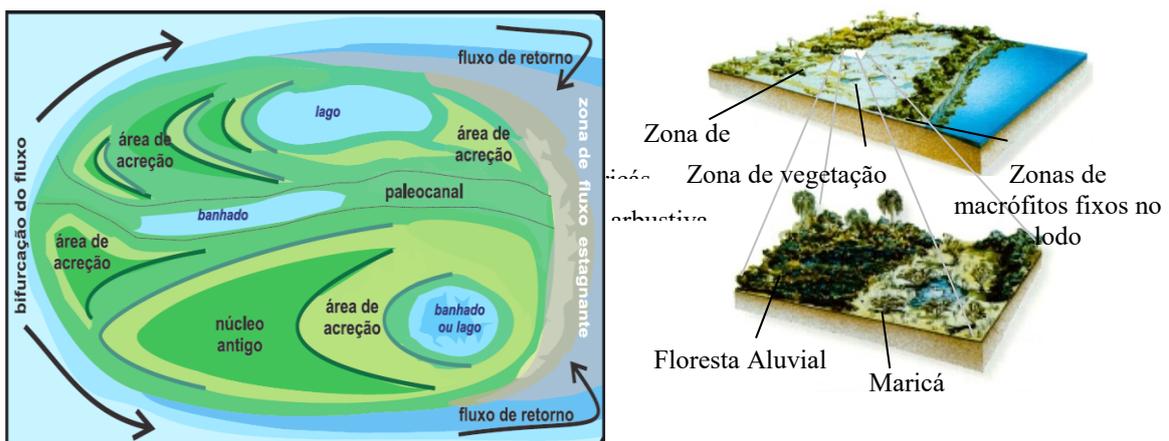


Figura 7: a) Estágio avançado das ilhas deltaicas com formação de paleocanais (Modificado de KNIJINIK, 1977; PROTHERO, 1990); b) Representação esquemática da vegetação num estágio mais avançado de evolução das ilhas deltaicas (OLIVEIRA; PORTO, 2006).

### 3.3. REFERENCIAL TEÓRICO

A região do Delta do Jacuí e suas implicações socioambientais vêm sendo estudadas desde os anos 70 por geógrafos, biólogos e historiadores de diversas instituições de ensino superior, dentre elas a UFRGS, seja no âmbito das ocupações e dos conflitos territoriais das comunidades ribeirinhas que vivem naquela área, seja no âmbito de proteção ambiental, por meio de pesquisas acadêmicas da fauna e flora, da geomorfologia e da arqueologia existentes ali. Por mais que existam esforços científicos de diversas áreas para compreender esta complexa e conturbada relação entre o homem e aquele ecossistema único, ainda carece, e muito, de pesquisas aprofundadas principalmente no âmbito geológico. Os únicos trabalhos encontrados na literatura voltados para um âmbito mais geológico são de KNIJINIK (1977), onde fez parte do relatório final do Plano Diretor do Parque Estadual do Delta do Jacuí, e que aborda a geologia daquela região de uma forma mais técnica, e de MENEGAT et al. (2006), por meio do Atlas Ambiental de Porto Alegre, que é uma obra de suma importância para um melhor entendimento acerca de Porto Alegre e de toda a região metropolitana, na qual se inclui o Delta do Jacuí. Outras contribuições, não menos importantes, se destacam na questão geomorfológica da área, feita por geógrafos, nas quais foram muito bem observadas e descritas em Chiappetti (2005), cuja temática do trabalho foi voltada para as questões socioambientais (conflitos territoriais), mas que fez também uma boa caracterização geomorfológica do delta. Em Fujimoto e Dias, (2009), o objetivo do trabalho foi o de identificar as formas de relevo de Porto Alegre, por meio de um mapeamento geomorfológico na escala 1:50.000, e "elucidar os processos que operam na superfície de todo o município" (FUJIMOTO, DIAS, 2009), área municipal esta, que engloba a região das ilhas. Por fim, este trabalho tem como motivação, dar sua contribuição sob o aspecto geológico da região das ilhas e, na medida do possível, auxiliar na busca por respostas para estas questões ambientais e socioeconômicas existentes lá, tendo sempre como foco, a tentativa de conscientizar as pessoas para o valor que devemos dar a esta terra em que nós vivemos.

#### 4. METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

O projeto tem como objetivo fazer um diagnóstico da evolução morfológica das ilhas do Delta do Jacuí e propor um modelo integrador da evolução deltaica. Para alcançar este objetivo geral, utilizaram-se seis metodologias: sensoriamento remoto, georreferenciamento, georradar, testemunho de sondagem, análise de fácies sedimentológica e difratometria de raios X.

Dentre os objetivos específicos, a metodologia do sensoriamento remoto propõe-se a rastrear e avaliar a distribuição espacial de paleocanais e paleozonas de acreção sedimentar e reconhecer padrões morfológicos que indiquem a evolução das ilhas através da análise de fotografias aéreas e da elaboração de mapas georreferenciados na escala 1:1.000, utilizando *softwares* de sensoriamento remoto e geoprocessamento (GLOBAL MAPPER®). Em termos de sensoriamento remoto, também é importante ressaltar que este método serviu de base para o planejamento logístico de campo com uso da interface do *Google Earth*™, uma vez que era necessário identificar paleocanais representativos para este estudo e que estivessem em área de fácil acesso.

O método de testemunho de sondagem, por sua vez, visa determinar as características faciológicas dos pacotes sedimentares, bem como fazer uma caracterização sedimentológica preliminar durante a etapa de campo. Para tanto, utiliza-se da coleta de amostras, análise de fácies das mesmas, segundo James e Dalrymple (2010) e Walker (1992). Após, faz-se análises sedimentológicas e de difratometria de raios X para uma caracterização litológica mais detalhada nos laboratórios do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (pós-campo).

Por fim, utilizou-se a geofísica que, ainda da etapa de campo, propõe a coleta de dados com a utilização de um sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*), para a determinação da cota altimétrica exata dos pontos em que foram coletadas as amostras de sedimento, a fim de fazer correlações litoestratigráficas, e de um sistema de GPR (*GPR – Ground Penetrating Radar*)

com antenas aéreas na frequência e arranjos específicos, a fim de fazer seções bidimensionais de subsuperfície.

É bom ressaltar também que a busca por referenciais teóricos acerca do tema, seja no contexto geológico e geomorfológico da região, seja por técnicas que podem ajudar para etapas posteriores, configura-se nos primeiros passos em direção à resolução do problema proposto, e que esse procedimento foi feito continuamente ao longo de todo o trabalho, a fim de aprimorar cada vez mais o conhecimento acerca desse tema e da solução dessa problemática. Dessa forma, as metodologias e as estratégias de ação estão resumidas no fluxograma abaixo (Figura 8).

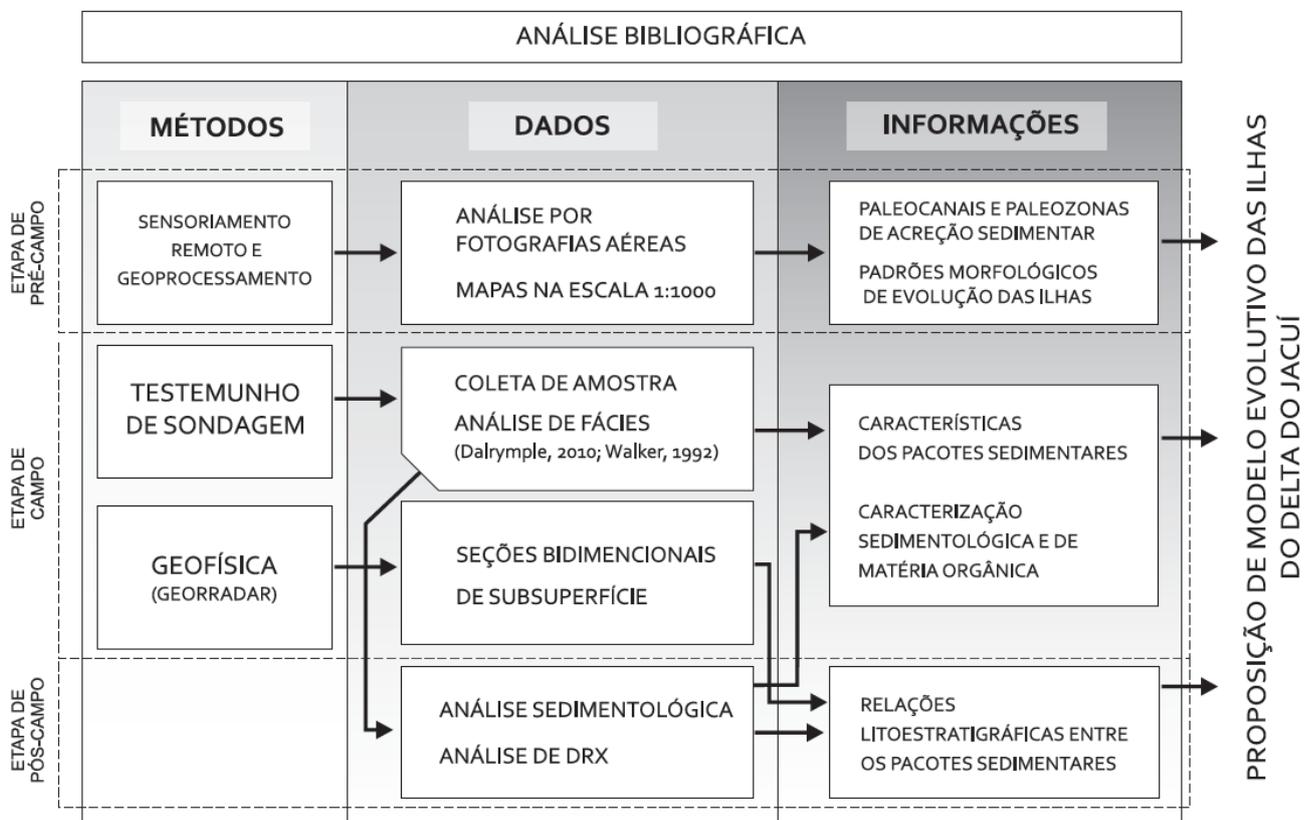


Figura 8: Fluxograma com as metodologias e estratégias de ação do presente projeto.

A metodologia empregada para o desenvolvimento do presente projeto é a seguir detalhada.

#### 4.1. SENSORIAMENTO REMOTO

Para o presente estudo, segundo Rosa (2012), este método "faz parte das chamadas geotecnologias e referem-se à utilização de instrumentos e técnicas para a obtenção, processamento e interpretação de dados georreferenciados (Figura 9)". Essas ferramentas geralmente são aplicadas para o estudo da superfície e da atmosfera terrestre, mas métodos que adquirem informações de subsuperfície também podem ser incorporados a este conceito (ROSA, 2012).

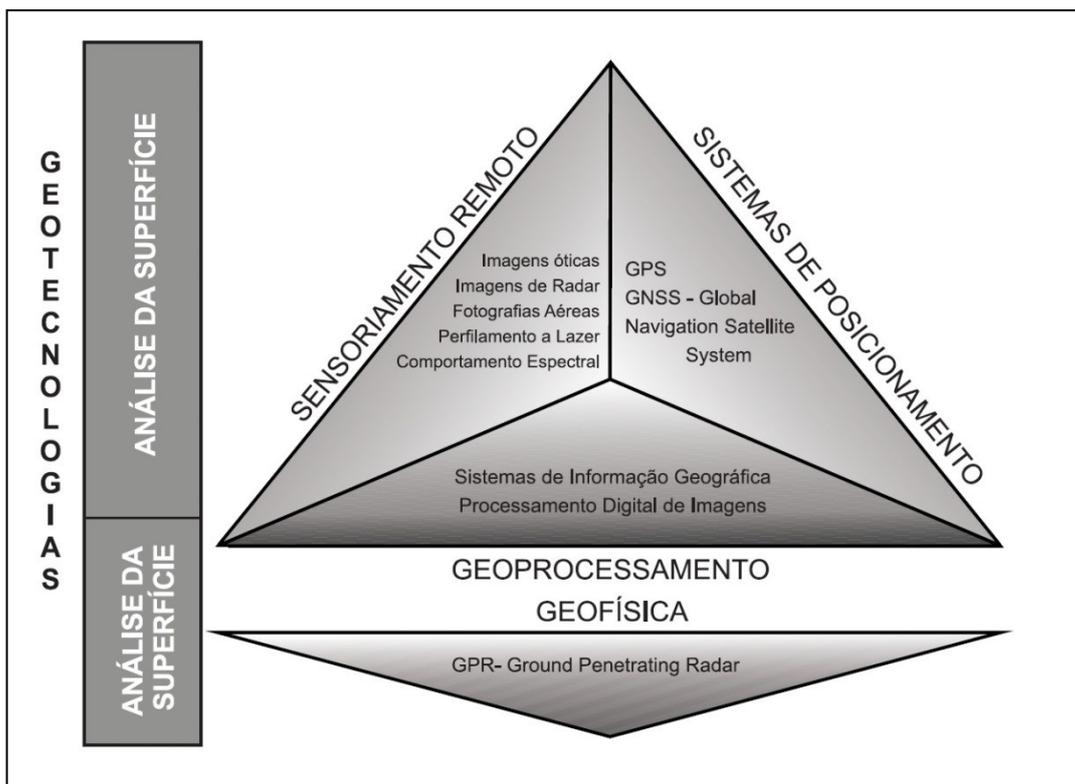


Figura 9: Geotecnologias aplicadas neste método para a análise e identificação de paleocanais e de paleozonas de acreção sedimentar na região do Delta do Jacuí [Modificado de ROSA (2012)].

Sensoriamento remoto representa um conjunto de técnicas e ferramentas que permite obter diversos tipos de dados da superfície terrestre, geralmente imagens, por meio da obtenção e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície, ou seja, sem que haja contato físico com os objetos de estudo (FLORENZANO, 2007; ROSA, 2012). Desta forma, o sensoriamento remoto, ao lado das técnicas de geoprocessamento e dos sistemas de posicionamento global, compõe também as chamadas geotecnologias (ROSA, 2012).

Essas geotecnologias, seja em análise de superfície, seja de subsuperfície, processam informações que são obtidas por meio de sensores que registram uma forma de energia vinda dos alvos, onde, no caso do sensoriamento remoto, trata-se da radiação eletromagnética (REM) (ROSA, 2012). Essa radiação possui dois tipos de comportamentos, um ondulatório e outro quântico. Enquanto que no modelo ondulatório a radiação eletromagnética se propaga através de ondas, estruturadas por um campo elétrico que oscila perpendicularmente a um campo magnético, o comportamento quântico da radiação eletromagnética é explicada como sendo o resultado de pulsos de energia (NOVO, 1989 apud ROSA, 2012).

Segundo FLORENZANO (2007), em termos de caracterização dessa energia, "ela se propaga na velocidade da luz (300.000km por segundo), ela é medida em 'frequência', em unidades de Hertz (Hz), e em 'comprimento de onda' ( $\lambda$ ), em unidades de metros", podendo ser expressa por:

$$c = \lambda / f$$

Onde,  $c$  = velocidade,  $\lambda$  = comprimento de onda e  $f$  = frequência.

Já a energia relacionada à radiação eletromagnética é expressa por:

$$E = h.c / \lambda$$

Onde,  $E$  = energia,  $h$  = constante de Plack,  $c$  = velocidade e  $\lambda$  = comprimento de onda.

As ondas que caracterizam a radiação eletromagnética podem ser ordenadas por regiões, de acordo com seu comprimento de onda ou sua frequência (FLORENZANO, 2007; ROSA, 2012). Este ordenamento é chamado de espectro eletromagnético (NOVO, 1989 apud ROSA, 2012), e compreende desde comprimentos de onda curtos, associado a altas frequências, até comprimentos de onda longos, associados a baixas frequências (ROSA, 2012) (Figura 10).

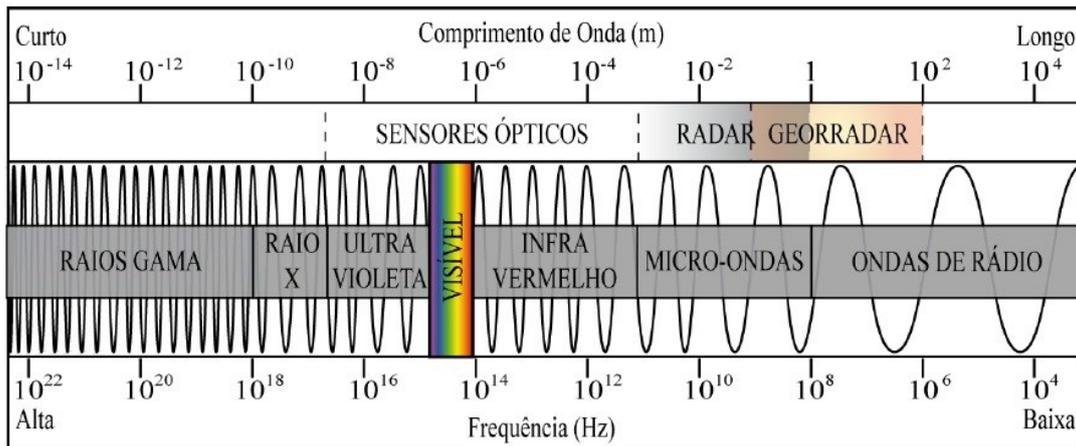


Figura 10: Espectro eletromagnético dividido em regiões, caracterizados por diferentes comprimentos de onda e frequências (FLORENZANO, 2007 apud ROSA, 2012). Foram adicionadas as faixas utilizadas pelos equipamentos de sensoriamento remoto e de geofísica (ROSA, 2012).

Em termos de fontes, segundo (FLORENZANO, 2007 apud ROSA, 2012) "qualquer objeto com temperatura acima do zero absoluto emite radiação eletromagnética", onde a principal fonte é o Sol, na qual emite uma variedade de radiações em diversas faixas, desde o ultravioleta, até o infravermelho próximo (ROSA, 2012). Uma observação de suma importância diz respeito à forma de interação da radiação eletromagnética com os alvos acertados (NOVO, 1989 apud ROSA, 2012), na qual pode expressar três tipos de comportamentos: ser absorvido, transmitido, ou refletido em diferentes proporções em cada comprimento de onda, ou seja, cada alvo atingido pela radiação eletromagnética possui um comportamento espectral diferente (Figura 11)(ROSA, 2012).

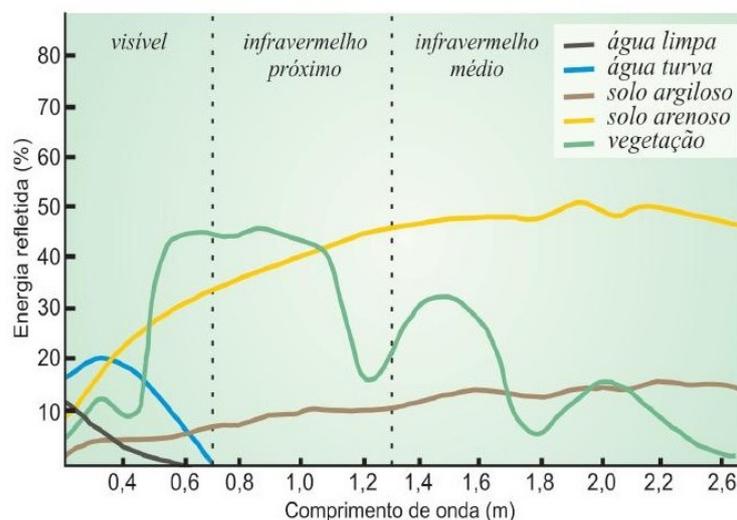


Figura 11: Curva espectral da água, do solo e da vegetação (FLORENZANO, 2007).

Abordando brevemente os tipos de sistema dos sensores, eles podem ser de dois tipos: imageadores, quando se produz uma imagem, e não imageadores, quando se produz outros produtos como curvas associadas ao comportamento espectral dos alvos (ROSA, 2012). Quanto à estrutura das imagens orbitais, elas podem ser interpretadas como matrizes, onde cada sítio da matriz é denominado de *pixel* (*picture element*), e podem ser posicionados espacialmente no sistema de linhas e colunas que compõem esta matriz (FLORENZANO, 2007 apud ROSA, 2012). Desta forma, a resolução espacial está diretamente vinculada com o tamanho representado por cada pixel no terreno, ou seja, quanto menor for o tamanho do pixel, relacionando-o com escalas de tamanho reais, melhor fica a resolução espacial da imagem (ROSA, 2012).

Como cada alvo atingido pela radiação eletromagnética possui um comportamento espectral diferente, os sensores além de captar esses aspectos, eles transformam esta intensidade em um valor, denominado reflectância, a qual será representada por um determinado tipo de tonalidade de cada *pixel* (ROSA, 2012). Em termos gerais, a resolução de um pixel é de 8 bits, que é elevado na oitava potência, ou seja, o sinal pode ser registrado digitalmente com até 256 tonalidades diferentes (ROSA, 2012).

Essa gradiente de cor normalmente é representada em tons de cinza, mas também é possível observar em composições coloridas, que no caso são em tons de vermelho (R – *red*), verde (G – *green*) ou azul (B – *blue*), o que mostra a grande gama de composições diferentes que podem ser geradas em cada pixel, dado aos diferentes comportamentos, em termos do comprimento de onda captado, dos elementos contidos no terreno (Figura 12)(ROSA, 2012). Desta forma, segundo ROSA (2012), “para cada área da superfície são geradas múltiplas imagens, e quanto mais estreita a faixa de detecção para geração de imagem e quanto mais faixas o sensor puder trabalhar, melhor será a resolução espectral”.

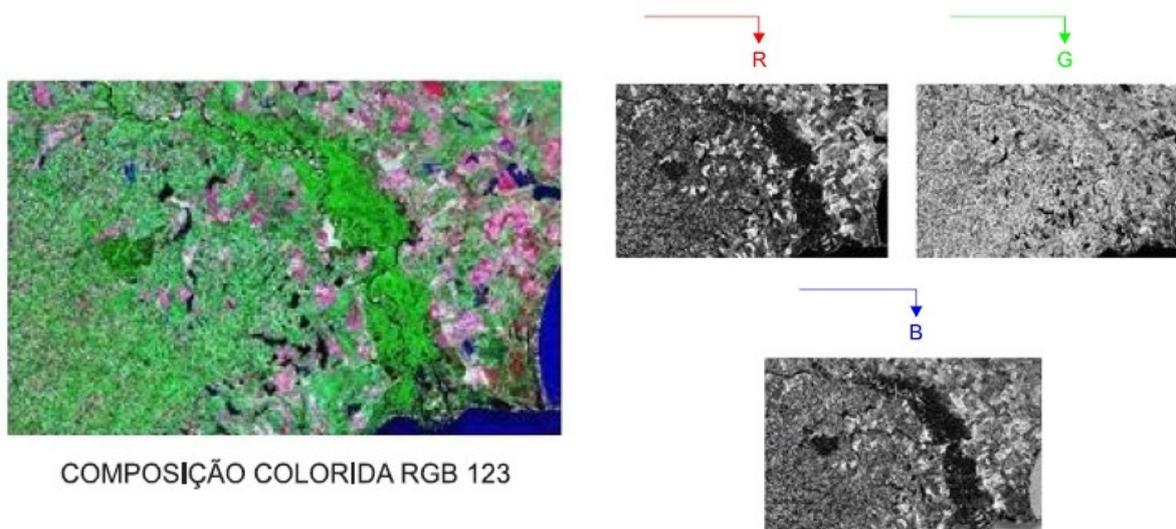


Figura 12: Composição colorida de uma imagem de sensor ETM+ Landsat 7 dos canais 123 [Modificado de <http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/hist.html>].

## 4.2. GEOPROCESSAMENTO

O desenvolvimento acelerado das últimas décadas a respeito das ciências da computação tornou-se possível processar diversos tipos de informações relativas à distribuição geográfica e fenômenos e características terrestres em ambientes digitais (ROSA, 2012). Desta forma, segundo Câmara et al., 2001 (apud ROSA, 2012): “O termo georreferenciamento refere-se ao emprego de técnicas matemáticas computacionais, através dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a realização de diversos tipos de análises, desde as mais simples, até as mais complexas, e a integração de dados de diversas origens”.

O termo SIG pode ser definido como um conjunto de procedimentos e ferramentas para manipular de diversas maneiras dados georreferenciados (que podem ser posicionados espacialmente), estruturados, ou não, a um bando de dados matemáticos ou alfanuméricos (BURROUGH, 1986; ARONOFF, 1989 apud ROSA, 2012). Em relação ao sistema de funcionamento de um SIG, ele é composto por uma estrutura logicamente pré-determinada que se relacionam de forma hierárquica, sendo dividido em: computador (hardware), programas computacionais (softwares), os dados (informações), as metodologias e estafe de trabalho (recursos humanos) (ROSA, 2012), e que seus componentes abrangem uma interface com os usuários, ao passo que

possuem uma entrada para integração de dados e, por fim, funções de processamento e de manipulação desses dados (Figura 13)(CÂMARA; QUEIROZ, 2001 apud ROSA, 2012).

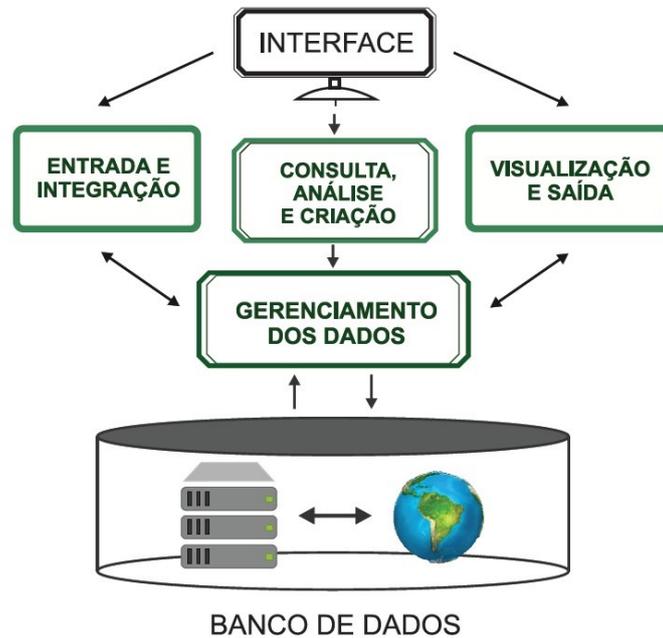


Figura 13: Arquitetura de um Sistema de Informação Geográfica [Modificado de (ROSA, 2012)].

#### 4.3. GEORRADAR

Tendo em vista a identificação de possíveis diferenças litológicas entre a crista e calha dos paleocanais presentes nas ilhas do Delta do Jacuí, o método geofísico do georradar ou Ground Penetrating Radar (GPR) torna-se um método interessante a ser trabalhado. Ele consiste, segundo Rosa (2012), "na verificação de discontinuidades nas propriedades elétricas dos materiais presentes em subsuperfície, por meio da geração, transmissão, propagação, reflexão e recepção da radiação eletromagnética do subsolo". Normalmente, este equipamento é operado a uma faixa de frequência (entre ondas de rádio e micro-ondas) que pode variar desde MHz até GHz (NEAL, 2004 apud ROSA, 2012).

Em termos de processo, uma antena normalmente é posicionada na superfície do terreno, a fim de ser realizada a transmissão de ondas por meio do aparelho (ROSA, 2012), onde as mesmas se propagam até atingir

uma camada litológica com contraste nas propriedades elétricas, ocasionando a sua reflexão (DAVIS; ANNAN, 1989, apud ROSA, 2012). Esses contrastes normalmente acontecem devido a variação no conteúdo de água contido nos espaços entre os minerais, sendo diretamente influenciada pelo tipo de sedimento, granulometria, porosidade e compactação (JOL; BRISTOW, 2003, apud ROSA, 2012). Desta forma, segundo ROSA (2012), "a onda refletida retorna à superfície e é detectada pela antena receptora, que pode estar integrada ou não da transmissora, onde a mesma é convertida em sinal, que é digitalizado e armazenado na memória de coletor" (Figura 13).

Por fim, em relação a questão da qualidade do sinal e dos contrastes, é constatado que os melhores resultados obtidos são geralmente de materiais mais resistivos, como areais, conglomerados, calcários e turfas (JOL; BRISTOW, 2003, apud ROSA, 2012). Já a presença de silte, argila ou de água salinas, segundo Rosa (2012), "esses materiais, por terem maior condutividade, geralmente atenuam a energia e influenciam negativamente a qualidade dos dados".

#### 4.3.1. APLICAÇÃO

O método do georradar foi empregado para caracterizar os depósitos sedimentares do Arquipélago do Delta do Jacuí. O principal intuito foi identificar estruturas sedimentares que permitisse caracterizar a presença de paleocanais, bem como fazer seções bidimensionais de subsuperfície e correlacioná-las litoestratigraficamente com os testemunhos de sondagem coletados durante o primeiro dia de campo (23 de abril de 2018). Durante o segundo dia da etapa de campo, 24 de abril de 2018, foram levantadas seções geofísicas, identificadas como Delta001, Delta002, Delta003 e Delta004, conforme a Figura 14, utilizando um georradar fabricado pela Radarteam Sweden AB. Além desses objetivos, em foram feitas medidas de precisão da cota altimétrica dos pontos de testemunhagem executados no dia anterior. Dessa forma, para a coleta de dados, foi utilizado um sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*), que permite a localização geográfica de um ponto, e que engloba sistemas de navegação atualmente disponíveis, como

GPS, entre outros (Figura 15). Os dados geofísicos obtidos em campo foram processados e analisados com o auxílio de softwares específicos, como ReflexW® e Radan™.

Dessa forma, delimitou-se, com base nas terminações dos refletores, o padrão de seus pacotes em termos de fácies de radar ou radar-fácies. Elas dão suporte a interpretar a geometria dos limites dos paleocanais e suas camadas sedimentares inconsolidadas, que registram os processos evolutivos recentes das ilhas.



Figura 14: Etapas envolvidas por meio do método do georradar e esquema demonstrativo de obtenção de cota altimétrica pelo sistema GNSS.



Figura 15: Localização dos furos de sondagem PDJ01A, PDJ01B, PDJ02A, PDJ02B e seções geofísicas Delta001, Delta002, Delta003 e Delta004, levantadas com equipamento de GPR.

#### 4.4. TESTEMUNHADOR DE SONDAGEM A PERCUSSÃO

O procedimento para fazer a coleta de amostras por meio de um testemunhador de sondagem a percussão, a uma profundidade de até 2m, é baseada na metodologia empregada pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - CECO/UFRGS (Figura 16). Ela consiste, primeiramente, (a) na identificação do local mais representativo para coleta do sedimento e em local seco (sem lençol freático aflorante); (b) na montagem do equipamento para a perfuração via trado manual; (c) na limpeza do local da coleta para o posicionamento do cano e do tripé e (d) no posicionamento correto do equipamento para coleta de amostra. Após a instalação do equipamento no local escolhido, é feito um procedimento de (e) batidas sincronizadas, com o uso de braçadeira (manilha) e batente, até que a manilha esteja rente ao solo (necessário duas pessoas para a realização deste procedimento) e, concomitante a isto, deve ser anotada quantas batidas foram necessárias. Por fim, deve ser feito (f) a medição externa (do cano até o solo) e interna (do cano até a amostra compactada) do amostrador, (g) a retirada do excesso de cano

por meio de uma serra, com posterior tamponamento do amostrador (topo) e (h) a retirada do amostrador com o auxílio de uma roldana, com tamponamento final do amostrador (base).



Figura 16: Etapas para testemunho de sondagem durante o período de campo.

#### 4.5. ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA

Segundo Lima e Luz (2001), a análise granulométrica compreende a determinação do tamanho de grão, bem como da frequência de um determinado tipo de tamanho ou classe e existem diversas técnicas que se aplicam a faixas granulométricas bem definidas. O procedimento para fazer a análise sedimentológica é dividido em dois tipos de análises: a análise granulométrica e o método de eliminação de matéria orgânica por combustão. O primeiro método é baseado na metodologia empregada pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - CECO/UFRGS, enquanto que o segundo método é baseado em Wetzel (1975).

Para dar início a esses procedimentos, é necessário fazer a abertura dos testemunhos de sondagem coletados durante a etapa de campo, onde ele aberto longitudinalmente em uma estrutura estável, utilizando uma serra circular, cortando as duas paredes de forma equidimensional. Após o corte do testemunho, o material interno da amostra é cortado em duas partes iguais por meio de um fio de *nylon* cuidadosamente para não haver muita mistura de sedimentos. Por fim, com a abertura dos testemunhos, foram coletadas cerca de três a quatro amostras de cada testemunho, a fim de verificar se há variação granulométrica e de quantidade de matéria orgânica ao longo dos testemunhos. Desta forma, a tabela 1 a seguir mostra o tamanho total de cada testemunho, bem como a profundidade de cada ponto coletado para posterior análise granulométrica e de matéria orgânica.

Tabela 1: Profundidade total dos testemunhos e profundidade específica das amostras coletadas.

NOME DO TESTEMUNHO	TAMANHO TOTAL (em cm)	PROFUNDIDADE COLETADA (em cm)			
		0 – 5	50 – 55	81 – 85	
PDJ01A	87	0 – 5	50 – 55	81 – 85	
PDJ01B	59	0 – 5	25 – 30	53 – 58	
PDJ03A	104	0 – 5	39 – 44	76 – 81	99 – 104
PDJ02B	44	0 – 5	20 – 25	40 – 44	

#### 4.5.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O procedimento para fazer análise granulométrica consiste, conforme metodologia empregada pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - CECO/UFRGS, em desagregar as amostras macerando-as, utilizando graal e pistilo (Figura 17a), para posterior peneiramento, em peneira com abertura de 1 mm, e sua devida identificação (Figura 17b). Terminado este procedimento, as amostras foram encaminhadas para análise em um analisador de partículas a laser modelo HORIBA, a fim de se obter o uma média, em porcentagem, de cada tamanho de grão contido nas amostras. Os resultados brutos encontram-se em anexo a este trabalho e os resultados trabalhados encontram-se na seção 5.1.



Figura 17: a) Processo de maceramento e peneiramento das amostras; b) Identificação das amostras para posterior análise.

#### 4.5.2. ANÁLISE DE MATÉRIA ORGÂNICA

O procedimento para fazer o método de eliminação de matéria orgânica por combustão é uma metodologia empregada pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - CECO/UFRGS e consiste na pesagem da amostra antes da queima, de 3 a 5g, em um cadinho, anotando o seu valor, no processo de calcinação das amostras em mufla a 550°C por quatro horas e meia e posterior anotação do peso pós-queima (Figura 18)(WETZEL, 1975).

Para o cálculo da matéria orgânica, ela é definida da seguinte forma:

$$\% \text{ M.O} = (\text{PAQ} - \text{PDQ}) \times 100 / \text{PAQ}$$

Onde: PAQ: Peso antes da queima; PDQ: Peso depois da queima.

Os resultados brutos dessas análises encontram-se em anexo a este trabalho desta análise e os resultados trabalhados encontram-se na seção 5.1.



Figura 18: Processo de pesagem das amostras em cadinhos para posterior calcinação.

#### 4.6. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

A análise por difração de raios X (DRX) permite a caracterização microestrutural de minerais, possibilitando a sua identificação (KLEIN; DUTROW, 2012). A incidência de raios x, na ordem de  $1\text{\AA}$ , em uma estrutura cristalina acaba causando interferências construtivas e destrutivas entre os raios atômicos espalhados do mineral, gerando uma radiação (KLEIN; DUTROW, 2012). Quando essa interação se dá de maneira construtiva, ela é capaz de gerar uma difração (KLEIN; DUTROW, 2012). Para que isso ocorra a Lei de Bragg, que estabelece as circunstâncias necessárias para que as interferências construtivas aconteçam, deve ser aplicada, onde:

$$\lambda = 2 d \text{ sen } \Theta$$

$\lambda$  = comprimento de onda da radiação incidente no material (raios-X)

$d$  = espaçamento entre dois planos de átomos do material

$\Theta$  = ângulo de incidência na amostra

É importante salientar de que é necessário ter espaçamentos interplanares ( $d$ ) dos átomos posicionados na célula unitária, a fim de ocorrer interações construtivas. Para a determinação deste espaçamento, o ângulo de incidência da amostra ( $\Theta$ ) auxilia nesta etapa (Figura 19), permitindo explicar em qual fase ocorreu a difração (KLEIN; DUTROW, 2012).

#### 4.6.1. MÉTODO DO PÓ

O método do pó consiste no ensaio de material triturado (grãos muito finos) e colocado de forma desorientada na lâmina receptora (GOLDSTEIN, 2007 apud PINTO, 2016). Esses grãos, por estarem desorientados na forma de pó, são acertados em diferentes planos por meio da incidência de raios X, fazendo com que seja refletido uma grande quantidade de valores para os mais diversos planos contidos num mineral (GOLDSTEIN, 2007 apud PINTO, 2016). A partir da reunião desses valores, é possível determinar todos os espaçamentos e assim tridimensionar a estrutura cristalina do mineral (GOLDSTEIN, 2007 apud PINTO, 2016). Este método é muito recomendado para amostras de composição variada, pois é possível fornecer uma noção quanto a representatividade de cada mineral contido na amostra, por meio da pesquisa das intensidades relativas dos picos gerados (GOLDSTEIN, 2007 apud PINTO, 2016). Desta forma, este foi o método utilizado para análise das treze amostras coletadas nos testemunhos de sondagens.

#### 4.6.2. APLICAÇÃO

O método da difratometria de raios X foi empregada para identificar mineralogicamente as amostras coletadas nos testemunhos de sondagem, a fim de fazer uma caracterização detalhada sobre o tipo de litologia que é encontrada nas amostras de crista e de calha dos paleocanais amostrados. Para tal procedimento, as treze amostras coletadas dos testemunhos de sondagem foram analisadas pelo Laboratório de Difratometria de Raios X - LDRX / UFRGS, por meio do difratômetro SIEMENS modelo BRUKER D-5000 em amostra em pó. Os resultados brutos encontram-se em anexo a este trabalho e os resultados trabalhados encontram-se na seção 6.1.

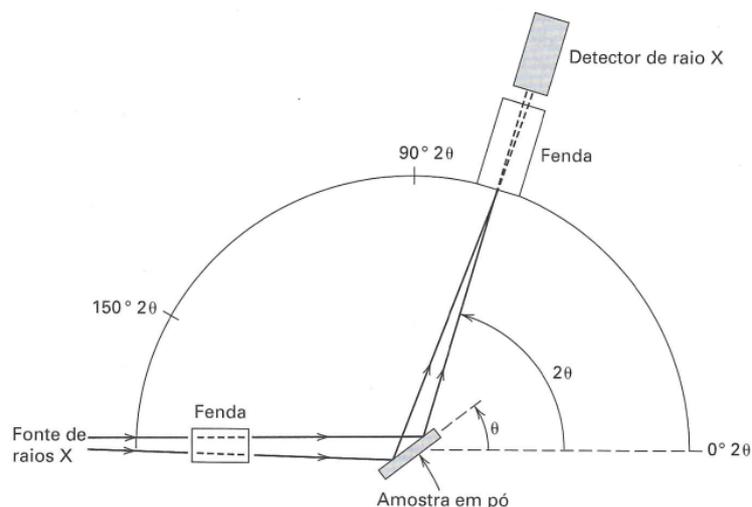


Figura 19: Esquema dos componentes essenciais de um difratômetro de raios X. O porta-amostra rotaciona a  $\theta$  e, o braço detector, a  $2\theta$  (KLEIN; DUTROW, 2012)

#### 4.7. CARACTERÍSTICAS DOS PONTOS COLETADOS EM CAMPO

Na etapa do trabalho de campo, ocorrida nos dias 23 e 24 de abril de 2018, no arquipélago do Delta do Jacuí (Figura 1), deu-se a coleta de dados geomorfológicos e de subsuperfície, consistindo nos seguintes objetivos:

- Observação e descrição das características geomorfológicas dos paleocanais;
- Amostragem os depósitos sedimentares por meio de furo de sondagem (método de percussão) até uma profundidade de 2 m, com o intuito de caracterizá-los em termos de suas estruturas, padrões, fácies, geometrias e parâmetros sedimentológicos.
- Coleta de dados com a utilização de um sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*), para a determinação da cota altimétrica exata dos pontos em que foram coletadas as amostras de sedimento, a fim de fazer correlações litoestratigráficas, e de um sistema de GPR (*GPR – Ground Penetrating Radar*) com antenas aéreas na frequência e arranjos específicos, a fim de fazer seções bidimensionais de subsuperfície.

#### 4,7.1. INFORMAÇÕES DE CAMPO

**Localização:** Arquipélago do Delta do Jacuí

**Folha:** Morretes - SH.22-V-D-VI-3 | MI-2970/3

**Declinação Magnética:** 15°W

---

Ponto: PDJ01A

---

22J 472.722,52 m E; 6.682.975,79 m S Elevação GNSS: 1.155 m

---

**Acesso:** Estrada vicinal a norte em frente a um condomínio. Ponto localizado a 50 m da estrada em direção ao sul.

A sondagem localiza-se numa calha do terreno com cerca de 40 m de largura, retilínea, coberta por gramíneas aquáticas, com nível freático aflorante, ladeada por cristas com cerca de 2 m de elevação em relação à calha, coberta por árvores, como salgueiro, corticeira do banhado, etc., e arbustivas, como maricás (Figura 20a e 20b). No entanto, a sondagem foi feita em local seco (sem lençol freático aflorante) a cerca de 10 m a oeste da crista.



Figura 20: a) Paleocanal coberto por gramíneas aquáticas e, nas laterais elevadas, vegetação arbustiva; b) Local onde foi fixado o equipamento para o furo de sondagem PDJ01A.

---

Ponto: PDJ01B

---

22J 472.744,51 m E; 6.682.969,07 m S Elevação GNSS: 2,305 m

---

**Acesso:** a 23 m a leste do ponto anterior.

A sondagem localiza-se em uma crista do terreno com cobertura de vegetação arbórea, entre duas calhas de paleocanais (Figura 21). A sondagem foi feita em local seco (sem lençol freático aflorante) a cerca de 10 m a leste da calha da sondagem PDJ01A.



Figura 21: Mosaico do ponto PDJ01B localizado na crista com vegetação arbórea entre dois paleocanais.

---

Ponto: PDJ02B

---

22J 472.695,64 m E; 6.681.926,11 m S Elevação GNSS: 2,530 m

---

**Acesso:** Seguindo pela BR290, atravessando a ponte da Ilha das Flores, sentido Eldorado do Sul, entrando numa estrada pela direita, na qual o ponto encontra-se dentro de um terreno privado que moram quatro famílias da localidade (Figura 22b).

A sondagem localiza-se numa crista do terreno, com muita vegetação arbustiva, entre dois paleocanais, a 40 m a leste da calha mais próxima (Figura 22a).



Figura 22: a) Ponto PDJ02B localizado na crista com vegetação arbustiva entre dois paleocanais e recolhimento da amostra na viatura de campo; b) Transferindo a amostra coletada para dentro do carro.

---

Ponto: PDJ03A

---

22J 475.609,60 m E; 6.682.924,36 m S Elevação GNSS: 1,328 m

---

**Acesso:** Seguindo pela BR290, na Ilha das Flores, sentido Eldorado do Sul, entrando numa estrada pela direita, na qual o ponto encontra-se dentro de um terreno privado que mora uma família da localidade (Figura 23a).

A sondagem localiza-se em uma calha do terreno com vegetação arbórea densa, a 116m a norte da casa da propriedade (Figura 23b).



Figura 23: a) Ponto PDJ03A localizado aos fundos de um terreno privado de uma família da localidade, próximos a uma sanga; b) Amostra coletada de uma calha de um paleocanal com vegetação arbórea fechada.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos, o presente estudo preconizou elaborar os seguintes produtos técnicos, com base em duas ideias principais: caracterizar geomorfologicamente e litologicamente paleocanais e paleozonas de acreção e, com base nessas informações, permitir, por meio de diversos critérios científicos, que se faça uma proposição de um modelo evolutivo das ilhas do Delta do Jacuí. Desta forma, para a caracterização de paleocanais e paleozonas de acreção, obtiveram-se os seguintes produtos técnicos:

- Mapas georreferenciados (RGB, infra-vermelho e altimétrico) na escala 1:1.000 da região, por meio de levantamento aerofotogramétrico, utilizando *softwares* de sensoriamento remoto e geoprocessamento (GLOBAL MAPPER®) (Figura 24), para rastrear e avaliar a distribuição espacial de paleocanais e paleozonas de acreção sedimentar, reconhecendo padrões morfológicos que indiquem a evolução das ilhas e elaborar um mapa 1:4000 da área;

- Criação de um arcabouço estratigráfico do arquipélago a baixas profundidades;

- Seção geofísica, utilizando os métodos eletromagnético indutivos, eletrorresistividade e georadar (GPR - *Ground Penetrating Radar*);

- Análise sedimentológica (separação de frações granulométricas) e de Difractometria de Raios X pelo método do pó nos sedimentos dos testemunhos de sondagem em 13 amostras;

Estas informações irão auxiliar na interpretação de como as ilhas do delta evoluíram ao longo do tempo, uma vez que são os melhores indicadores de seu passado geológico. Após estas interpretações, será discutida a evolução morfológica deste sistema deltaico singular, no que diz respeito a seus produtos técnicos finais propostos pelo presente trabalho e que são apresentados da seguinte forma:

- Proposição de um modelo geomorfológico de evolução das ilhas do Delta do Jacuí e estudar complexidades próprias da mesma, como a coalescência de ilhas no sentido transversal da corrente, uma vez que o modelo proposto determina que ela ocorra no sentido longitudinal.

## 5.1. CARACTERIZAÇÃO DE PALEOCANAIS E PALEOZONAS DE ACREÇÃO

Antes de dar início à apresentação dos resultados, é importante ressaltar que esse tópico foi estruturado de forma a descrever os produtos técnicos obtidos e a seguir fazer uma interpretação das mesmas. Desta forma, as áreas que abrangem estes produtos correspondem ao sensoriamento remoto e geoprocessamento da região, bem como sua descrição litológica e dados geofísicos de subsuperfície.

Abordando, primeiramente, os resultados obtidos a partir de técnicas do sensoriamento remoto e geoprocessamento, conforme dito no capítulo 4, estes métodos propuseram-se a rastrear e avaliar a distribuição espacial de paleocanais e paleozonas de acreção sedimentar e reconhecer padrões morfológicos que indiquem a evolução das ilhas através da análise de imagens de satélite do Sistema LANDSAT e da elaboração de mapas georreferenciados na escala 1:1.000, utilizando *softwares* de sensoriamento remoto e geoprocessamento (GLOBAL MAPPER®). Para a obtenção de dados georreferenciados com esta qualidade de resolução, com o intuito de produzir esses três tipos de mapas (RGB, infra-vermelho e altimétrico)(Figura24), foi consultado de que a Prefeitura de Porto Alegre fez um aerolevanteamento 1:1000 da cidade, entre os anos de 2010 e 2013, desenvolvido sob a coordenação das secretarias municipais da Fazenda e do Planejamento.

De acordo com a matéria escrita pela jornalista Adriana Ferras em maio de 2012, "é um projeto inédito no poder público do país, (...) considerado estratégico na orientação dos investimentos e obras que a cidade receberá em atendimento às demandas do Orçamento Participativo e na preparação para a Copa do Mundo da FIFA - Brasil 2014". Para entender a dimensão deste projeto, segundo a jornalista da Prefeitura de Porto Alegre, "foram mapeados 470 quilômetros quadrados da cidade, e mais uma faixa de 250 metros no

entorno, para abranger os limites intermunicipais, incluindo a represa Lomba do Sabão e o Parque Saint'Hilaire, tendo uma cobertura total de 545 quilômetros quadrados", no que configurou-se, após o término do levantamento, na mais moderna base cartográfica feita por uma cidade do país na época.

É importante ressaltar também que este projeto contou com o apoio técnico da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS para a realização de fotografias aéreas por meio de equipamentos digitais de tecnologias a laser de última geração, sendo possível até fazer modelagens em 3D dos volumes das construções e das superfícies. Este novo banco de dados praticamente atualizou toda a base cartográfica da cidade, na qual, era sustentada em um sistema de 1903 e foi revisado de forma completa somente em 1957. Este levantamento, em termos de volume de dados brutos, possui aproximadamente 4TB de arquivos, configurados da seguinte forma:

- **Cobertura fotogramétrica**, tendo 3,27TB de dados, (Bandas R, G, B, IR e PAN, Pares R, G, B, IR e Fotoíndice);

- **Ortofotos**, tendo 180GB de dados, (GEOTIFF e ECW);

- **Restituição**, tendo 10,7GB de dados, (Base cartográfica e Altimetria/hidrografia);

- **Perfilamento a laser aerotransportado**, tendo 468GB de dados, (Dados brutos, MDT - pontos, MDT - raster, MDS - pontos e MDS - raster)

Para o presente estudo, foram utilizados os arquivos da cobertura fotogramétrica (bandas R, G, B e IR), das ortofotografias nos dois formatos (GEOTIFF e ECW) e do perfilamento a laser (dados brutos, MDT - raster e MDS - raster). É importante ressaltar que a malha de dados feita por este levantamento, que cobriu toda a Porto Alegre, possui um total de vinte e cinco faixas. Para a área de estudo, o Delta do Jacuí abrange até a Faixa 17, tendo um total de aproximadamente 389GB. Após receber autorização da prefeitura para utilizá-los com fins acadêmicos, os dados foram processados, georreferenciados e manipulados para a produção de um mapa espectral (RGB - visível) (Figura 25) e outro de Infravermelho (Figura 26), com o intuito de

verificar as diferenças vegetacionais existentes nos paleocanais e paleozonas, seja por critério botânico, seja por critério espectral (RGB - visível e IV).

Também foi feito um mapa altimétrico (Figura 27), utilizando os dados do perfilamento a laser, com o intuito de observar a cota altimétrica dos paleocanais e correlacioná-los com dados geofísicos. Os três mapas confeccionados possuem ao todo em torno de 40GB em arquivos TIFF, ECW, PDF e arquivos diretórios no formato gmp., nos quais podem ser utilizados livremente por meio de um *software* de sensoriamento remoto e geoprocessamento, chamado de GLOBAL MAPPER®.

É importante ressaltar que foi produzido também um mapa identificando todos os paleocanais e paleozonas de acreção sedimentar do Delta do Jacuí em formato PDF. Este mapa foi feito antes da obtenção dos dados desse levantamento feito pela Prefeitura de Porto Alegre. No entanto, ele também possui uma ótima qualidade da resolução, encontra-se na escala 1:4.000 e serviu de base para o planejamento logístico de campo com uso da interface do *Google Earth*™, uma vez que era necessário identificar paleocanais representativos para este estudo e que estivessem em área de fácil acesso. Anexados ao final do trabalho, encontram-se impressões no formato A3 de cada um desses mapas. No entanto, a qualidade de resolução é muito melhor que este formato de impressão. Desta forma, recomenda-se observá-lo por meio do GLOBAL MAPPER®.

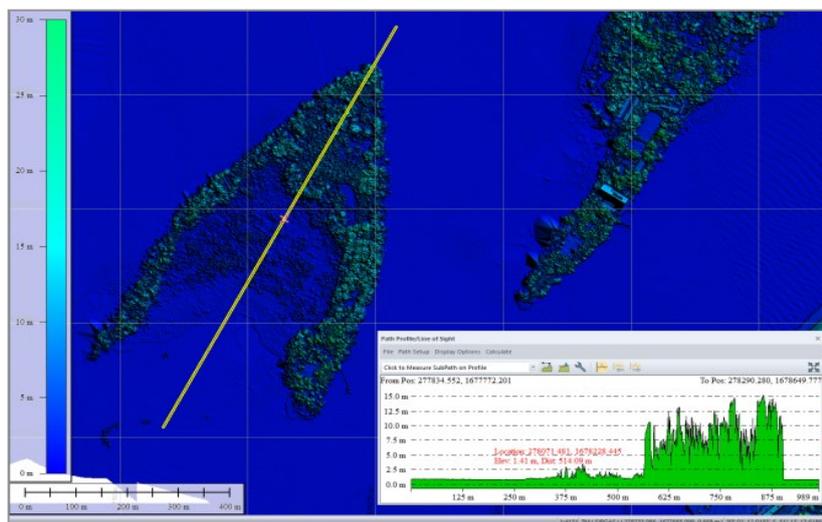
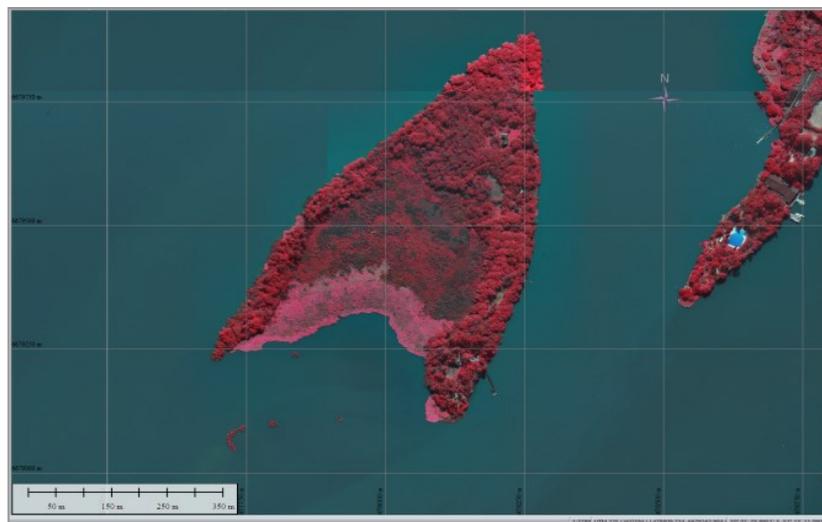


Figura 24: Ilha do Chico Inglês em imagem espectral de bandas RGB – visível, e de infra-vermelho e, mais abaixo, altimétrica, onde o traço amarelo indica localização de um perfil topográfico longitudinal.

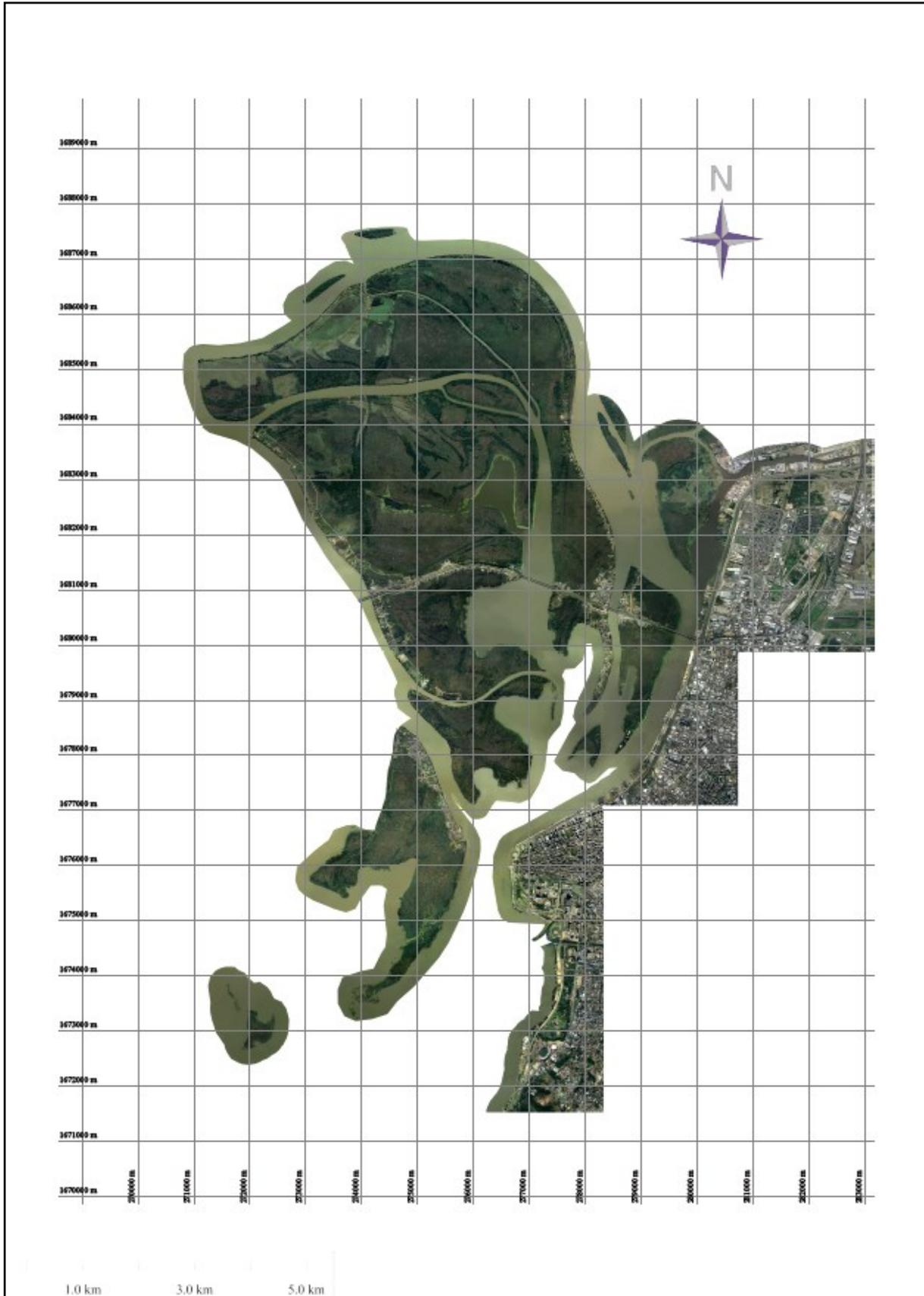


Figura 25: Mapa espectral com bandas RGB (visível) do Delta do Jacuí.

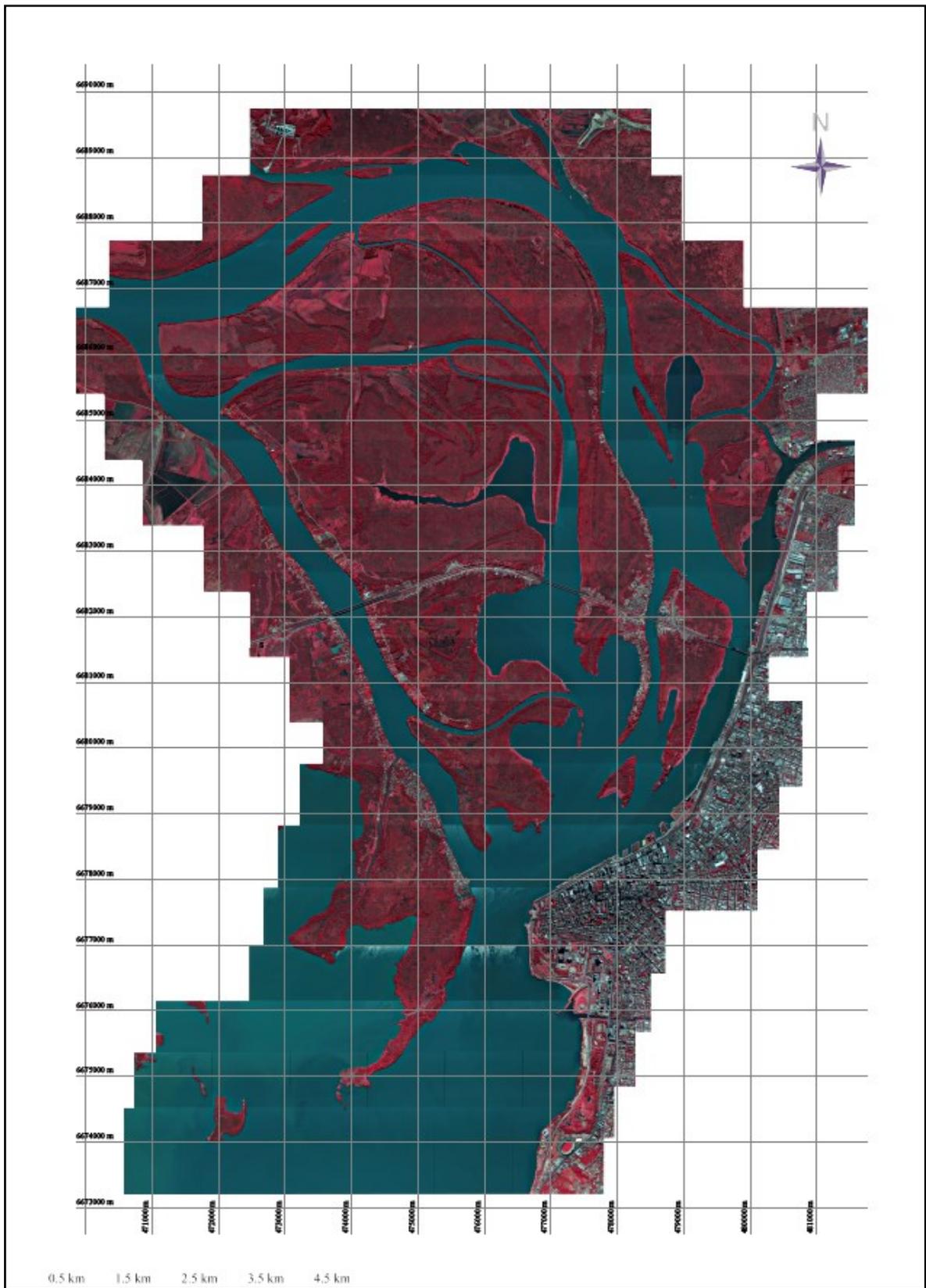


Figura 26: Mapa espectral de infravermelho do Delta do Jacuí.

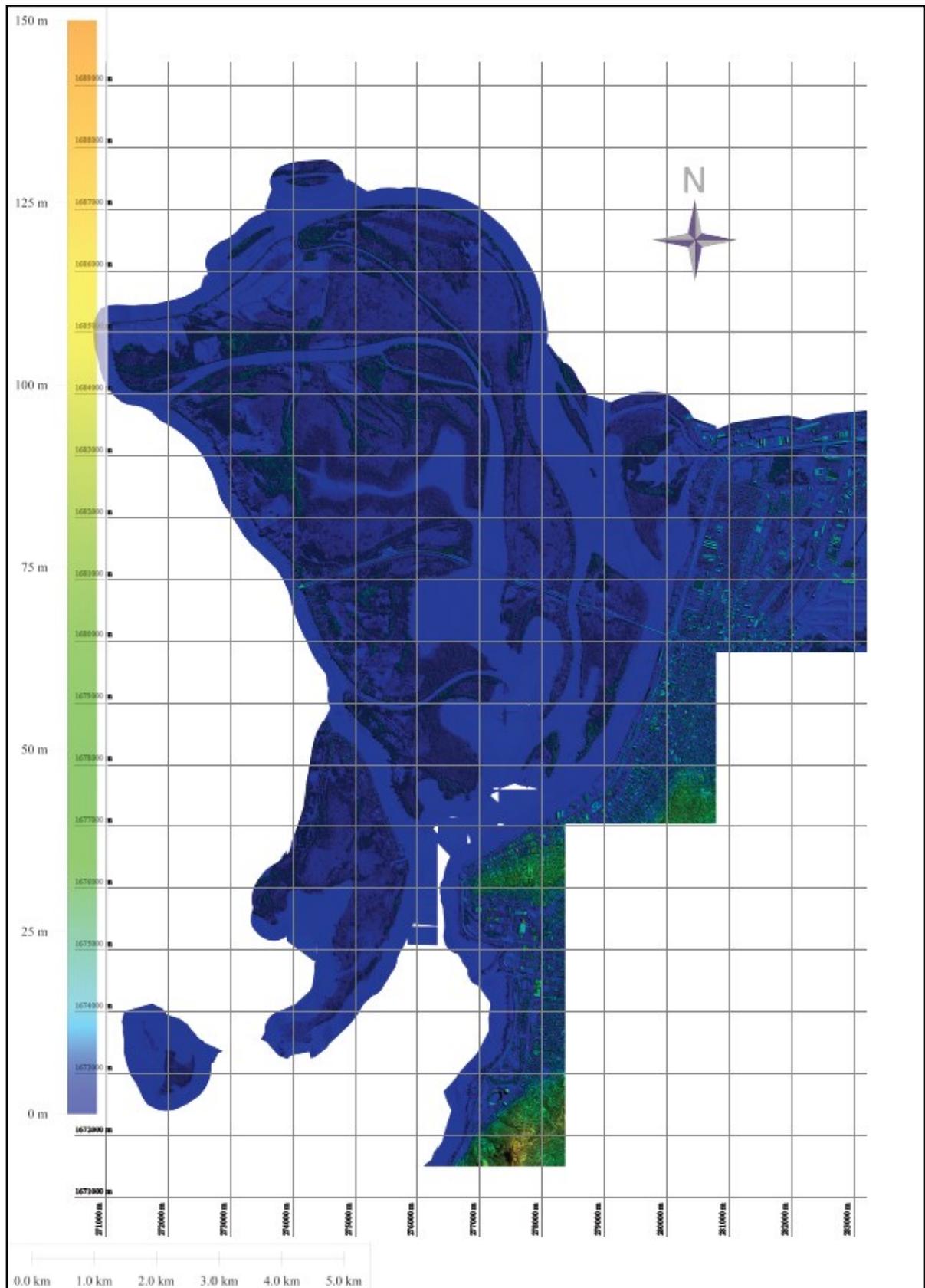


Figura 27: Mapa altimétrico do Delta do Jacuí.

Após a confecção e análise dos paleocanais por meio dos mapas espectrais de RGB - visível e IV e do mapa altimétrico, com o intuito de identificar paleocanais e paleozonas de acreção sedimentar, foi possível observar que, sob o critério botânico e espectral RGB - visível, há um predomínio de vegetações arbustivas, entremeadas por plantas herbáceas no interior dos diques marginais (denominada de Herbácea alta, representada pela presença de capinzal e de juncal com até dois metros), tendo matas mais desenvolvidas no seu entorno (denominada de Floresta Estacional Semidecidual Aluvial). Formações vegetais do tipo Herbácea alta e Herbácea Baixa, segundo Oliveira e Porto (1999, apud CHIAPPETTI, 2005), "são campos inundáveis encontrados nas bacias de sedimentação no interior das ilhas, bem como nas margens de rios, canais e sacos, formando grandes concentrados de gramíneas, aguapés e outras vegetações aquáticas". No que se refere a Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, essa formação vegetal, segundo Oliveira & Porto (1999, apud CHIAPPETTI, 2005), "ocupam cerca de 6,85% da área do Parque Estadual do Delta do Jacuí, localizando-se sempre próximos a paleocanais ou diques marginais, podendo atingir cerca de 12 a 15 metros".

Na medida em que se distancia do paleocanal há uma mudança na flora para ambientes mais alagadiços, como banhados ou lagoas de decantação. Essas formações vegetais são típicas nas áreas mais internas das ilhas (OLIVEIRA; PORTO, 1999) e são chamadas de Tipo Arbustiva-herbácea. Segundo Oliveira e Porto (1999, apud CHIAPPETTI), "são formações vegetais que podem chegar de 3,0 até 3,5 metros de altura, estão localizadas nas bacias de decantação semi-abertas, pois mantém contato com o rio e é comum ter a presença de juncais, de gravatá-do-banhado (*Eryngium pandanifolium*), de aguapé-gigante (*Thalia geniculata*), entre outros tipos no seu entorno". Segundo Chiappetti (2005), "é comum o surgimento de uma mistura de material de decantação e de um produto fino com grande quantidade de depósito orgânico no solo daquela região" (Figura 28).

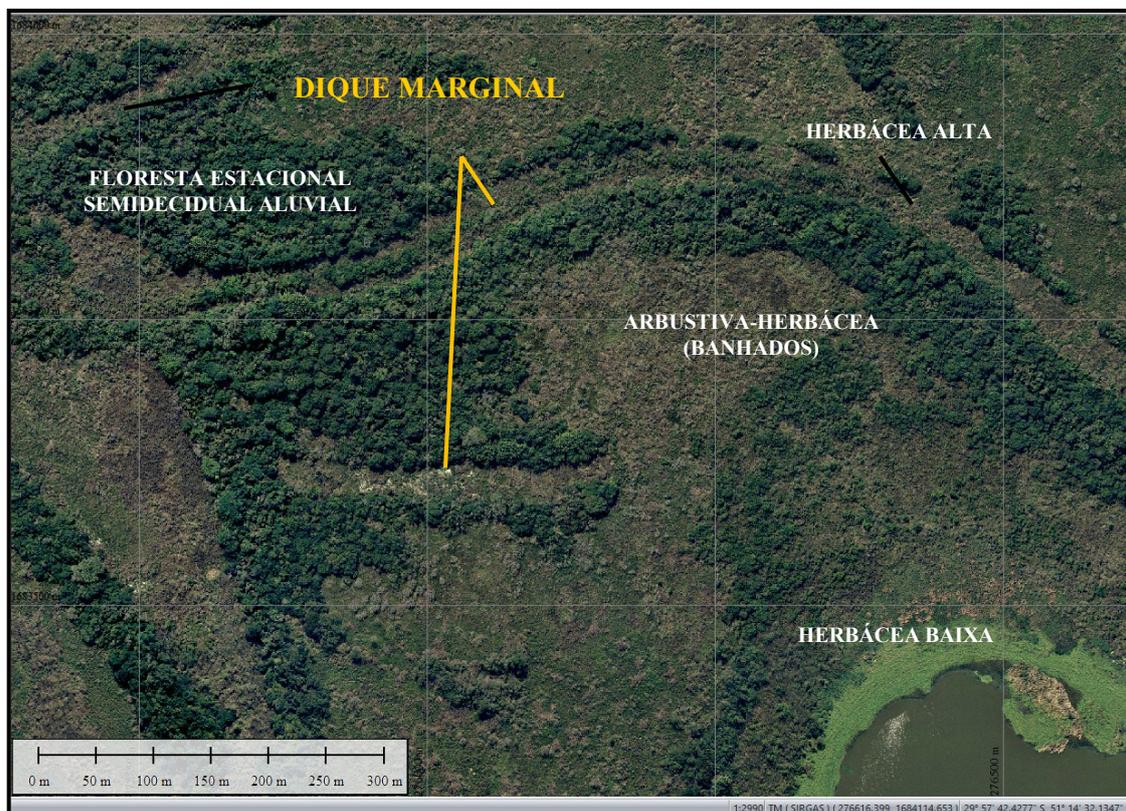


Figura 28: Identificação de paleocanais por meio de critério vegetacional em mapa espectral RGB - visível. [Fonte: Guilherme de Souza Gomes.]

Ainda sobre esse tema, agora sob a técnica espectral do infravermelho, é importante ressaltar o comportamento espectral que as vegetações possuem ao serem irradiadas por essa faixa de comprimento de onda de uma forma mais detalhada. Conforme a curva espectral mostrada na figura 11, as vegetações possuem três espectros, nas quais refletem mais a radiação eletromagnética e são elas: comprimento de onda do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio (FLORENZANO, 2007). Em termos de absorção de espectro, as plantas geralmente absorvem muito a radiação das bandas do azul e do vermelho e refletem o verde, na faixa do visível, e o infravermelho próximo (Figura 29a) (CAMPBELL, 2011). No entanto, em comparação apenas com as bandas que refletem a radiação eletromagnética, as vegetações refletem muito mais o infravermelho próximo do que o verde, ou mesmo o infravermelho médio (Figura 29b) (CAMPBELL, 2011).

Esse comportamento se deve ao fato de que, segundo Campbell (2011), "a reflectância na região do infravermelho próximo é aparentemente controlada pela natureza complexa de sua estrutura celular, ou seja, pelas cavidades internas da folha, e em consequência disso, ocorrem reflexões internas do

infravermelho dentro dessas cavidades" (Figura 30a). Existem algumas linhas científicas que defendem que, com o passar do tempo, mais cavidades internas vão surgindo dentro da estrutura interna da folha, seja por envelhecimento natural, seja por ações externas, como infestações, alterações climáticas, por exemplo, o que faz com que mais o espectro do infravermelho próximo seja absorvido (Campbell, 2011). Outro comportamento existente nas plantas é a influência que a água tem dentro dessas estruturas internas, onde aparentemente ela tem o controle das propriedades espectrais da folha, ou seja, ela tem o efeito de absorver mais a radiação do infravermelho próximo (Figura 30b) (CAMPBELL 2011).

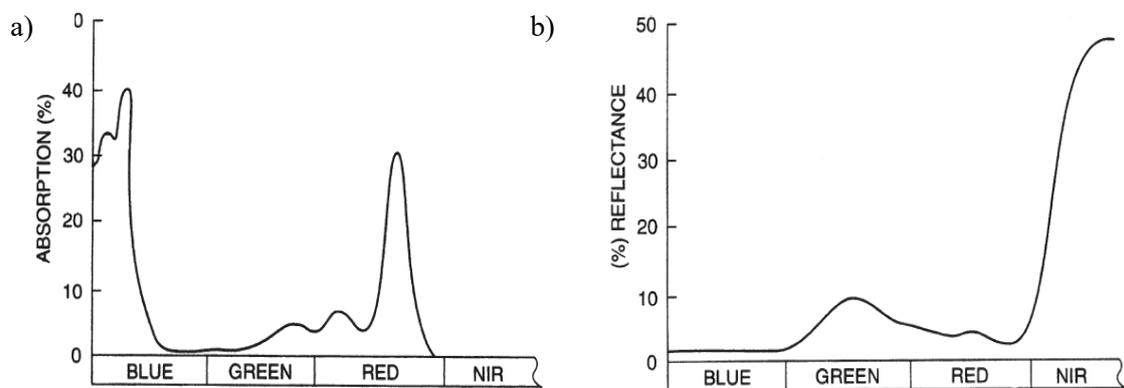


Figura 29: a) Espectro de absorção de uma folha comum. A folha absorve a radiação do azul e do vermelho e reflete o verde e o infravermelho próximo (CAMPBELL, 2011). Típica curva espectral de uma folha viva. A folha possui um brilho maior na região do infravermelho próximo do que a faixa do verde. No entanto, em termos de espectro do visível, a região de máxima reflectância é o do verde (CAMPBELL, 2011).

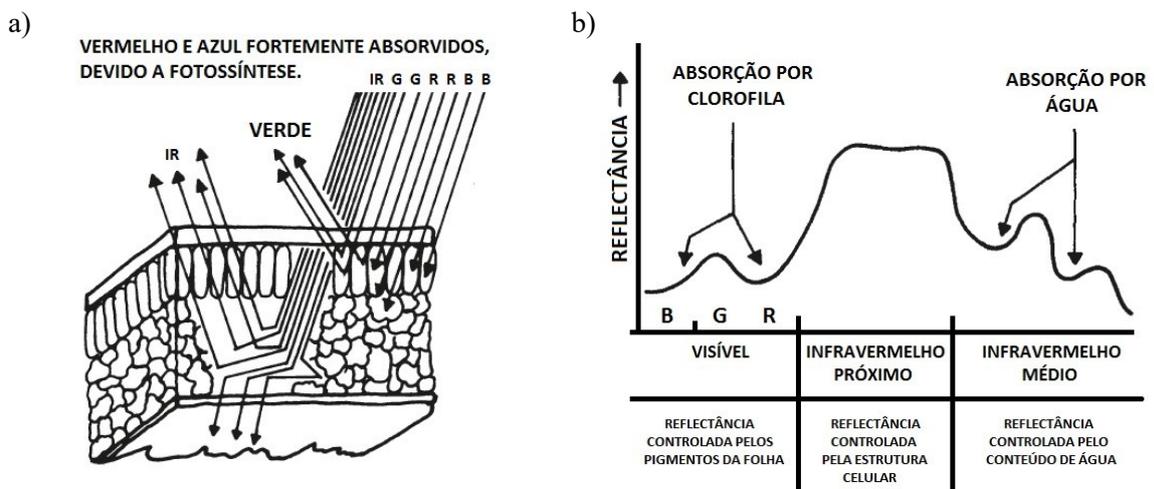


Figura 30: a) Interação da estrutura interna da folha com as radiações do visível e do infravermelho (CAMPBELL, 2011). b) Mudanças no conteúdo de água dentro da estrutura interna das folhas se tornam proeminentes na faixa do infravermelho médio (TUCKER, 1979).

Desta forma, por meio da imagem espectral de infravermelho (Figura 31), configurada para o visível na banda do vermelho, é possível observar uma alta reflectância das vegetações mais desenvolvidas no entorno dos diques marginais. É possível observar também uma atenuação relativamente forte da banda espectral em áreas mais alagadas, ou seja, o infravermelho foi absorvido devido a presença de água nas estruturas internas das folhas existentes naquela flora, bem como por sedimentos finos e acúmulo de matéria orgânica. Isso significa que a imagem fica mais escura nessas regiões e, por fim, considerando apenas a interferência de água, é possível observar esse comportamento característico nos macrófitos flutuantes encontrados em ambientes aquáticos.

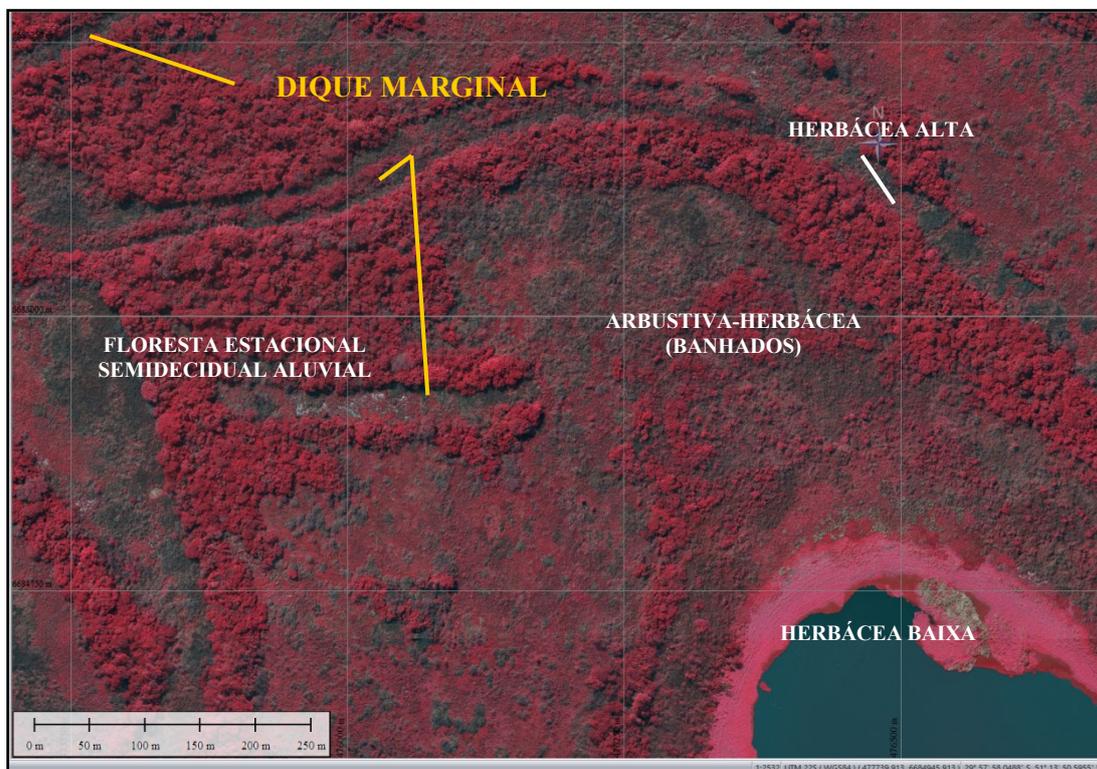


Figura 31: Identificação de paleocanais por meio de critério vegetacional em mapa espectral de infravermelho. [Fonte: Guilherme de Souza Gomes.]

Em termos altimétricos, utilizando os dados do perfilamento a laser, é possível observar que as cotas altimétricas dos diques marginais podem chegar até aproximadamente 2,7 m de altura e que as cotas de dentro dos paleocanais correspondem ao nível do mar atual (0 m) (Figura 32). Outra observação importante é que os diques aluviais corroboram com a definição descrita por Knijnik (1977), na qual fala que: "diques aluviais, ou diques

marginais, resultam da carga aluvial depositada nas margens. São constituídos essencialmente por sedimentos finos: areia, silte e argila, tendo cotas que variam de 1,2 a 1,5m de altura predominantemente, podendo chegar a até 2,7m, e de 5 a 10m de largura, e que devido a sua cota mais elevada, permite o desenvolvimento de vegetações arbóreas".

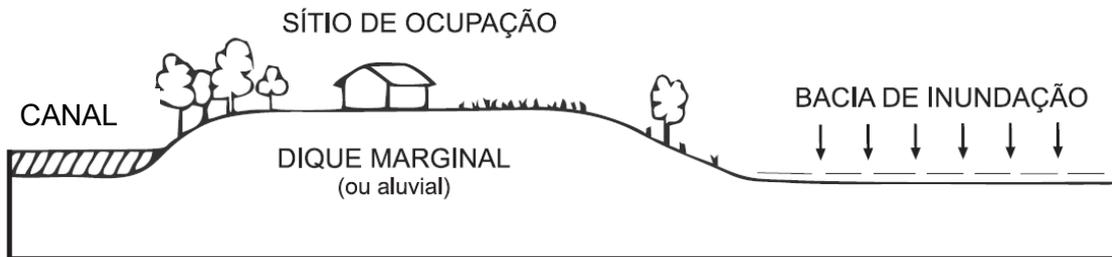


Figura 32: Esquema ilustrativo da geomorfologia de um dique marginal [Modificado de GOMES, 1982.]

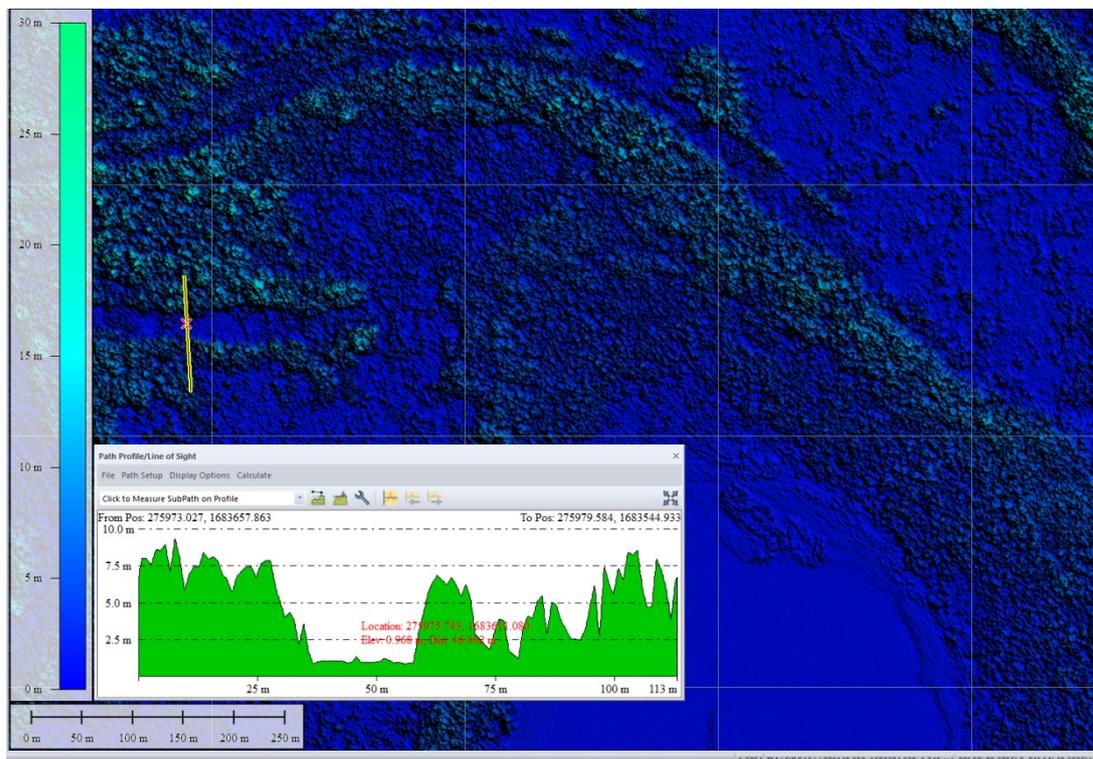


Figura 33: Identificação de paleocanais por meio de critério altimétrico. [Fonte: Guilherme de Souza Gomes.]

Nos períodos de cheia a taxa de aporte e de deposição sedimentar são potencializados, uma vez que há um maior fluxo hidrodinâmico para tal processo (KINIJINIK, 1977). Para os diques que possuem cotas mais elevadas, 2,2 a 2,7m, é importante ressaltar que esses (paleo)canais possuem influência

direta com o canal do Jacuí, permitindo a deposição de sedimentos mais grossos, como encontrados ao norte da Ilha das Flores e a do Lage (KINIJINIK, 1977). Outro fator a ser discutido é que a linha dos diques ao longo das margens não é contínua, pois devido ao excesso de retrabalhamento desses canais nos períodos de cheias, ao ponto de ficar uniformizado topograficamente com a ilha em que se encontra, os diques perdem a sua função e se tornam paleocanais (KINIJINIK, 1977). Esse comportamento é visto com nitidez nos três mapas trabalhados (RGB - visível, IV e altimétrico). Existem muitos paleocanais descontínuos identificados ao longo de diversas ilhas. Isso significa que o tempo de vida de um canal está diretamente relacionado com o aporte e deposição sedimentar, potencializados nos períodos de cheias e que são ótimos indicadores para contar o passado deste arquipélago.

Após essa discussão sobre identificação de paleocanais e zonas de acreção sedimentar por meio de sensoriamento remoto, a seguir serão abordados, em termos de resultados, os aspectos técnicos de âmbito geológicos. Fazendo a interface geologia-geotecnologias, o método de georradar teve o intuito de identificar estruturas sedimentares que permitissem caracterizar a presença de paleocanais, bem como fazer seções bidimensionais de subsuperfície e correlacioná-las litoestratigraficamente com amostras de testemunhos coletadas durante o período de campo.

Este método obteve êxito na identificação de um paleocanal, em apenas uma seção bidimensional (perfil Delta 004). Este ponto localiza-se na porção oeste da região deltaica, próximo ao município de Guaíba (Figura 34a). Os demais perfis ficaram com pouca resolução devido ao excesso de ruído no subsolo. Provavelmente foi devido ao fato de ser uma área de inundação, ou seja, há muita presença de água no subsolo e de materiais argilosos, fazendo com que o sinal de detecção seja atenuado (piorado).

Por meio da seção bidimensional de subsuperfície foi possível identificar variações texturais dos depósitos sedimentares em termos de eventos de inundações nas regiões de crista (cota mais alta) e de calha (cota mais baixa)

de um dique marginal (Figura 34b e Figura 35). Ao observar essas variações litológicas, se fez necessária a coleta de testemunhos de sondagem nesses dois tipos de depósitos próprios dos diques marginais de canais distributários (crista e calha), com o intuito de fazer uma caracterização sedimentológica detalhada, por meio de técnicas analíticas, como análise sedimentológica e de difratometria, bem como fazer análise de fácies desses testemunhos. Desta forma, a seguir serão apresentados as colunas estratigráficas dos testemunhos PDJ01A (Figura 36), PDJ01B (Figura37), PDJ02B (Figura 38) e PDJ03A (Figura39).

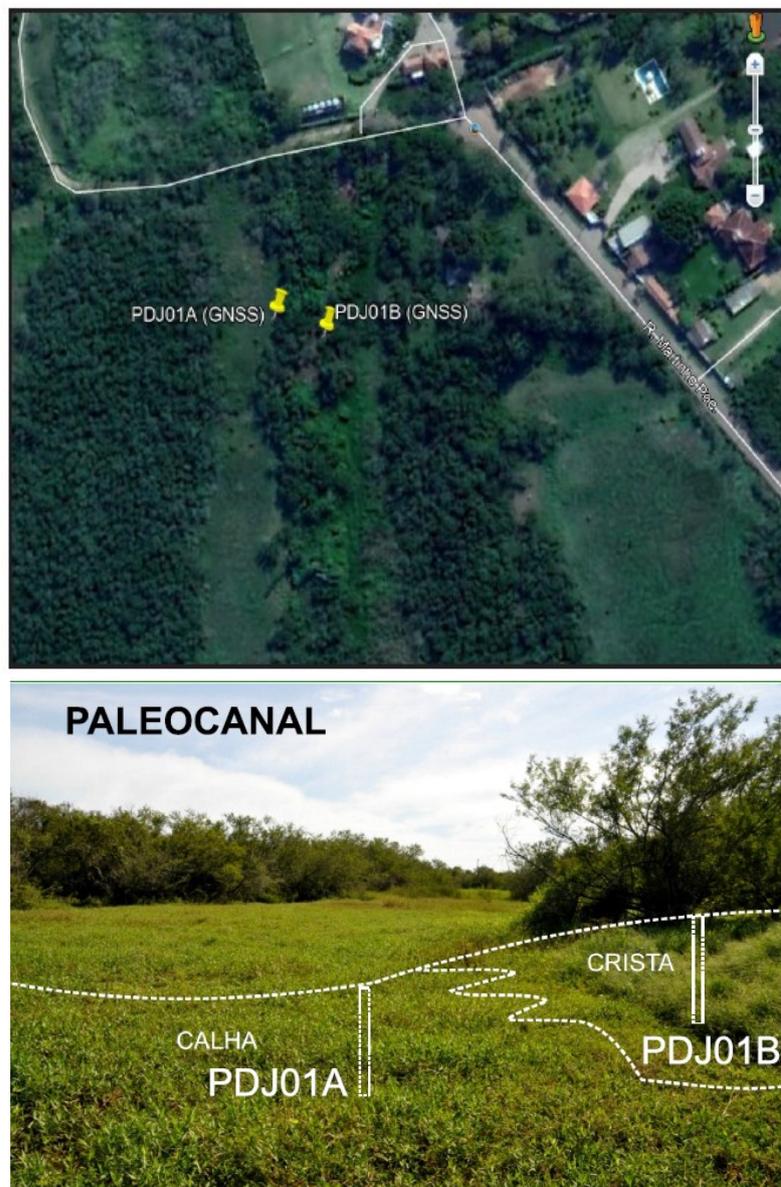


Figura 34: a) Localização dos pontos para a coleta de testemunho de sondagem e também de onde foi feita a seção bidimensional de subsuperfície. b) Região de crista e de calha de um dique marginal e consequente coleta de amostra, por meio de testemunho de sondagem, em cada um deles. [Fonte: Guilherme de Souza Gomes]

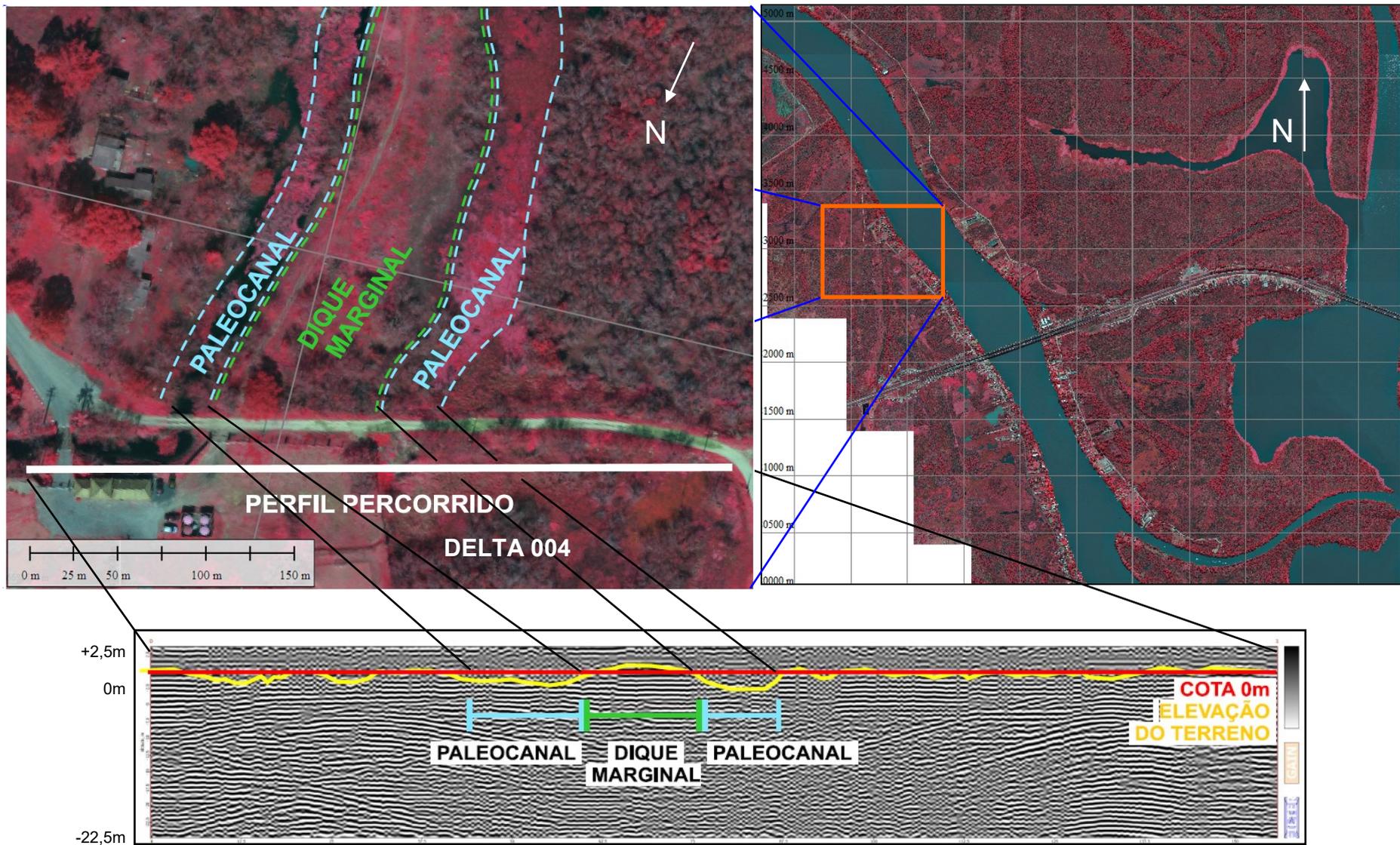


Figura 35: Identificação de um paleocanal e de um dique marginal por meio da técnica de georradar, ou GPR - *Ground Penetrating Radar*, onde foi possível observar diferenças litológicas em termos de sinais recebidos. [Fonte: Guilherme de Souza Gomes]

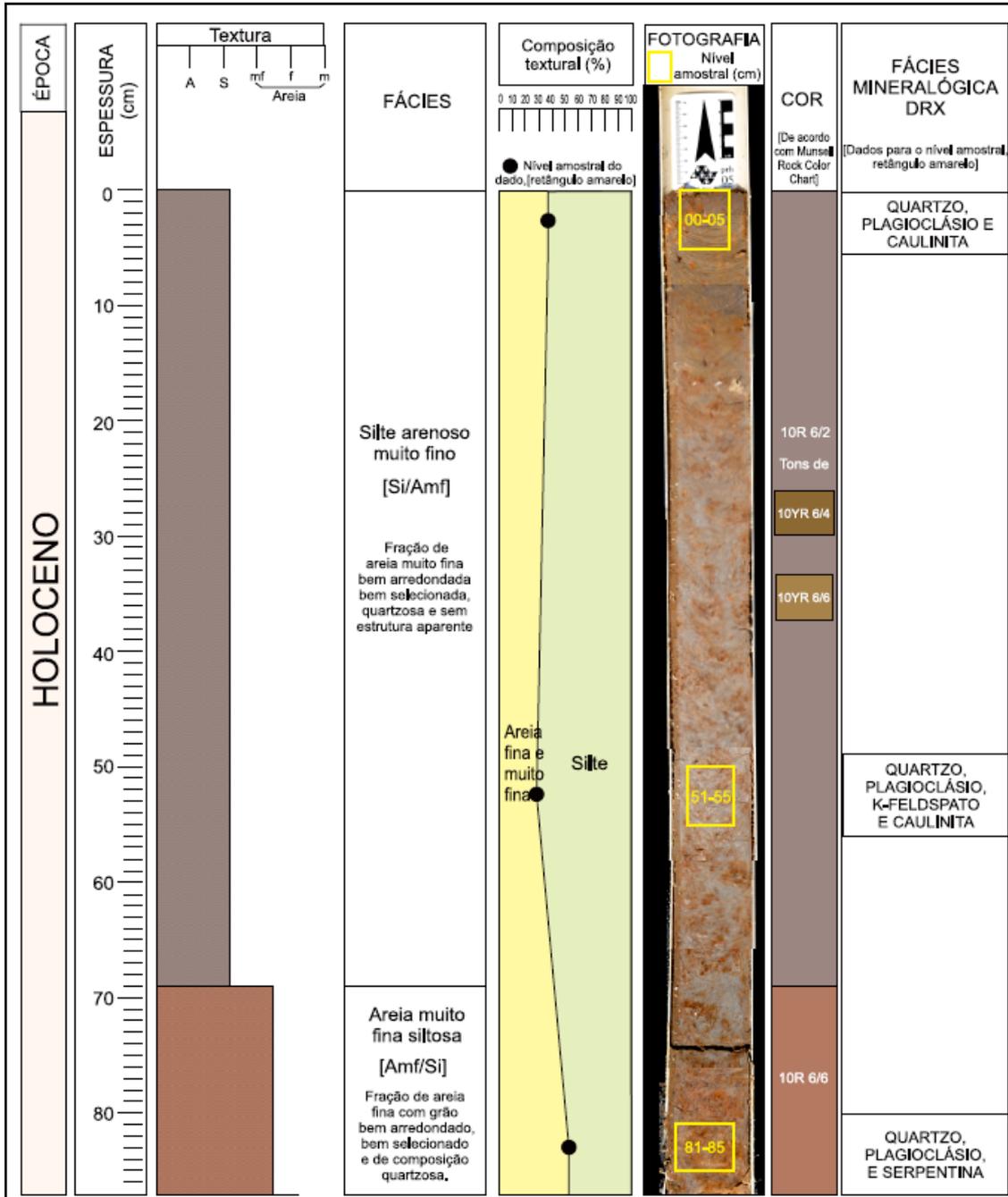


Figura 36: Perfil Colunar do testemunho de sondagem PDJ01A em depósito de calha de um paleocanal. [Fonte: Guilherme de Souza Gomes].

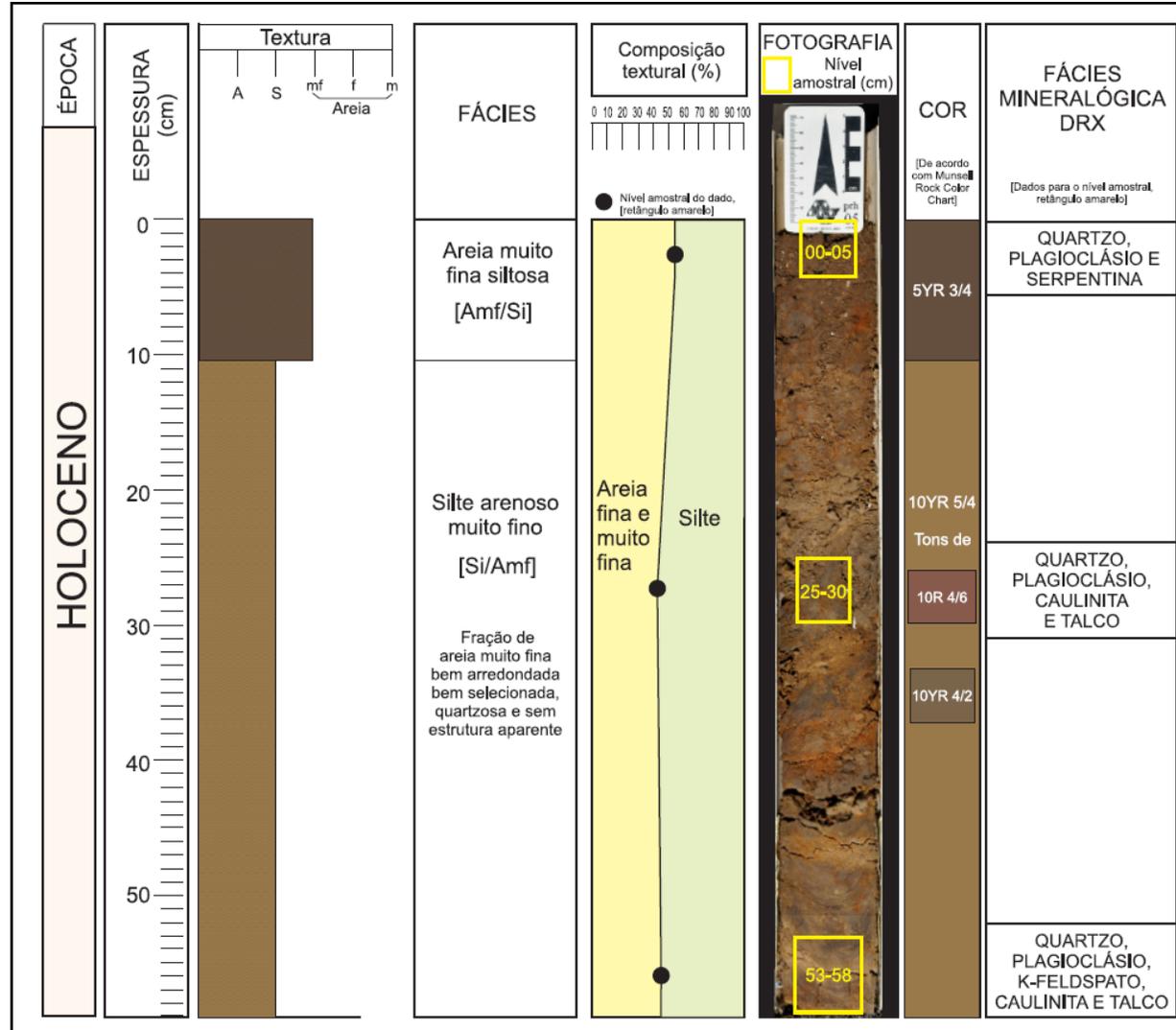


Figura 37: Perfil colunar do testemunho de sondagem PDJ01B em depósito de crista de um paleocanal. [Fonte: Guilherme de Souza Gomes].

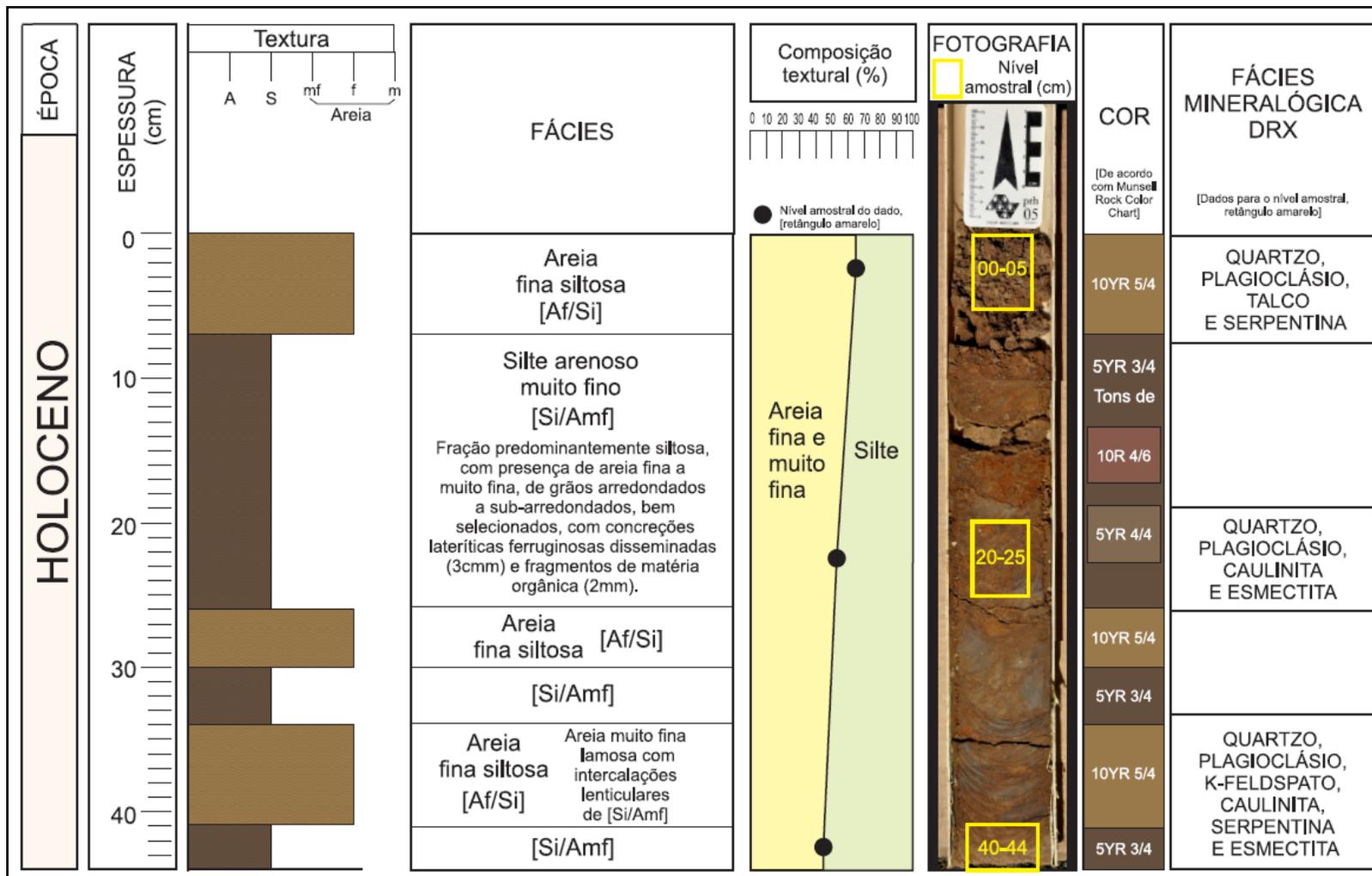


Figura 38: Perfil colunar do testemunho de sondagem PDJ02B em depósito de crista de um paleocanal [Fonte: Guilherme de Souza Gomes].

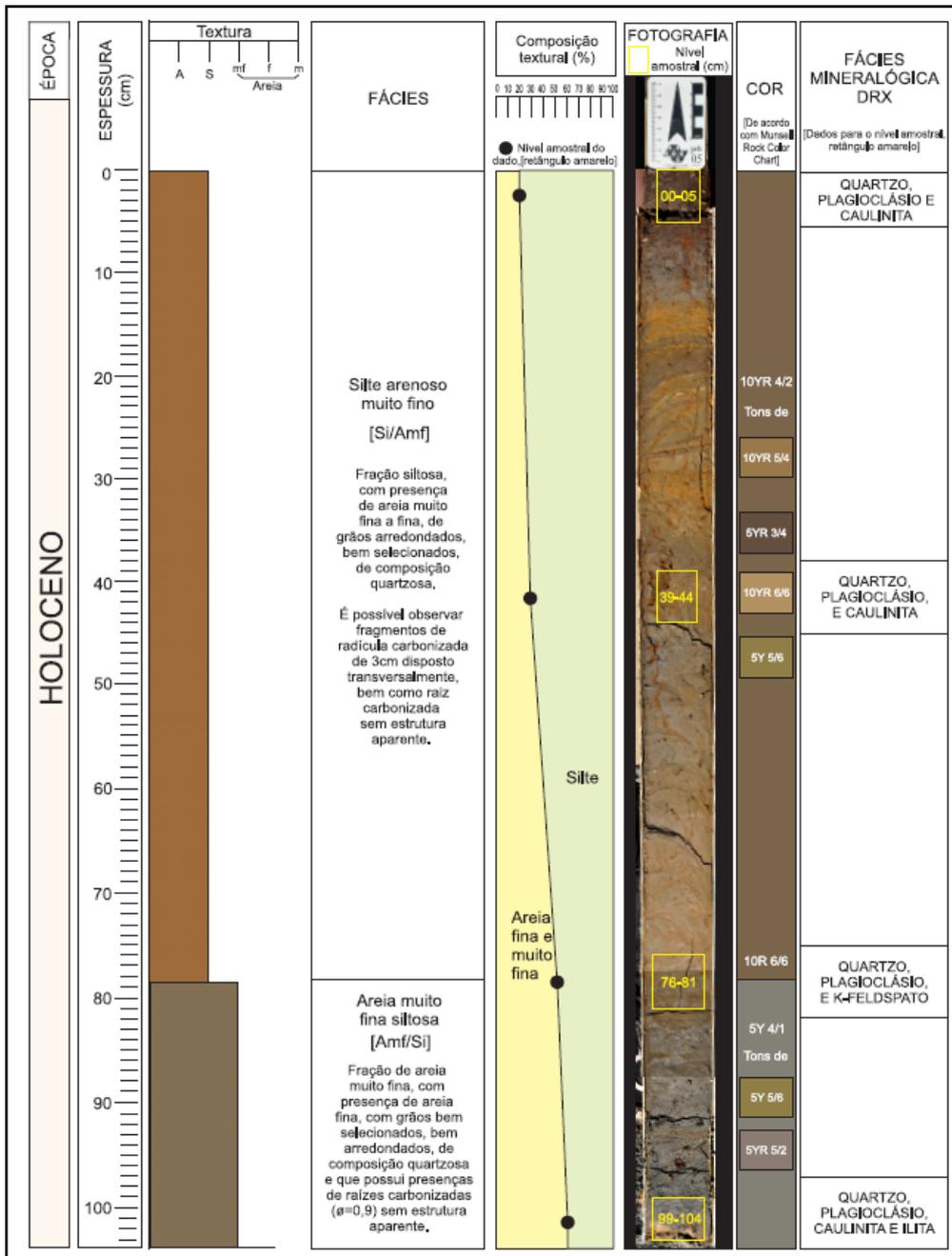


Figura 39: Perfil colunar do testemunho de sondagem PDJ03A em depósito de calha de um paleocanal. [Fonte: Guilherme de Souza Gomes].

Com base nos resultados obtidos, por meios da análise de fácies, das análises sedimentológicas e de DRX, constatou-se padrões litológicos tanto para amostras de calha quanto para amostras de crista. Para amostras de calha, constatou-se a presença predominante de camadas espessas de siltes arenosos muito finos [Si/Amf] nas porções mais superficiais, com aumento gradual de granulometria, para areias muito finas siltosas [Amf/Si] nas porções mais profundas dos testemunhos. Outra semelhança, conforme a Tabela 2, é o padrão mineralógico encontrado nas amostras de calha, no qual são encontrados quartzo, plagioclásio e caulinita nas porções mais superiores e a medida em que aprofunda litologicamente, vai ocorrendo uma heterogeneidade mineralógica, na qual é possível encontrar até minerais metamórficos, como por exemplo a serpentina.

Já para amostras de crista, constatou-se a presença de materiais mais grossos, como areias finas a muito finas siltosas - [Af/Si - Amf/Si] depositadas em cima de camadas de siltes arenosos muito finos [Si/Amf], que por vezes estão dispostas de forma intercaladas. Outra semelhança, conforme a Tabela 2, é o padrão mineralógico encontrado nas amostras de calha, no qual são encontrados uma heterogeneidade de minerais em todas as profundidades analisadas, na qual também são encontrados minerais metamórficos como serpentina e talco.

Em termos de interpretação, é possível dizer que o fato de existirem camadas espessas de siltes arenosos muito finos depositados na superfície das amostras de calha se dá devido a mudança de fluxo hidrodinâmico do canal alimentador deste dique, fazendo com que, por excesso de retrabalhamento, o dique marginal perca sua função, transformando aquele local em lagoas de decantação. Desta forma, isto propicia a deposição desses sedimentos finos, fazendo com que aquele dique se torne em um paleocanal, o que corrobora com o modelo proposto por Kinijinik (1977).

O fato de existir sedimentos mais grossos em níveis mais profundos nas amostras de calha, é possível dizer que em tempos mais antigos ela já fez parte de uma crista de um dique marginal, o que corrobora com o

comportamento litológico encontrado nas amostras de crista (ex: PDJ02B), onde há intercalações de materiais mais grossos com mais finos, o que pode indicar retrabalhamento de sedimentos. Outra semelhança encontrada é que essa heterogeneidade mineralógica sempre acontece nas frações mais grossas de sedimentos, ou seja, são de materiais provenientes de outras regiões do estado, tendo do Escudo Cristalino, uma influência maior. Em termos de presença de matéria orgânica, constatou-se que as amostras de calhas possuem uma maior porcentagem, uma vez que ainda são áreas alagadiças, o que propicia para o acúmulo desses materiais, embora não seja muito significativo.

Tabela 2: Resultados das análises obtidas para as amostras coletadas dos testemunhos de sondagem por meio das análises sedimentológicas, de matéria orgânica e de DRX.

NOME DA AMOSTRA	PROFUNDIDADE (cm)	PORCENTAGEM DE TAMANHO DE GRÃO						% DE MATÉRIA ORGÂNICA	DIFRATOMETRIA DE RAIOS X MINERALOGIA
		COLÓIDE	ARGILA	SILTE	AREIA M. FINA	AREIA FINA	AREIA MÉDIA		
PDJ01A	0 - 5 (Topo)	0,16	1,43	62,38	29,99	6,04	-	1,0767	QUARTZO, PLAGIOCLÁSIO E CAULINITA
	50 - 55	0,19	2,04	76,70	19,60	1,48	-	2,1491	QUARTZO, PLAGIOCLÁSIO, K-FELDSPATO E CAULINITA
	81 - 85 (Base)	-	0,87	48,49	38,81	11,85	-	2,1915	QUARTZO, PLAGIOCLÁSIO E SERPENTINA
PDJ01B	0 - 5 (Topo)	-	0,80	45,36	37,95	15,89	-	1,5149	QUARTZO, K-FELDSPATO E SERPENTINA
	25 - 30	-	1,17	57,34	33,65	7,82	-	1,8820	QUARTZO, PLAGIOCLÁSIO, CAULINITA E TALCO
	53 - 58 (Base)	-	1,02	52,69	34,86	11,41	0,03	1,4303	QUARTZO, PLAGIOCLÁSIO, K-FELDSPATO, CAULINITA E TALCO
PDJ02B	0 - 5 (Topo)	0,78	0,05	34,33	29,52	34,45	0,87	0,7607	QUARTZO, PLAGIOCLÁSIO, TALCO E ESMECTITA
	20 - 25	-	0,77	47,71	34,90	16,38	0,23	0,7714	QUARTZO, PLAGIOCLÁSIO, CAULINITA E ESMECTITA
	40 - 44 (Base)	-	1,54	54,79	35,46	8,20	-	1,2474	QUARTZO, PLAGIOCLÁSIO, K-FELDSPATO CAULINITA, SERPENTINA E ESMECTITA
PDJ03A	0 - 5 (topo)	-	5,71	79,85	13,19	1,25	-	4,5545	QUARTZO, PLAGIOCLÁSIO E CAULINITA
	39 - 44	0,42	3,52	71,04	18,00	7,03	-	3,2891	QUARTZO, PLAGIOCLÁSIO E CAULINITA
	76 - 81	0,94	0,04	36,05	36,30	26,43	0,24	1,7378	QUARTZO, PLAGIOCLÁSIO E K-FELDSPATO
	99 - 104 (Base)	-	-	38,66	22,43	27,95	10,95	2,0904	QUARTZO, PLAGIOCLÁSIO, CAULINITA E ILITA

Por fim, com base em todos esses critérios aqui expostos, foi possível identificar em detalhes os paleocanais e paleozonas de acreção sedimentar existentes no Delta do Jacuí. Desta forma, foi elaborado um mapa 1:4000 atualizado (Figura 40), identificando todas estas feições geomorfológicas, a fim de estudar as complexidades de formação das ilhas desse arquipélago e propor modelos de evolução das mesmas. Em termos quantitativos, com base em critérios vegetacionais, que resultam da evolução geomorfológica, e em critérios espectrais RGB - visível e infravermelho, devido ao comportamento espectral dos diferentes tipos vegetações da região, foi possível reconhecer 76 paleocanais e 32 superfícies de acreção, com possibilidade de haver mais, caso seja analisado na escala 1:1.000.

Por fim, o presente estudo apresenta uma proposição de evolução morfológica de cada ilha em termos geomorfológicos relacionados à hidrodinâmica deltaica, uma vez que o modelo de Kinijinik aborda somente o processo de formação de ilhas de uma forma bem mais generalista. O próprio Knijinik, em seu trabalho publicado no Plano Diretor do Parque Estadual do Delta do Jacuí, sob o título: Geologia do Delta do Jacuí: Relatório Final, nas páginas 14 e 15, explicou: *"Como o 'delta do Jacuí' é um caso extraordinário e peculiar, porquanto se trata de um rio que desemboca diretamente no Guaíba (rio, lago, ou estuário) e não no mar, e também por ser um delta de vários rios (Caí, Sinos e Gravataí) e não apenas no Jacuí, merece ser estudado em seus aspectos particulares"*, e é desta forma que será feita a proposição de modelos evolutivos para as ilhas do Delta do Jacuí.

Embora esse autor tenha visto 'peculiaridade', cabe comentar que deltas de cabeceira de baía em sistemas lagunares não são uma exceção nas costas da América do Norte e Europa, por exemplo. Do mesmo modo, o Delta de cabeceira de baía do Rio Paraná e do Rio Uruguai, no estuário de La Plata, também possui uma formação por mais de um rio.



Figura 40: Mapa de paleocanais e paleozonas de acreção sedimentar [Fonte: Guilherme de Souza Gomes].

## 5.2. MODELOS EVOLUTIVOS DAS ILHAS DO DELTA DO JACUÍ

Para dar início a este tópico, é necessário abordar sobre fluxos e processos sedimentares na foz de rios. Em termos hidrodinâmicos, quando fluidos que se encontram em regime turbulento (rios) encontram locais com maior área de descarga (lagos ou mar), eles tendem a perder velocidade (Figura 41a). Essa desaceleração de fluxo hidrodinâmico resulta na deposição de uma carga sedimentos contidos no fluido, ocasionando a formação de barras de acreção sedimentar, em geral, próximos as margens da foz, que é onde a desaceleração é maior (Figura 41b). Segundo (BATES, 1953; WRIGHT, 1977; EDMONDS; SLINGERLAND, 2007 apud BRIDGE, 2008), "a natureza dessa mistura, espalhamento, desaceleração e deposição sedimentar depende da velocidade e geometria (largura e profundidade) do rio, das variações de profundidade da bacia, da diferença de densidade entre o rio e a água da bacia e o tamanho de grão e a densidade do sedimento transportado".

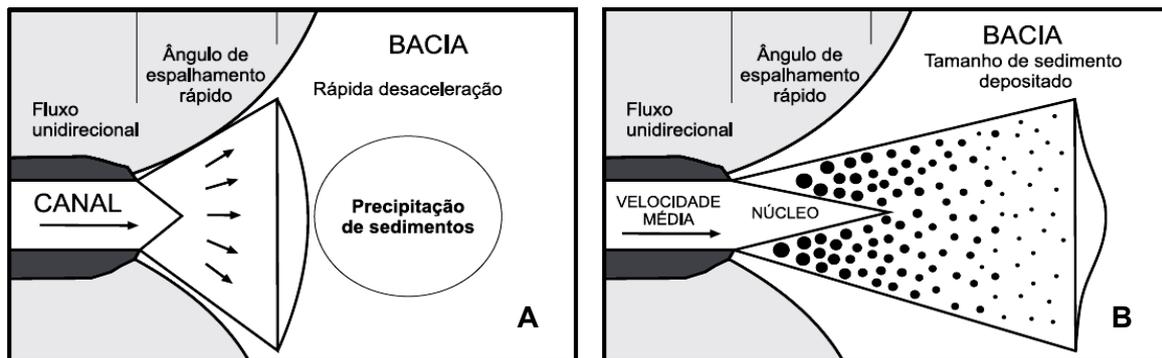


Figura 41: a) Desaceleração rápida de velocidade de fluxo, ocasionando deposição de sedimento. b) Relação entre velocidade de fluxo com tamanho de grão e densidade dos sedimentos depositados [Modificado de LEEDER (1999), baseado em WRIGHT (1977)].

No que se refere a formação de barras de acreção, a distância da crista da barra está diretamente relacionada com a largura do canal produtor de sedimentos, profundidade média, velocidade média e com sua diminuição no tamanho de grão, para densidades de sedimentos constantes, ou seja, sem considerar períodos de cheias (Figura 42a) (BRIDGE, 2008). Com o passar do tempo, esses sedimentos que estão sendo depositados vão formando novas camadas sedimentares naquela barra sedimentar, o que vai ocasionando novas zonas de acreção sedimentar ao ponto de poderem aflorar na superfície (Figura 42b), conforme dito na seção 3.2. E essa relação de deposição

sedimentar atreladas a diferentes direções de fluxos hidrodinâmicos, juntos aos outros parâmetros mencionados anteriormente, é que faz a formação dessas barras de acreção terem formas singulares no caso das ilhas do Delta do Jacuí. Desta forma, a proposição de modelos evolutivos morfodinâmico das ilhas do Delta do Jacuí passarão por esses critérios científicos, a fim de poder explicar a complexidade geomorfológica desse arquipélago.

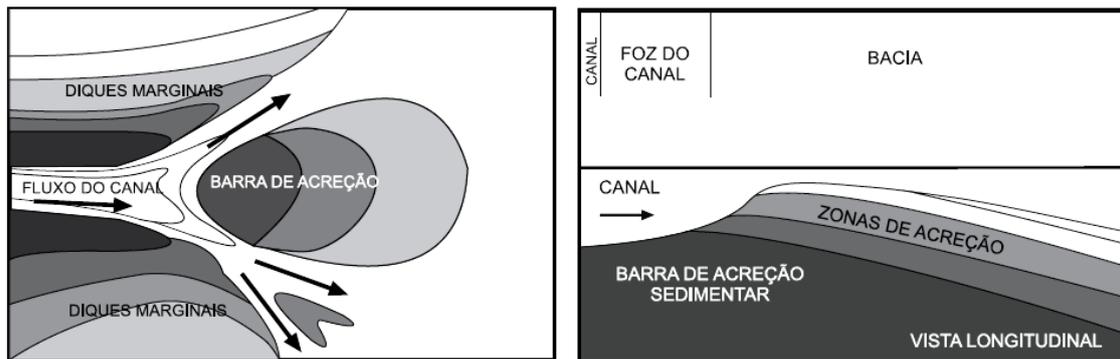


Figura 42: a) Formação de barras de acreção sedimentar na foz de um canal com posterior bifurcação de fluxo hidrodinâmico e formação de novas barras de canal. b) Novas zonas de acreção sedimentar sendo formadas [Modificado de LEEDER (1999), baseado em WRIGHT (1977)].

Direcionando esses aspectos geomorfológicos e hidrodinâmicos para o Delta do Jacuí, é importante ressaltar que o fluxo hidrodinâmico e o aporte sedimentar principal que alimenta o delta é proveniente do rio Jacuí. Já os rios Caí, Gravataí e dos Sinos possuem uma contribuição menor nesses parâmetros, mas mesmo assim, é suficiente para influenciar na geomorfologia acrecional das ilhas, ou seja, no padrão deposicional das zonas de acreção existentes nas ilha do Delta, formando assim formas complexas que serão discutidas e propostas a seguir. Com base na análise de paleocanais e paleozonas de acreção sedimentar, constatou-se que as ilhas do Delta do Jacuí foram formadas por dois padrões básicos de ilhas: o de Arco Côncavo (ou ilha chevron) e o de Barra central.

#### 5.2.1. PADRÃO BÁSICO DE ILHA DO DELTA: ILHA DE BARRA EM CHEVRON

A forma de acreção em dois braços divergentes, formando um “V” cujo vértice aponta para montante, e baía de decantação e fluxo de retorno a jusante, resulta da bifurcação de fluxo hidrodinâmico de um canal, devido ao

encontro de uma barra de acreção sedimentar emersa na superfície depositadas em locais com maior área de descarga (lagos ou mar)(DRAGO, 1973; SOUZA FILHO, 1993). Seu crescimento se dá devido a geração de fluxos de retorno existentes nos limites laterais dos braços da barra arenosa em direção a uma zona de fluxo estagnante recém-criada a jusante (KNIJINIK, 1977 apud CHIAPPETTI, 2005) (Figura 43a). Um exemplo encontrado no Delta do Jacuí é a Ilha do Chico Inglês (Figura 44a).

### 5.2.2. PADRÃO BÁSICO DE ILHA DO DELTA: ILHA DE BARRA LONGITUDINAL

Basicamente são ilhas alongadas, fusiformes, geradas dentro de canais, e tem sua origem a partir da disposição central de uma barra sedimentar que é estabilizada pelo movimento da vegetação e que acresce verticalmente por decantação de material fino durante os períodos de cheias (BRICE, 1964 apud LELI, 2015) (Figura 43b). Esse tipo de ilha pode ser encontrado em alguns locais no Delta do Jacuí (Figura 44b).

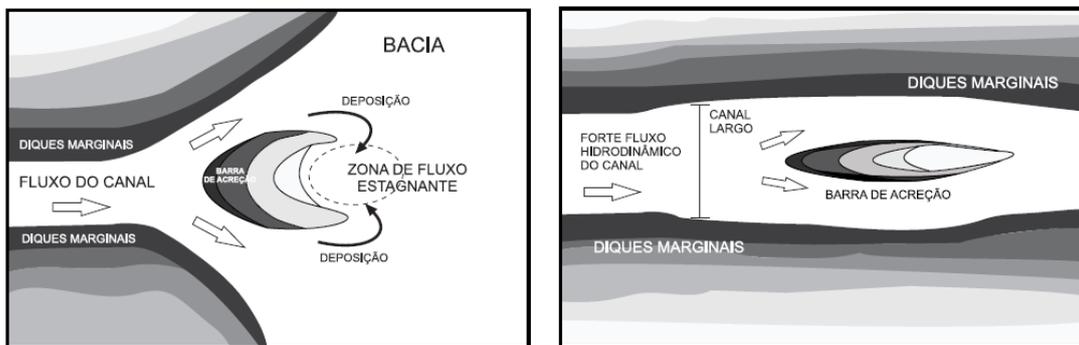


Figura 43: a) Formação de uma ilha de barra em chevron. b) Formação de uma ilha de barra longitudinal.



Figura 44: a) Análogo em estágio inicial de evolução em ilha de barra em chevron - Ilha do Chico Inglês. b) a) Análogo em estágio inicial de evolução em ilha de barra longitudinal. [Imagem Landsat, levantamento 1:1.000]

A partir dos padrões básicos de formação de barras submersas e emersas, a configuração do corpo receptor – o lago Guaíba – com quatro rios afluentes, produz formas de acreção típicas.

No caso da **barra longitudinal** formada em canal distributário próximo a foz de outro canal, a acreção lateral da ilha é mínima e a acreção longitudinal dá-se por meio de arcos sucessivos, gerando uma margem encurvada. Nesse caso, há vários estádios de acreção longitudinal sob influência de fluxo lateral oblíquo. Os diversos estádios de acreção estão ilustrados na figura abaixo (Figura 45). Nos dois estádios superiores da figura, a barra cresce sem influência do canal lateral. Nos dois estádios intermediários, a acreção começa a ter influência do canal lateral e a margem da ilha que recebe essa influência passa a ser encurvada longitudinalmente. A acreção lateral é delimitada pelo fluxo do canal lateral, por erosão e deposição consecutiva a jusante. Por fim, os dois estádios no bordo inferior da figura ilustram a forma final encurvada da ilha. Essa configuração é observável na Ilha do Cipriano (Figura 46) como um estágio intermediário que pode ainda avançar para a coalescência de duas formas longitudinais, como ocorre na ilha Passo dos Marinheiros (Figura 47).

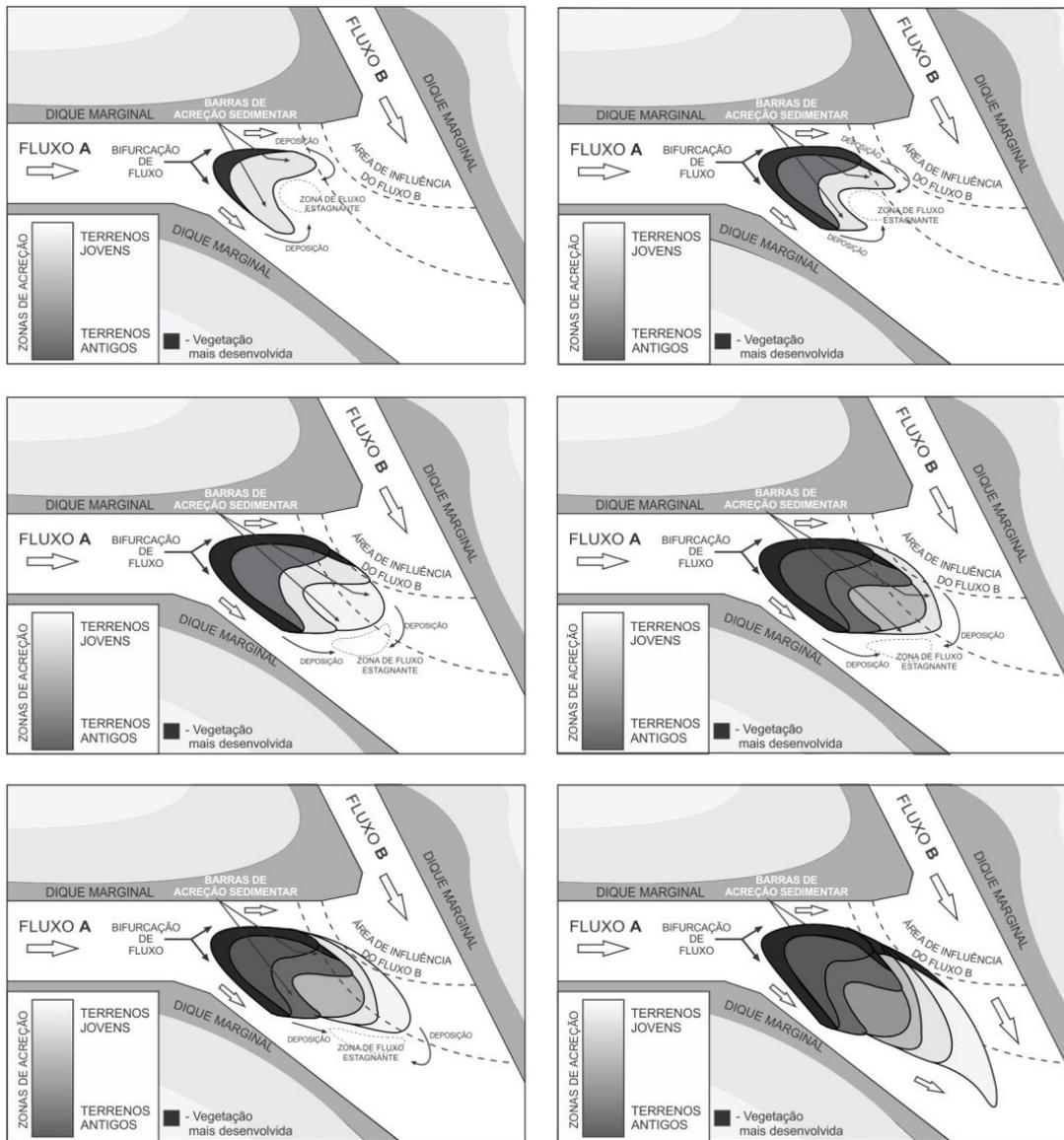


Figura 45: Estádios de acreção de barra longitudinal em canal distributário sob influência de fluxo lateral oblíquo [Fonte: Guilherme de Souza Gomes].



Figura 46: Ilha do Cipriano, mostrando a forma final resultante de acreção de barra longitudinal, em estágio intermediário, sob influência de canal oblíquo. [Imagem do levantamento aerofotogramétrico]



Figura 47: Ilha Passo dos Marinheiros cuja forma resulta da coalescência, em estágio avançado, de duas ilhas longitudinais cuja acreção deu-se sob influência de fluxos oblíquos, sendo eles os rios Caí, Sinos. [Imagem do levantamento aerofotogramétrico]

Já as **ilhas e barras em chevron**, que ocorrem em áreas mais amplas do delta, a coalescência desse tipo de padrão produz formas mais complexas que as de barras longitudinal. Os diversos estádios de acreção estão ilustrados nas imagens a seguir. A característica mais singular observada nessas ilhas coalescidas é o fato de possuir um canal com direção de fluxo perpendicular ao fluxo do canal principal. E para isto acontecer, o processo de formação deste tipo complexo de ilha tem seu início somente pela existência de três condições naturais e são elas: um canal principal tendo um fluxo preferencial, um canal secundário menor com o mesmo sentido de corrente que o anterior, e a uma distância relativamente considerável da mesma, e uma barreira natural que sirva como catalizador para formação deste tipo de fluxo perpendicular ao fluxo hidrodinâmico principal.

Tendo essas condições, dá-se início a formação de ilhas com padrão de barras em chevron dispostos na foz do canal principal, com o vértice de seu arco acrescional apontando para montante do mesmo (Figura 48a) de formação de ilhas em barra de chevron é repetido dado a forte influência do

canal principal ao ponto de formar mais duas ilhas deste tipo adjacentes a primeira ilha formada (Figura 48b)

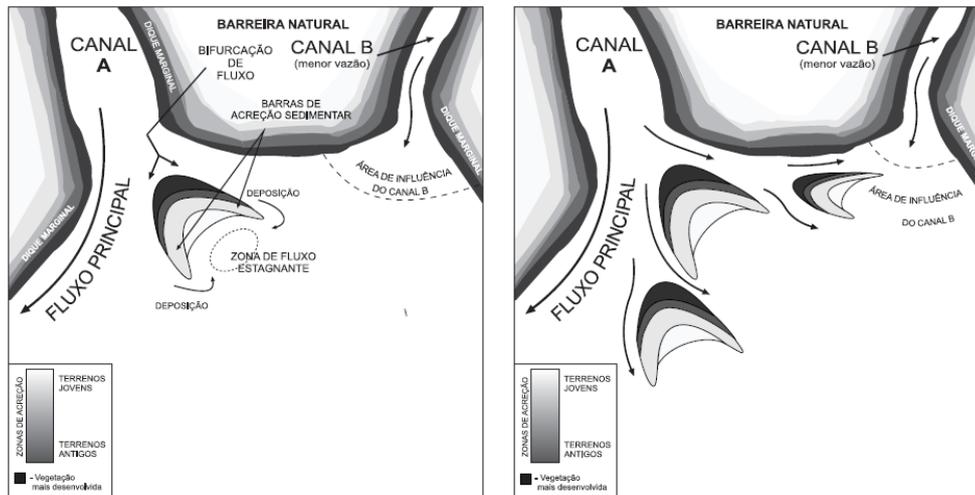


Figura 48: a) Formação de uma ilha de barra em chevron com vértice a montante do fluxo principal. b) Formação de ilhas de barras em chevron adjacentes sob influência do fluxo principal.

É importante ressaltar que a medida em que as ilhas vão acrescendo e aumentando de tamanho, em determinadas zonas dos diques marginais também pode haver sedimentação, deposição e crescimento acrescional neste local, que é o que acontece com a barreira natural mencionada anteriormente (Figura 49a). Devido a este crescimento lateral ocorrido no dique marginal da barreira natural, o fluxo do canal principal vai tendenciando para sua direção preferencial, fazendo com que as dimensões do canal adjacente se estreite ao ponto de criar uma zona de deposição sedimentar entre as ilhas adjacentes, coalescendo-as naturalmente. Desta forma, ocorre assim a criação um paleocanal e formação de um canal com direção de fluxo perpendicular ao fluxo principal. Nesse ambiente (paleocanal), em termos de deposição sedimentar, é onde ocorre a deposição de sedimentos mais finos em cima de sedimentos mais grossos, que por vezes é retrabalhado em períodos de cheias, o que corrobora com as intercalações de sedimentos siltosos e arenosos muito finos encontrado no testemunho PDJ02B. É bom ressaltar que a jusante desta ilha coalescida começa a acontecer a formação de uma baía de decantação, uma vez que não tem mais um regime turbulento predominante naquela área (Figura 49b).

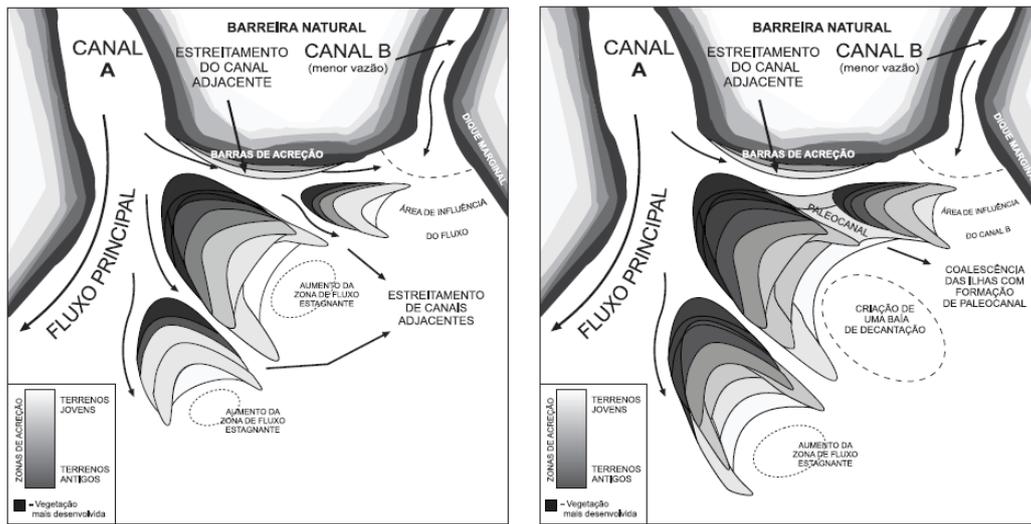


Figura 49: a) Estreitamento do canal adjacente devido a acreção sedimentar lateral da barreira natural e das ilhas de barra em chevron próximas. b) Coalescência das ilhas com posterior formação de paleocanal, de uma baía de decantação e da criação de um canal com fluxo perpendicular ao fluxo principal.

Com o passar do tempo, a ilha de barra em chevron mais distante que possui influência apenas do fluxo principal também vai coalescendo para formar uma ilha com três zonas de fluxo estagnante, propiciando assim a formação de sacos, ou baías nessas regiões (Figura 50a). Por fim, com a progressiva deposição de sedimentos, o fluxo do canal b começa a ter influência no braço mais ao norte da ilha coalescida, fazendo-o com que tenha a formação de uma variação das barras em chevron, onde o seu vértice agora encontra-se posicionado a montante do fluxo b (Figura 50b). Essa configuração é observável na Ilha da Casa da Pólvora (Figura 51) como um estágio intermediário que pode ainda pode chegar a estágios de evolução mais avançados como se pode observar na Ilha das Flores (Figura 52).

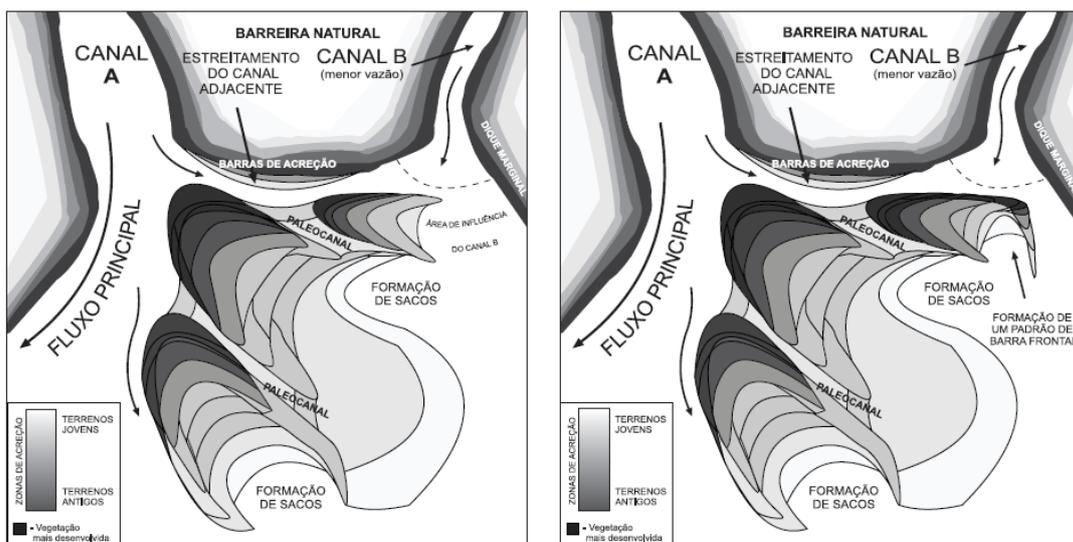


Figura 50: a) Coalescência da ilha mais distal e posterior formação de baías. b) formação de uma barra em chevron no braço mais ao norte da ilha coalescida sob influência do fluxo do canal b.



Figura 51: Ilha da Casa da Pólvora, mostrando a forma final resultante de acreção de barra em chevron, em estágio intermediário, sob influência de canais com mesmo sentido de fluxo hidrodinâmico, mas separados por uma barreira natural. [Imagem Landsat, levantamento 1:1.000]

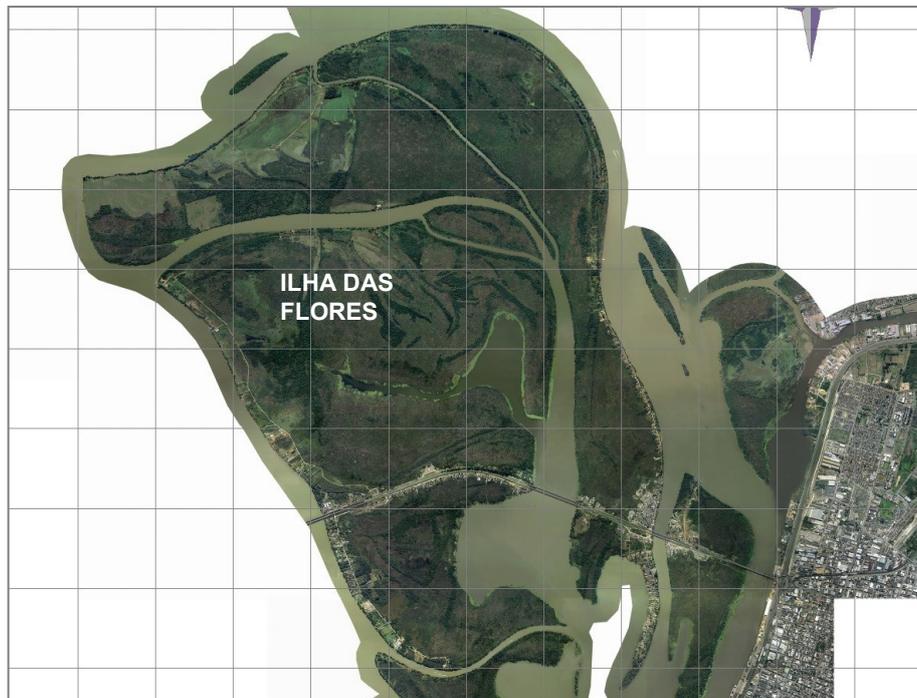


Figura 52: Ilha das Flores cuja forma resulta da coalescência de três ou mais ilhas de barra em chevron, configurando-se num estágio muito mais avançado de evolução. [Imagem Landsat, levantamento 1:1.000]

Por fim, foi possível constatar a presença de análogos de ilhas no Delta do Jacuí, evidenciando todos os seus estágios de evolução (inicial, intermediário e avançado). Desta forma, relacionando todos os dados e produtos técnicos obtidos, valida-se com critérios científicos os modelos evolutivos propostos de barra em chevron e de barra longitudinal (Figura 53).

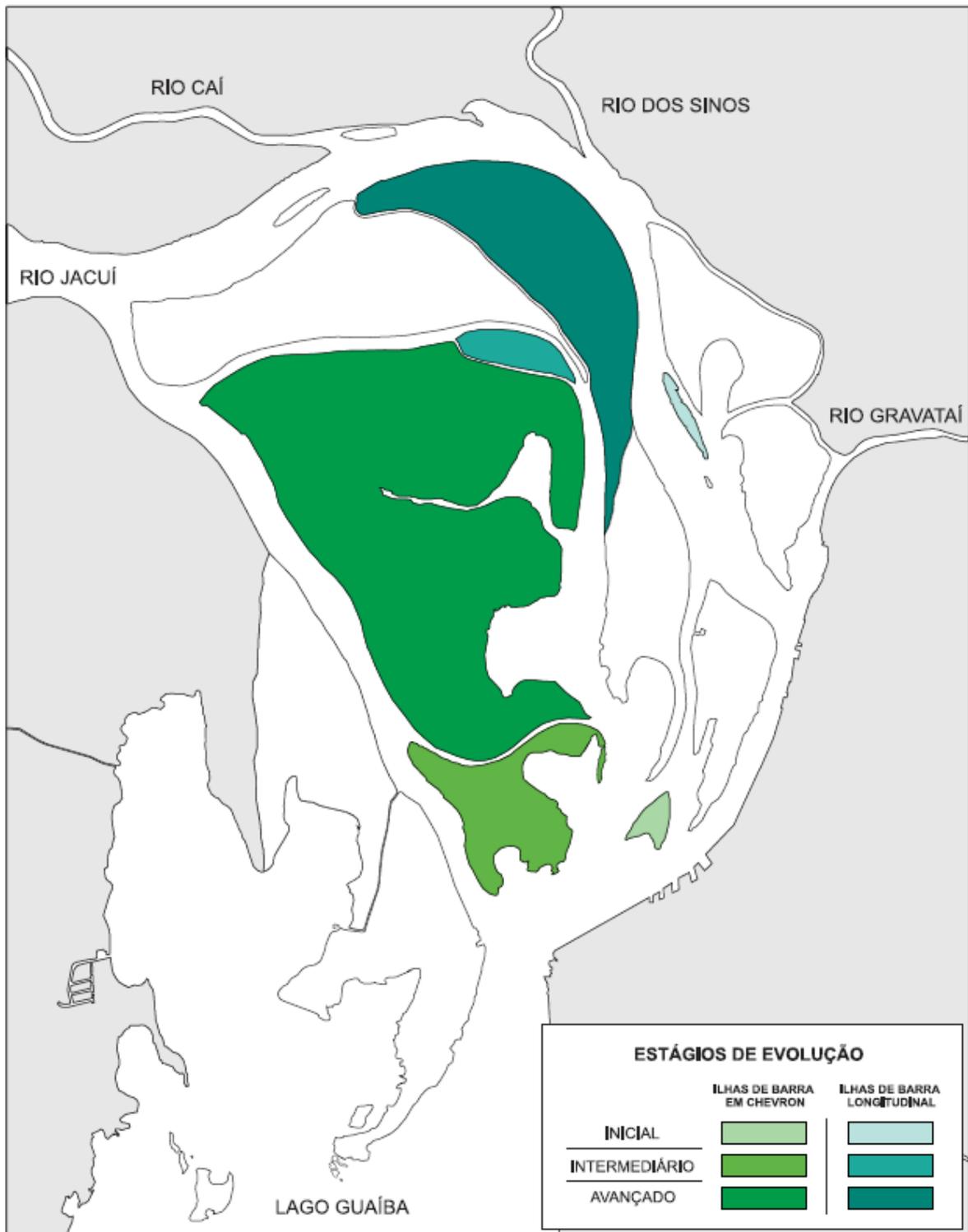


Figura 53: Localização dos análogos de ilhas de barra em chevron e de barra longitudinal em todos os seus estágios evolutivos (inicial, intermediário e avançado).

## 6. CONCLUSÕES

Neste estudo nos propusemos a fazer um diagnóstico da evolução morfológica das ilhas do Delta do Jacuí, por meio de seus estudo, e propor um modelo integrador da evolução deltaica. Para concretizar tal objetivo, utilizaram-se seis métodos: sensoriamento remoto, georreferenciamento, georradar testemunho de sondagem, análise de fácies sedimentológica e difratometria de raios X, com o intuito de elaborar os seguintes produtos técnicos:

- Mapas georreferenciados (RGB, Infravermelho e Altimétrico) na escala 1:1.000 da região, utilizando imagens do levantamento aerofotogramétrico feito pela Prefeitura de Porto Alegre;

- Mapa de paleocanal na escala 1:4000 da região.

- Arcabouço estratigráfico do arquipélago a baixas profundidades;

- Análise sedimentológica (separação de frações granulométricas) e de matéria orgânica;

- Análise de Difratometria de Raios X nos sedimentos argilosos em 13 amostras;

- Seção geofísica, utilizando os métodos eletromagnético indutivo, eletrorresistividade e georradar – GPR, Ground Penetrating Radar;

- Proposição de modelos geomorfológicos de evolução das ilhas do Delta do Jacuí.

O mapas georreferenciados (RGB, IV, altimétrico) auxiliaram na identificação de paleocanais e paleozonas de acreção sedimentar, tendo um total de 76 paleocanais e 32 zonas de acreção sedimentar, com possibilidade de haver mais, caso seja analisado na escala 1:1.000. O método de georradar, bem como as análises sedimentológicas, de matéria orgânica, de difratometria de raios x e de fácies auxiliaram na caracterização litológica daquele ambiente. Desta forma, integrando todas essas informações, foi possível fazer uma

proposição de um modelo evolutivo das ilhas com base em diversos critérios científicos.

Por fim, o modelo integrador sedimentar possibilitou reconhecer duas formas básicas de evolução das ilhas, observando seus análogos em todos os seus estágios: inicial, intermediário e avançado nas ilhas presentes no delta. Assim, alcançou-se de forma inédita na literatura um modelo de formação sedimentar das ilhas deltaicas em contexto de delta de cabeceira.

Essa variação dá-se tanto por variação de parâmetros como clima, e influxo sedimentar local, quanto por variação do nível de base, que, no caso, é idêntico ao do nível do mar. Assim, para elucidar essas questões, recomendamos que trabalhos em nível mais regional possam vir a fazer as correlações e diagnósticos para tanto.

## REFERÊNCIAS

- Aronoff, S. **Geographical Information Systems: a management perspective**. Ottawa, WDI Publications, 1989.
- Aschoff, J.L. Olariu, C.; Steel, R.J. Recognition and significance of bayhead delta deposits in the rock record: A comparison of modern and ancient systems. **Sedimentology**, v. 65, pp. 62–95, 2016
- Bates, C. C. **Rational theory of delta formation**. American Association of Petroleum Geologists Bullentin 37, 2119-2162, 1953
- Bridge, J. and Demicco, R. **Earth Surface Processes, Landforms and Sediment Deposits**. Cambridge University Press, 2008
- Burrough, P. A. **Principles of Geographic Information Systems for land resources assessment**. Oxford, Oxford University Press, 1986
- Câmara, G.; Queiroz, G. R. **Introdução à ciência da geoinformação**. 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/> .
- Campbell, J. B., Wynne, R. H. **Introduction to Remote Sensing**. 5° Ed. Londres, The Guilford Press. 718p, 2011
- Chiappetti, A. B. **Ocupação do Parque Estadual do Delta do Jacuí**. Tese de Doutorado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 123 p, 2005
- CPRM. **Projeto Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Porto Alegre na Escala 1:250.000**. Porto Alegre, CPRM, 2006
- Davis, J. L., Annan, A. P. Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**, v. 37, p. 531-551, 1989
- Drago, E. C. **Caracterización de la llanura aluvial del Parana Medio y de sus cuerpos de agua**. *Boletín Paranaens de Geociências* n°31, 1973
- Edmonds, D. A., and Slingerland, R. **Mechanics of middle ground bar formation: implications for the formation of delta distributary channel networks**. Journal of Geophysical Research - Earth Surface 112, F02034, doi: 10.1029/2006 JF000574, 2007

Ferras, A. **Mapeamento de Porto Alegre é realizado por imagens aéreas.** Porto Alegre, Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2012. Disponível em: [http://www2.portoalegre.rs.gov.br/porta\\_l\\_pmpa\\_novo/default.php?p\\_noticia=151410&M APEAMENTO+DE+PORTO+ALEGRE+E+REALIZADO+POR+IMAGENS+AEREAS](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/porta_l_pmpa_novo/default.php?p_noticia=151410&M APEAMENTO+DE+PORTO+ALEGRE+E+REALIZADO+POR+IMAGENS+AEREAS) . Acesso em novembro de 2018.

Florenzano, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto.** São Paulo, Oficina de Textos, 318p, 2007

Fujimoto, N. S. V. M; Dias, T. S. **Compartimentos de Relevo do Município de Porto Alegre, Capital do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil.** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009

Goldstein, J.; Newbury, D.; Joy, D.; Lyman, C.; Echlin, P.; Lifshin, E.; Sawyer, L.; Michael, J. **Scanning electron microscopy and X-Ray microanalysis.** Nova Iorque, Springer, 2007

Gomes, . M. B. **O Delta do Jacuí - Estudo Geomorfológico.** Craton & Intracraton - Escritos e documentos, São Paulo, Universidade Estadual de São Paulo, v. 20, 23p, 1982

James, N. P.; Dalrymple, R. W. (eds.). **Facies models.** 4ed. Geotext 6. St. John's (Canada), Geological Association of Canada, 317p, 2010

Jol, H. M., Bristow, C. S. GPR in sediments: advice on data collection, basic processing and interpretation, a good practice guide. In: BRISTOW, C. S., JOL, H. M. (eds.). Ground Penetrating Radar in Sediments. **Geological Society of London, Special Publication**, v. 211, p. 09-27, 2003

Klein, C.; Dutrow, B. **Ciências dos Minerais** [tradução de R. Menegat et al.]. Porto Alegre, Bookmann, 580 p, 2014

Knijinik, P. R. **Geologia do Delta do Jacuí: Relatório Final.** Plano Diretor do Parque Estadual do Delta do Jacuí. Porto Alegre, Plandel, 1977

Leeder, M. **Sedimentology and Sedimentary Basins - From Turbulence to Tectonics.** Blackwell Science Ltd, 1999

Leli, I. **Gênese, evolução e geomorfologia das ilhas e planície de inundação do Alto Paraná, Brasil.** 10.13140/RG.2.1.4981.1608, 2015

Lima, R. M. F.; Luz, J. A. M. D. Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes. **Escola de Minas, Ouro Preto**, v. 54, n. 2, , p. 155-159, 2001

Menegat, R.; Kirchheim, R.E. Lagos, rios e arroios: as doces águas da superfície. In: Menegat, R.; Porto, M.L.; Carraro, C.C., Fernandes, L.A.D. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. 3a edição. Porto Alegre, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pp. 35-40, 2006

Neal, A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. **Earth Science Reviews**, n. 66, p. 261-330, 2004.

Novo, E. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo, Ed. Edgar Blucher, 308p, 1989

Olariu, C.; Bhattacharya, J.P. Terminal distributary channels and delta front architecture of river-dominated delta systems. **Journal of Sedimentary Research**, v. 76, pp.212–233, 2006

Oliveira, M. L. A. A.; Porto, M. L. Parque Estadual Delta do Jacuí: um mosaico verde recortado por sinuosos canais. In: Menegat, R.; Porto, M.L.; Carraro, C.C., Fernandes, L.A.D. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. 3a edição. Porto alegre, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pp. 85-88, 2006

Pinto, T. F. **Caracterização mineralógica dos sedimentos costeiros da Namíbia, África**. Tese de Graduação. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 145 p, 2016

Prothero, D.R. **Interpreting the stratigraphic record**. Springer-Verlag, W.H. Freeman & Co., 1990

Rauber, V.; Damiani, A.R.R.; Ilgenfritz, M.G. Mapa do sistema de proteção contra inundação e de drenagem pluvial. In: Menegat, R.; Porto, M.L.; Carraro, C.C., Fernandes, L.A.D. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. 3a edição. Porto Alegre, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pp. 177-178, 2006.

Rauber, V.; Ilgenfritz, M.G. A proteção contra inundações e a drenagem urbana. In: Menegat, R.; Porto, M.L.; Carraro, C.C., Fernandes, L.A.D. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. 3a edição. Porto Alegre, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pp. 175-176, 2006

Rosa, L. M. C. C.; Tomazelli, L. J. **Geomorfologia, estratigrafia de sequências e potencial de preservação dos sistemas laguna-barreira do Quaternário costeiro do Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 246 p, 2012

Tucker, C. J., Elgin, H. H., e McMurtrey, J. E. **Relationship of Red and Photographic Infrared Spectral Radiances to Alfafa Biomass, Forage Water Content, Percentage Canopy Cover, and Severity of Drought Stress (NASA Technical Memorandum 80272)**. Greenbelt, MD: Goddard Space Flight Center, 13pp.

Simms, A.; Rodriguez, A.B.; Anderson, J.B. Bayhead Deltas and Shorelines: Insights from Modern and Ancient Examples. **Sedimentary Geology**, n. 374, 2018

Souza Filho, E. E. Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná em Porto Primavera (MS) e Guaíra (PR). Tese de doutorado, Geociências. São Paulo, 214p, 1993

Wetzel, R. G. **Limnology**. W. B. Saunders Company, Philadelphia, 743p, 1975

Wilcock, J.A.; Tomazelli, L.J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica**, n.8, pp.1-45, 1995

Wright, L. D. **Sediment transport and deposition at river mouths: a synthesis**. Geological Society of America Bulletin. 88, 857-868, 1977

## RELATÓRIO TÉCNICO - ANÁLISE DE MATÉRIA ORGÂNICA

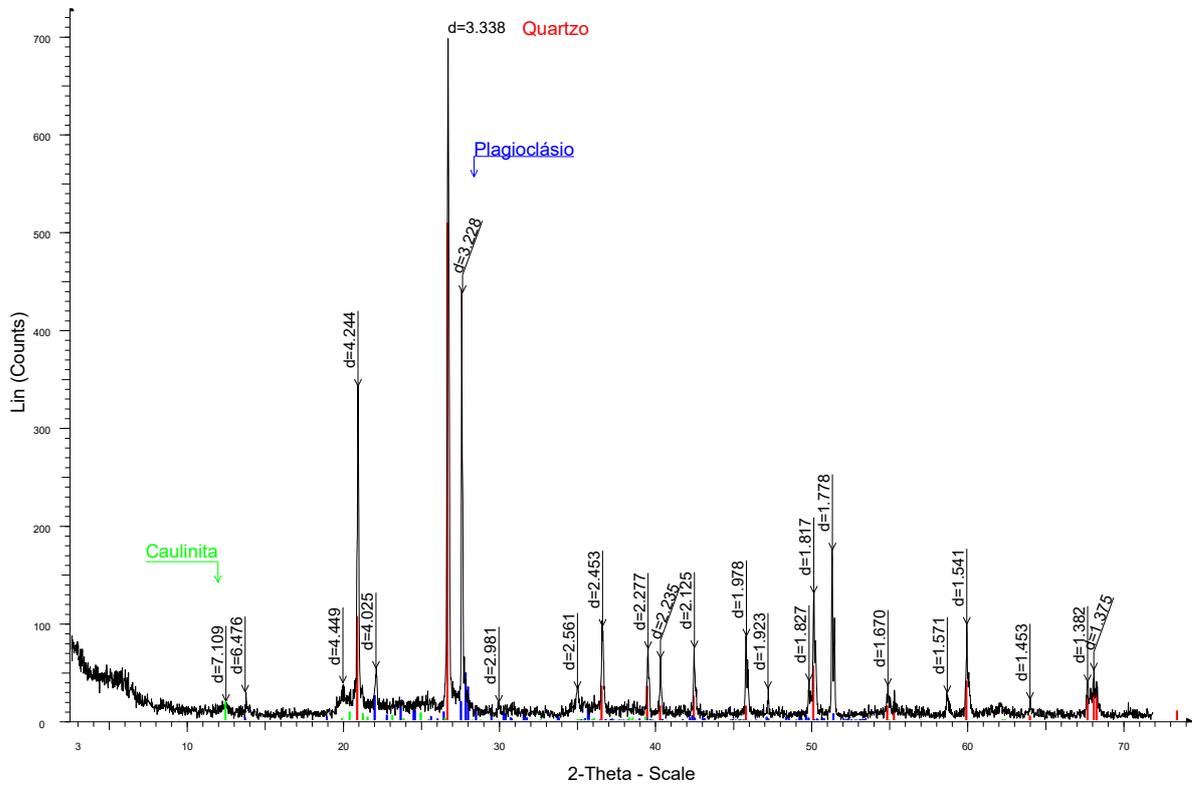
Requerente: Guilherme de Souza Gomes

NOME DA AMOSTRA	PROFUNDIDADE (cm)	PESO ANTES DA QUEIMA (mg)	PESO DEPOIS DA QUEIMA (mg)	% DE MATÉRIA ORGÂNICA
PDJ01A	81 - 85 (Topo)	26,7003	26,4128	1,0767
	50 - 55	27,8988	27,2992	2,1491
	0 - 5 (Base)	29,1570	28,5180	2,1915
PDJ01B	53 - 58 (Topo)	26,9680	26,5140	1,5149
	25 - 30	27,8530	27,3288	1,8820
	0 - 5 (Base)	26,7630	26,3802	1,4303
PDJ02B	40 - 45 (Topo)	47,1515	46,7928	0,7607
	20 - 25	40,1865	39,8765	0,7714
	0 - 5 (Base)	24,4970	24,1914	1,2474
PDJ03A	95 - 100 (topo)	22,8692	21,8276	4,5545
	60 - 65	25,4818	24,7296	3,2891
	23 - 28	27,7985	27,3154	1,7378
	0 - 5 (Base)	32,3372	31,6612	2,0904

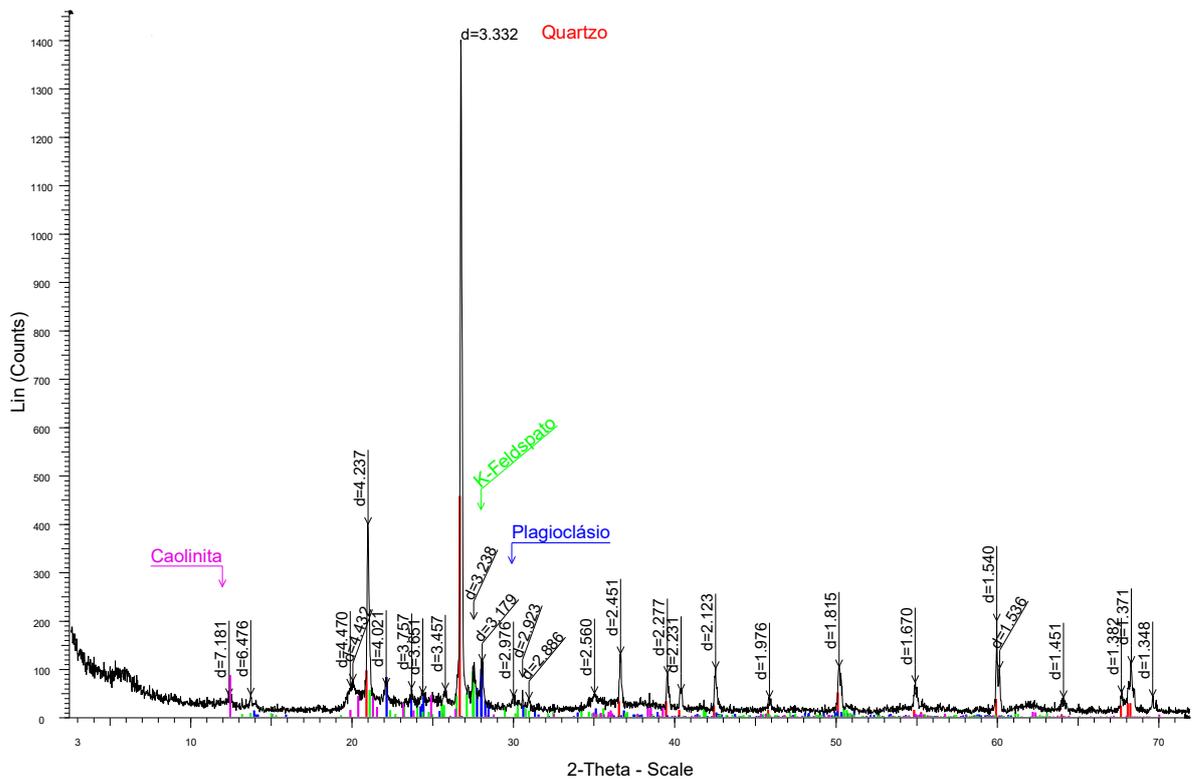
# RELATÓRIO TÉCNICO - DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

Requerente: Guilherme de Souza Gomes

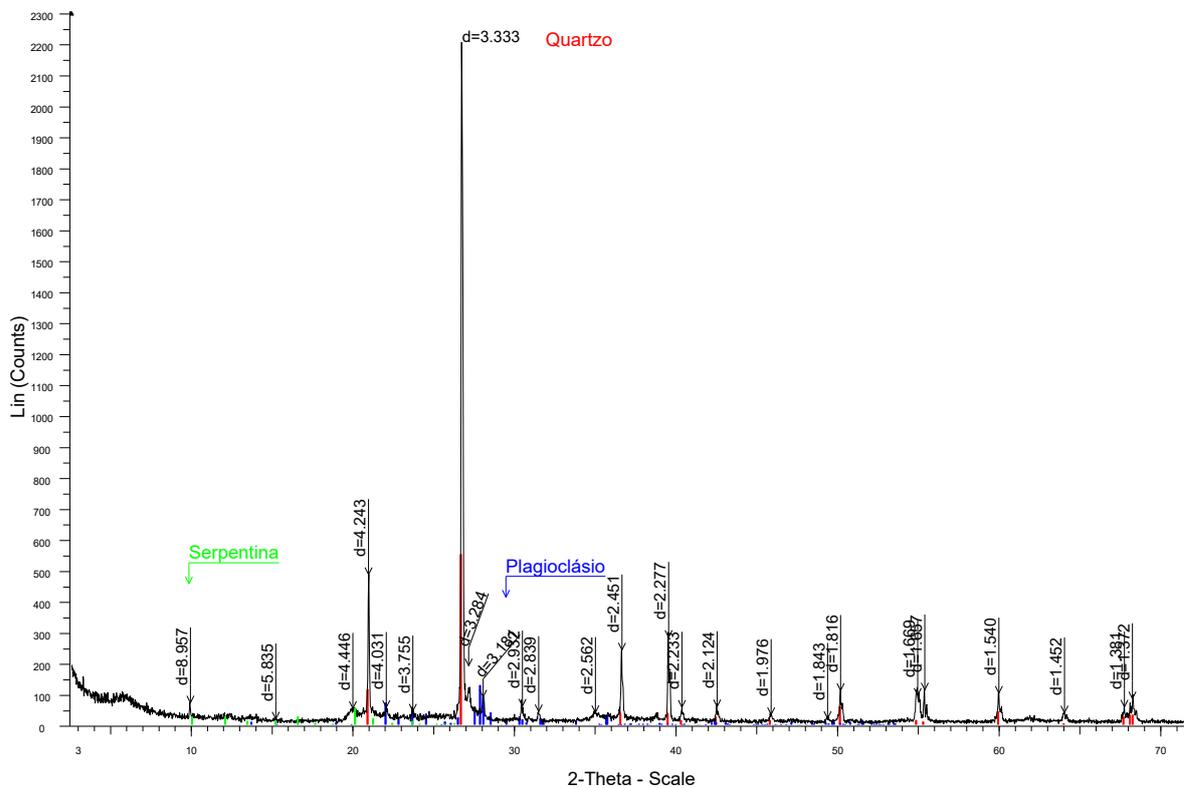
PDJ01A - 0 - 5cm



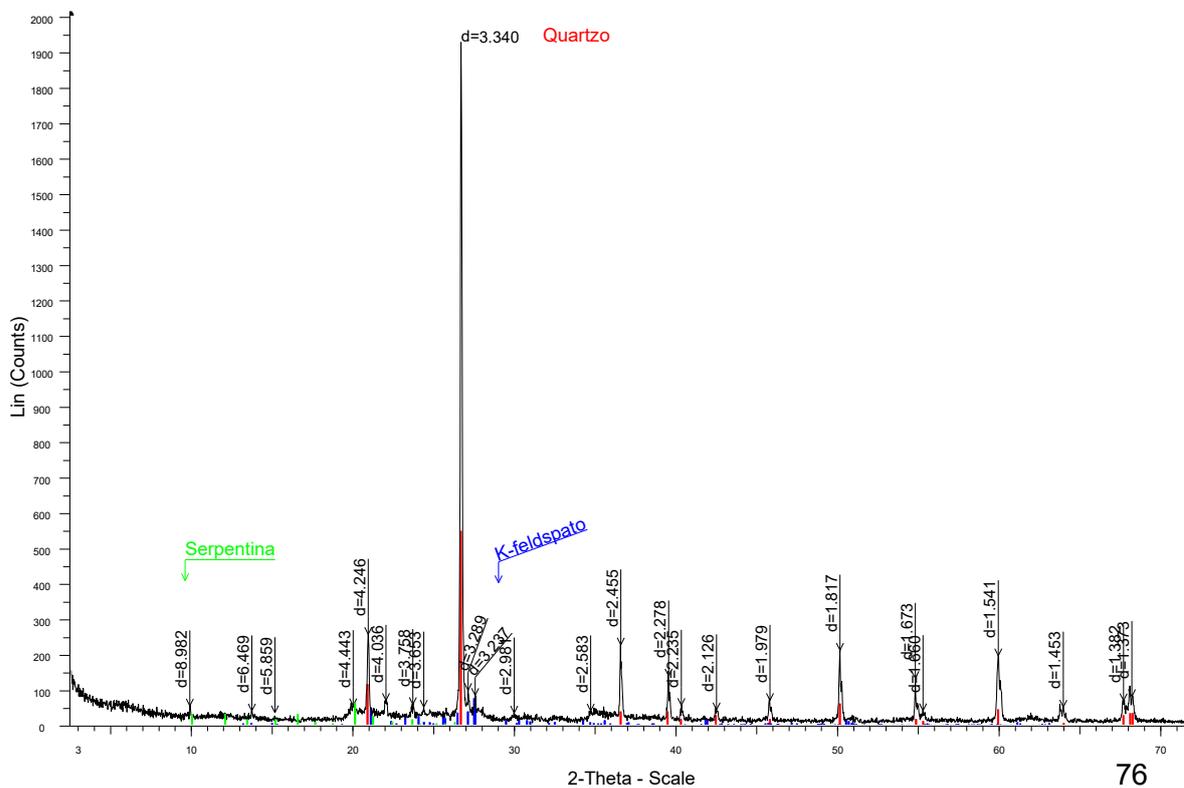
PDJ01A - 50 a 55 cm



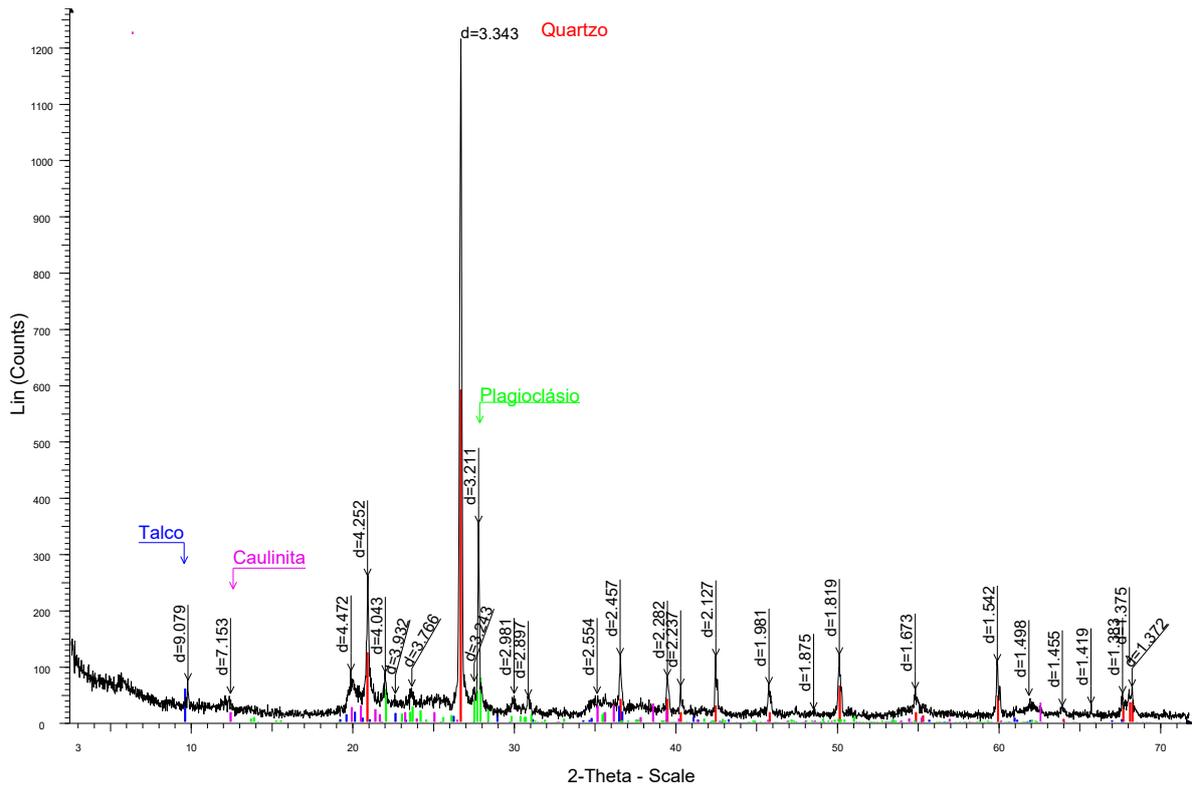
## PDJ01A - 81 a 85cm



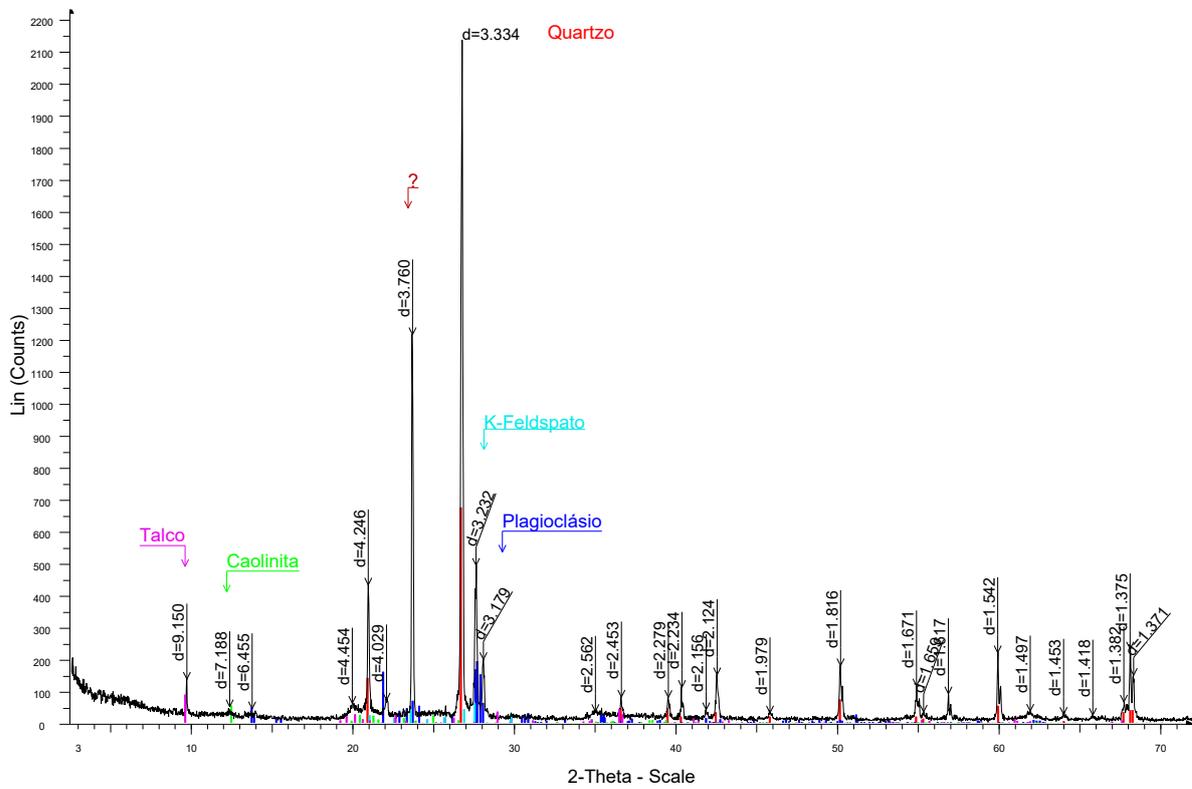
## PDJ01B - 0 a 5 cm



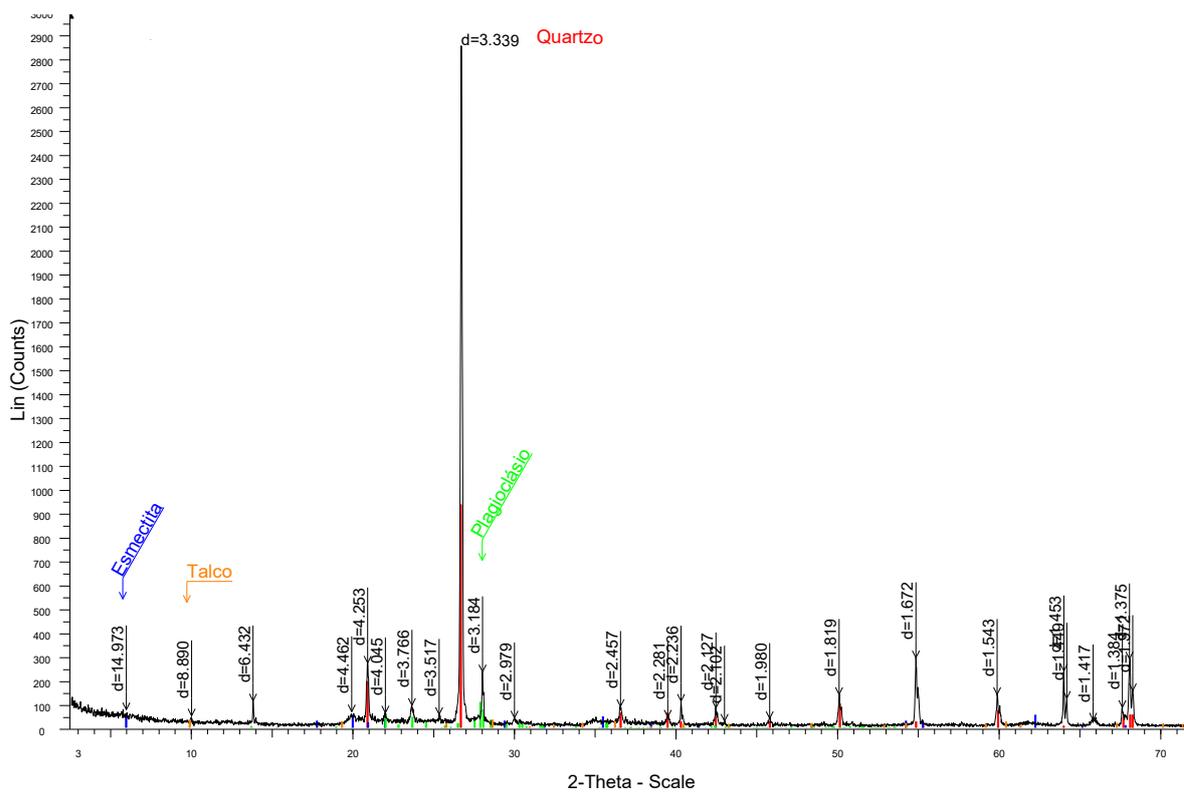
### PDJ01B - 25 a 30 cm



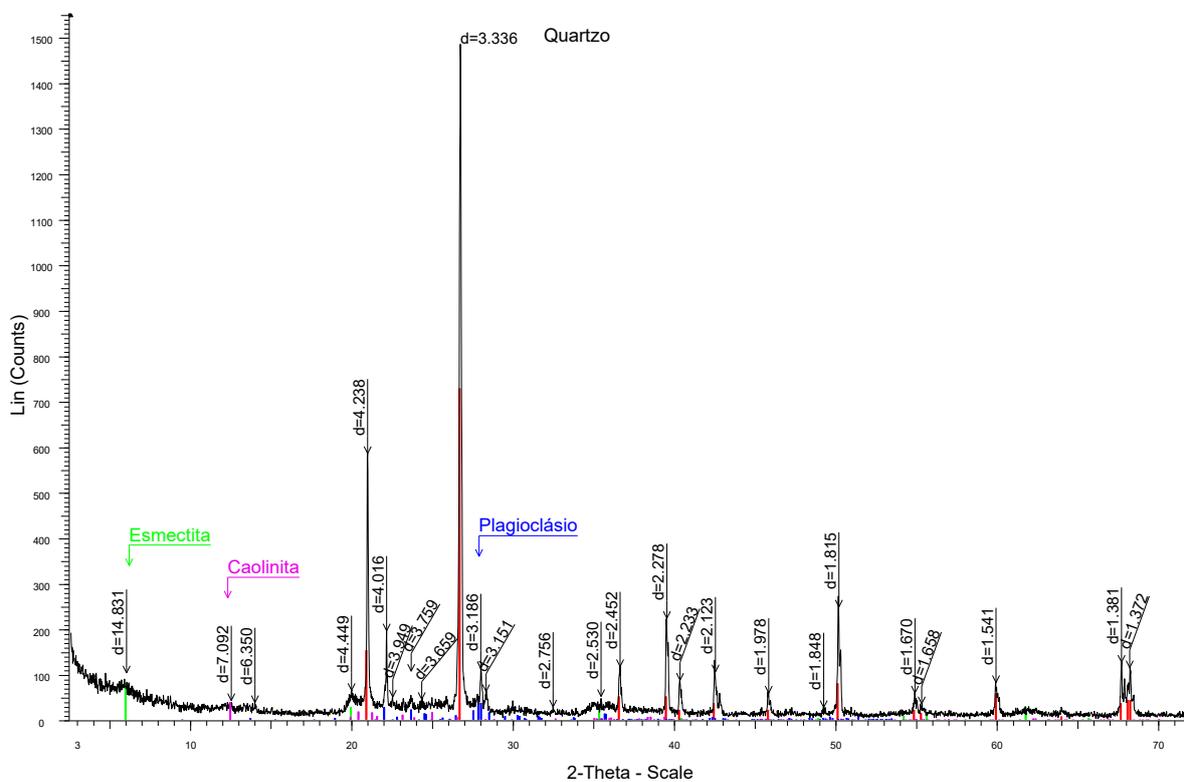
### PDJ01B - 53 a 58 cm



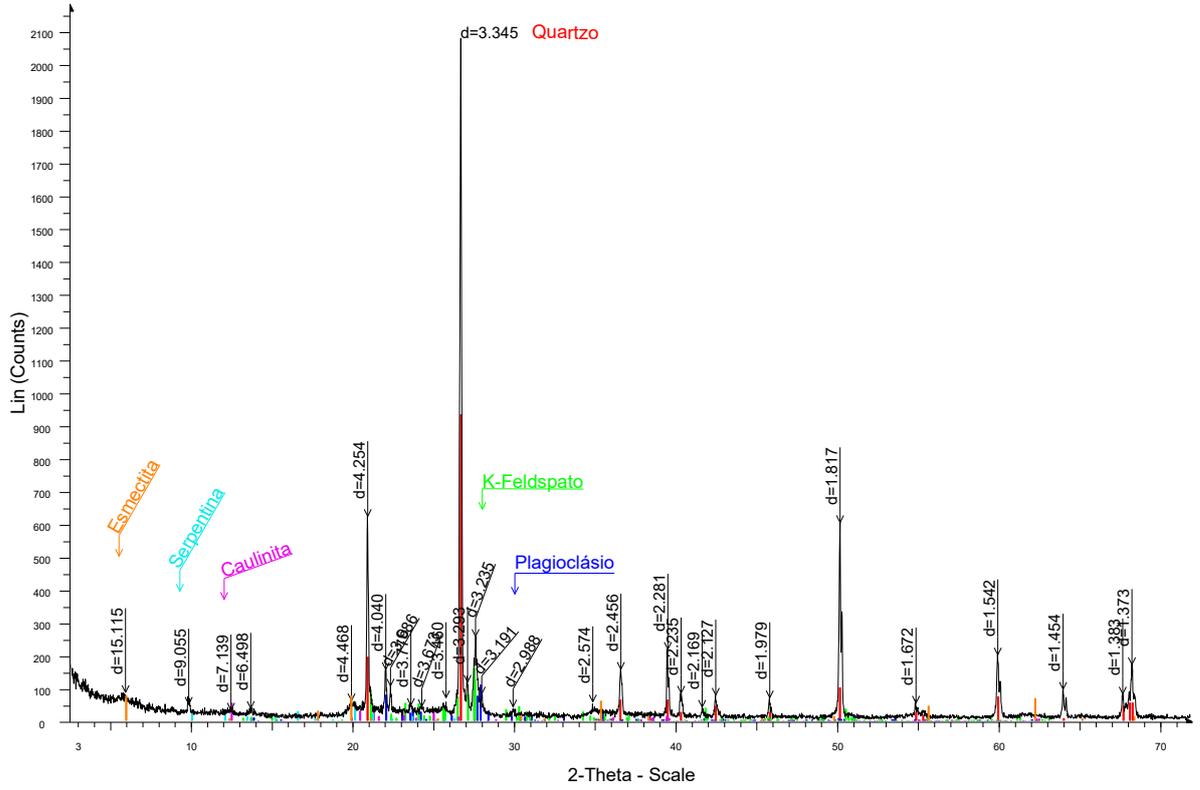
### PDJ02B - 0 a 5 cm



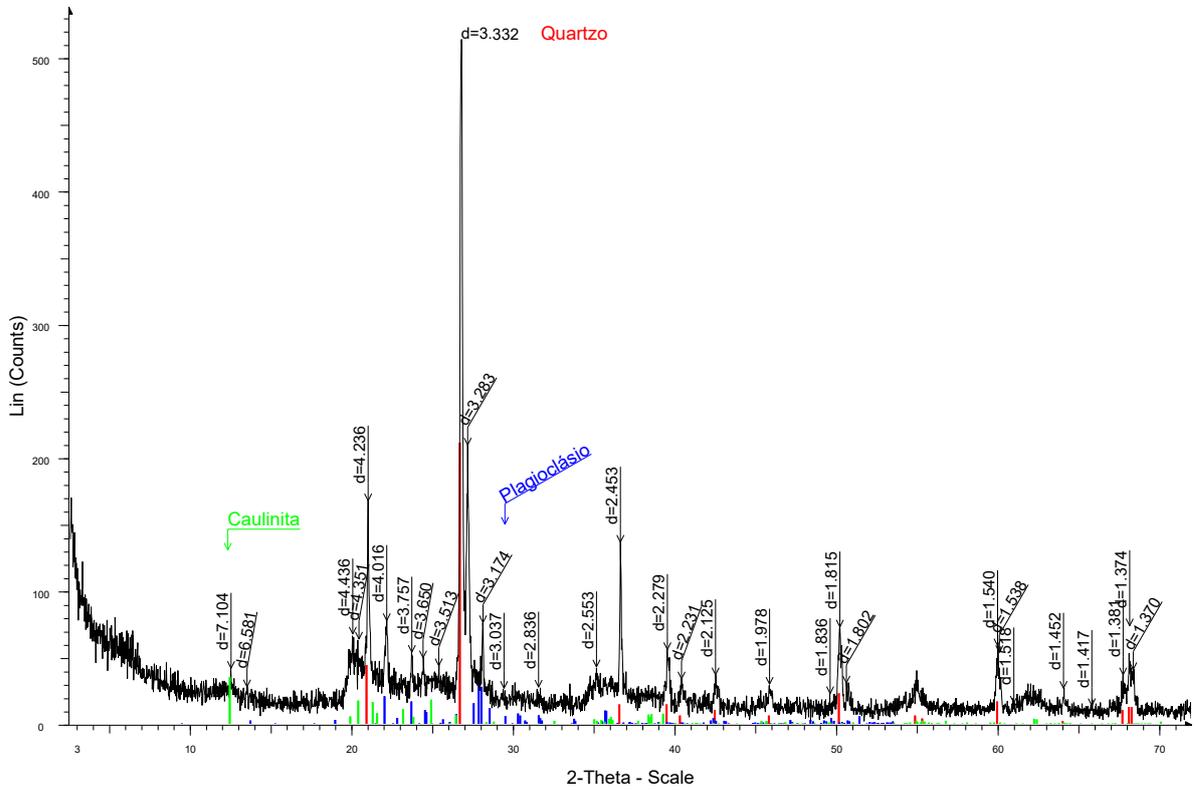
### PDJ02B - 20 a 25 cm



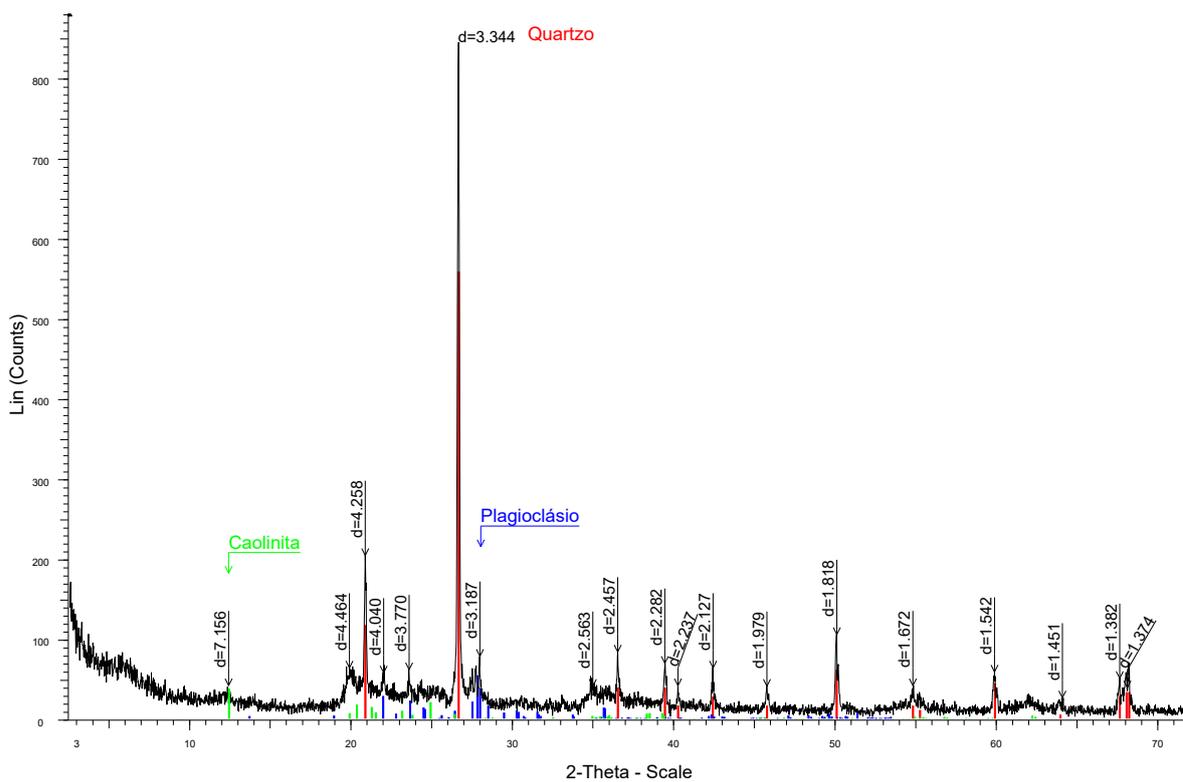
### PDJ02B - 40 a 44 cm



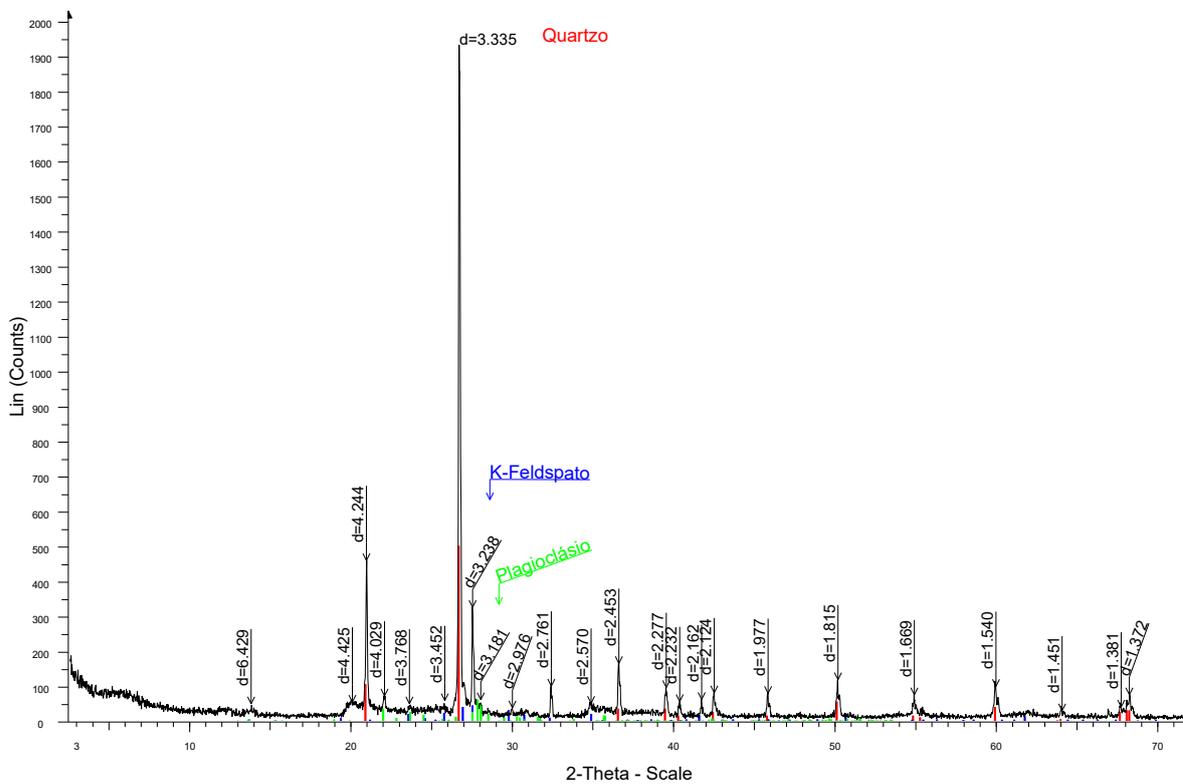
### PDJ03A - 0 a 5 cm



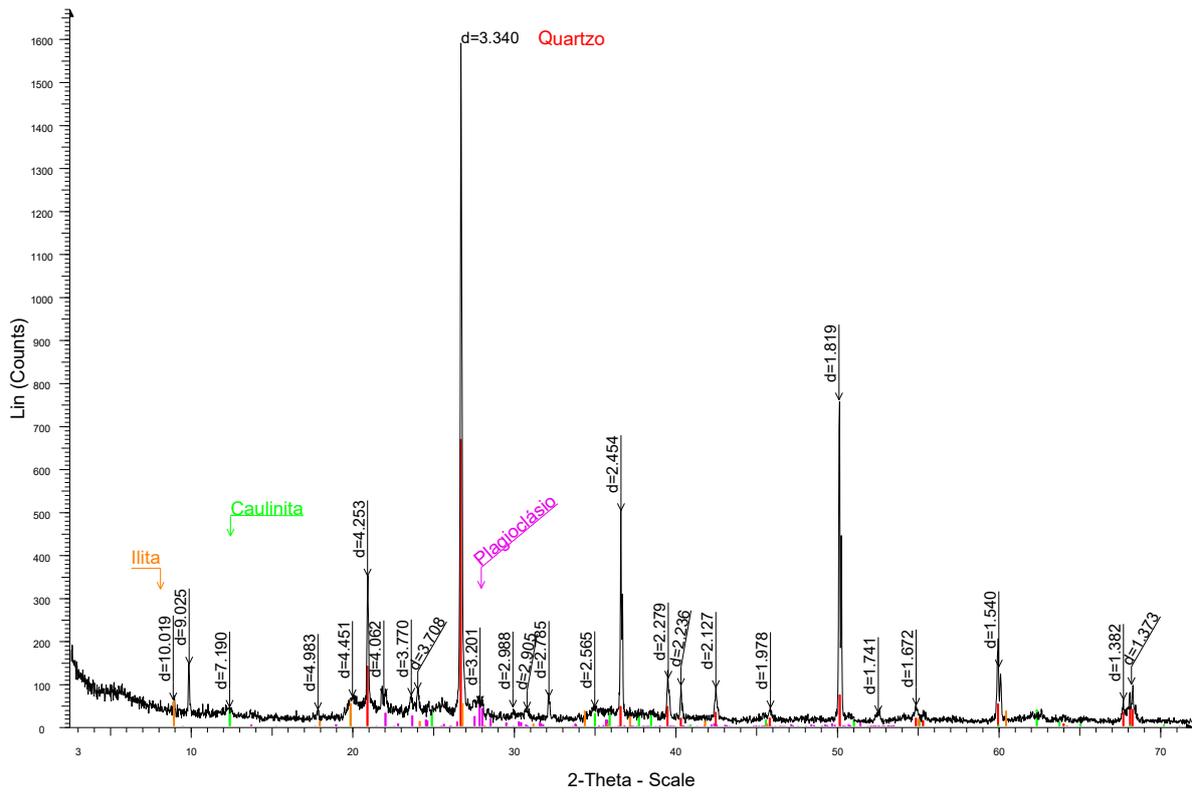
### PDJ03A - 39 a 44 cm



### PDJ03A - 76 a 81 cm



# PDJ03A - 99 a 104 cm



TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIDADE DE  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO  
NO LUME - REPOSITÓRIO DIGITAL DA UFRGS

Uso interno

Nº de sistema SAbi: \_\_\_\_\_

**1 Identificação do autor e do documento**

Nome completo: \_\_\_\_\_

RG: \_\_\_\_\_ CPF: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_

Curso de Graduação: \_\_\_\_\_

Nome do orientador: \_\_\_\_\_ Data da apresentação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Título do documento: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Conceito final: \_\_\_\_\_

**2 Disponibilização no Lume - Repositório Digital da UFRGS**

Autorizo a Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS a disponibilizar gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, o documento supracitado, de minha autoria, no Lume - Repositório Digital da UFRGS para fins de leitura e/ou impressão pela Internet:

De imediato ou  A partir de \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ (no máximo até dois anos após a data da apresentação)

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Local Data Assinatura do(a) autor(a) ou seu representante legal

Não autorizo. Justificativa (preenchimento obrigatório): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Local Data Assinatura do(a) autor(a) ou seu representante legal

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) orientador(a)

Campo de uso exclusivo da Biblioteca

COMPROVANTE DE ENTREGA DO DOCUMENTO NA BIBLIOTECA SETORIAL

Em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Carimbo e assinatura

Agosto/2011

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIDADE DE  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO  
NO LUME - REPOSITÓRIO DIGITAL DA UFRGS

Uso interno

Nº de sistema SABI:

**1 Identificação do autor e do documento**

Nome completo: \_\_\_\_\_

RG: \_\_\_\_\_ CPF: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_

Curso de Graduação: \_\_\_\_\_

Nome do orientador: \_\_\_\_\_ Data da apresentação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Título do documento: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Conceito final: \_\_\_\_\_

**2 Disponibilização no Lume - Repositório Digital da UFRGS**

Autorizo a Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS a disponibilizar gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, o documento supracitado, de minha autoria, no Lume - Repositório Digital da UFRGS para fins de leitura e/ou impressão pela Internet:

De imediato ou  A partir de \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ (no máximo até dois anos após a data da apresentação)

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Local Data

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) autor(a) ou seu representante legal

Não autorizo. Justificativa (preenchimento obrigatório): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Local Data

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) autor(a) ou seu representante legal

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) orientador(a)

*Campo de uso exclusivo da Biblioteca*

COMPROVANTE DE ENTREGA DO DOCUMENTO NA BIBLIOTECA SETORIAL

Em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Carimbo e assinatura

Agosto/2011

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIDADE DE  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO  
NO LUME - REPOSITÓRIO DIGITAL DA UFRGS

Uso interno

Nº de sistema SABI:

**1 Identificação do autor e do documento**

Nome completo: \_\_\_\_\_

RG: \_\_\_\_\_ CPF: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_

Curso de Graduação: \_\_\_\_\_

Nome do orientador: \_\_\_\_\_ Data da apresentação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Título do documento: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Conceito final: \_\_\_\_\_

**2 Disponibilização no Lume - Repositório Digital da UFRGS**

Autorizo a Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS a disponibilizar gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, o documento supracitado, de minha autoria, no Lume - Repositório Digital da UFRGS para fins de leitura e/ou impressão pela Internet:

De imediato ou  A partir de \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ (no máximo até dois anos após a data da apresentação)

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Local Data Assinatura do(a) autor(a) ou seu representante legal

Não autorizo. Justificativa (preenchimento obrigatório): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Local Data Assinatura do(a) autor(a) ou seu representante legal

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) orientador(a)

*Campo de uso exclusivo da Biblioteca*

COMPROVANTE DE ENTREGA DO DOCUMENTO NA BIBLIOTECA SETORIAL

Em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Carimbo e assinatura

Agosto/2011