

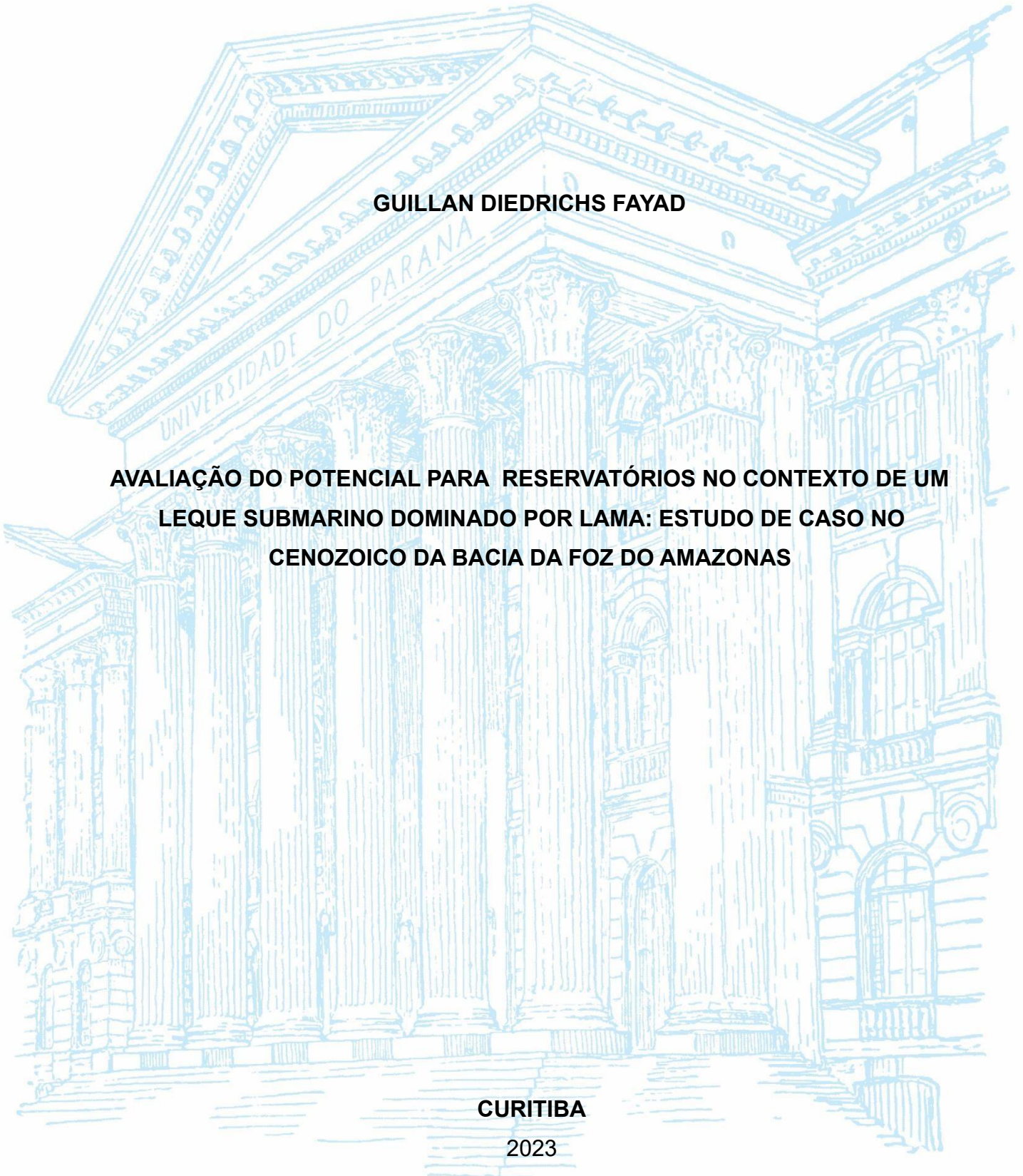
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
CURSO DE GEOLOGIA**

**GULLAN DIEDRICHS FAYAD**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA RESERVATÓRIOS NO CONTEXTO DE UM  
LEQUE SUBMARINO DOMINADO POR LAMA: ESTUDO DE CASO NO  
CENOZOICO DA BACIA DA FOZ DO AMAZONAS**

**CURITIBA**

**2023**



**GULLAN DIEDRICHS FAYAD**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA RESERVATÓRIOS NO CONTEXTO DE UM  
LEQUE SUBMARINO DOMINADO POR LAMA: ESTUDO DE CASO NO  
CENOZOICO DA BACIA DA FOZ DO AMAZONAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Geologia da Universidade Federal do  
Paraná como requisito parcial à obtenção do grau  
de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Farias Vesely  
Co-orientador: Geólogo Sérgio Francisco Leon  
Dias

**CURITIBA**

2023

## Dedicatória

Dedico este trabalho especialmente à minha família e amigos, que se fizeram presentes durante todos estes anos da graduação.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Paraná pelo investimento em todos estes anos de graduação e por garantir um ensino gratuito e de qualidade.

Ao professor Dr. Fernando Farias Vesely e o geólogo Sérgio Leon Dias pelo inegável esforço e interesse em contribuir e orientar com excelência esta pesquisa.

À Giovana Rebelo Diório, que acompanhou não só este, mas também trabalhos anteriores, sempre contribuindo com seu pensamento geológico afiado.

Aos amigos do curso de geologia, em especial os GRR2017.

Ao Laboratório de Análise de Bacias e todos os pesquisadores vinculados a este pela convivência e troca de informações.

À Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) pela liberação dos dados ao laboratório.

## RESUMO

A margem equatorial brasileira é vista como a nova fronteira exploratória para a indústria de óleo e gás. Isso se deve em grande parte pelo sucesso exploratório na Guiana Francesa em *plays* turbidíticos. Situada neste contexto está a Bacia da Foz do Amazonas que comporta um dos maiores leques submarinos atuais do mundo, cujo potencial para reservatório de hidrocarbonetos ainda é incerto. O objetivo deste trabalho é, através do mapeamento sísmico 3D, identificar possíveis reservatórios associados a sistemas deposicionais de água profunda (turbiditos) na Bacia da Foz do Amazonas. Obteve-se como resultado a individualização de três sismofácies, associadas a um canal mapeado por aproximadamente 13 Km de extensão, inserido no contexto do leque do Amazonas, Cenozoico Superior. Anomalias negativas de amplitude sugerem que o canal possui *levees* arenosos, em grande parte assimétricos, que podem vir a ser significativos como reservatórios nesse sistema dominado por lama.

**Palavras-chave:** Canal-levee, Margem Equatorial Brasileira, Sismofácies

## **ABSTRACT**

The Brazilian equatorial margin is regarded as the emerging exploratory frontier for the oil and gas industry, largely attributed to the success of exploration activities in the turbidite plays of French Guiana. Within this framework is the Foz do Amazonas Basin, housing one of the world's largest contemporary submarine fans, with an uncertain potential for hydrocarbon reservoirs. The aim of this study is to identify potential reservoirs associated with deep-water depositional systems (turbidites) in the Foz do Amazonas Basin through 3D seismic mapping. The outcomes encompass the differentiation of three seismic facies linked to a channel mapped over a span of approximately 13 km within the context of the Amazon fan's Upper Cenozoic section. Negative seismic amplitude anomalies suggest that the channel is flanked by sand-prone levees, which may prove noteworthy as reservoirs in this mud-dominated system.

*Keywords:* Channel-levee, Brazilian Equatorial Margin, Seismic Facies

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização da área de estudo com destaque para a Bacia da Foz do Amazonas e para o levantamento sísmico utilizado no trabalho (Polígono vermelho). ...2
- Figura 2.** Carta estratigráfica da Bacia da Foz do Amazonas, com destaque para o intervalo estudado (Polígono vermelho). Modificado de Figueiredo et al. (2007). .....4
- Figura 3.** Fluxograma simplificado da metodologia empregada no trabalho. ....5
- Figura 4.** Contorno estrutural do fundo do mar com indicação das duas principais inlines usadas para definir as sismofácies. Escala de cores em segundos (tempo duplo). .....7
- Figura 5.** Seções sísmicas de inlines representativas para definir as sismofácies (A e C) e exemplo de interpretações das sismofácies (B e D). .....8
- Figura 6.** Z-Slices realizados na base da sismofácies 1. Em A o nível em que foi realizado o Z-Slice. Em B, C e D o Z-Slice com os atributos similaridade, energia, amplitude instantânea respectivamente e a interpretação do canal em linha pontilhada. .... 11
- Figura 7.** Mapas gerados com o horizonte da base do canal. A – Mapa de contorno estrutural com o alto estrutural representado pelos valores mais baixos (Cor Azul). B – Mapa de similaridade com os valores mais baixos (Preto) representado a sismofácies 1. C e D – Mapas de energia e amplitude instantânea respectivamente, com os valores mais altos (Cores quentes) representado a sismofácies 2. .... 12
- Figura 8.** Esquema com os elementos constituintes de um sistema canal levee. Modificado de Roberts & Compani (1996) apud Weimer et al. (2006). .... 14
- Figura 9.** Modelo deposicional para sistemas CL no leque submarino do Amazonas. Retirado de Dammuth (2002). .... 15
- Figura 10.** Gráfico de tendência evolutiva de canais submarinos meandrantés, com o estágio do canal mapeado indicado pela flecha vermelha. Modificado de Janocko et al. (2013). .... 16
- Figura 11.** Esquema de hierarquias utilizado por Sprague et al. 2002 na esquerda e esquema de hierarquia estratigráfica utilizado por Abreu et al. 2003 na direita. Modificado de Abreu et al. (2003). .... 17
- Figura 12.** A- Mapa de contorno estrutural com as cores frias indicando o alto estrutural que bascula as sismofácies 1,2 e 3. B- Mapa de amplitude instantânea destacando a

sismofácies 2 (levees), indicada pelas cores mais quentes, num cenário de trapeamento misto declive acima. .... 18

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela de descrição e interpretação das sismofácies.....	9
--	---

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. CONTEXTO GEOLÓGICO .....	2
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	4
4. RESULTADOS .....	6
5. DISCUSSÃO .....	13
5.1. Leque do Amazonas e Sistemas canal-/levee .....	13
5.2. Geometria e Hierarquia do Sistema CL .....	15
5.3. Aspectos de Reservatório .....	17
6. CONCLUSÕES .....	19
REFERÊNCIAS.....	20

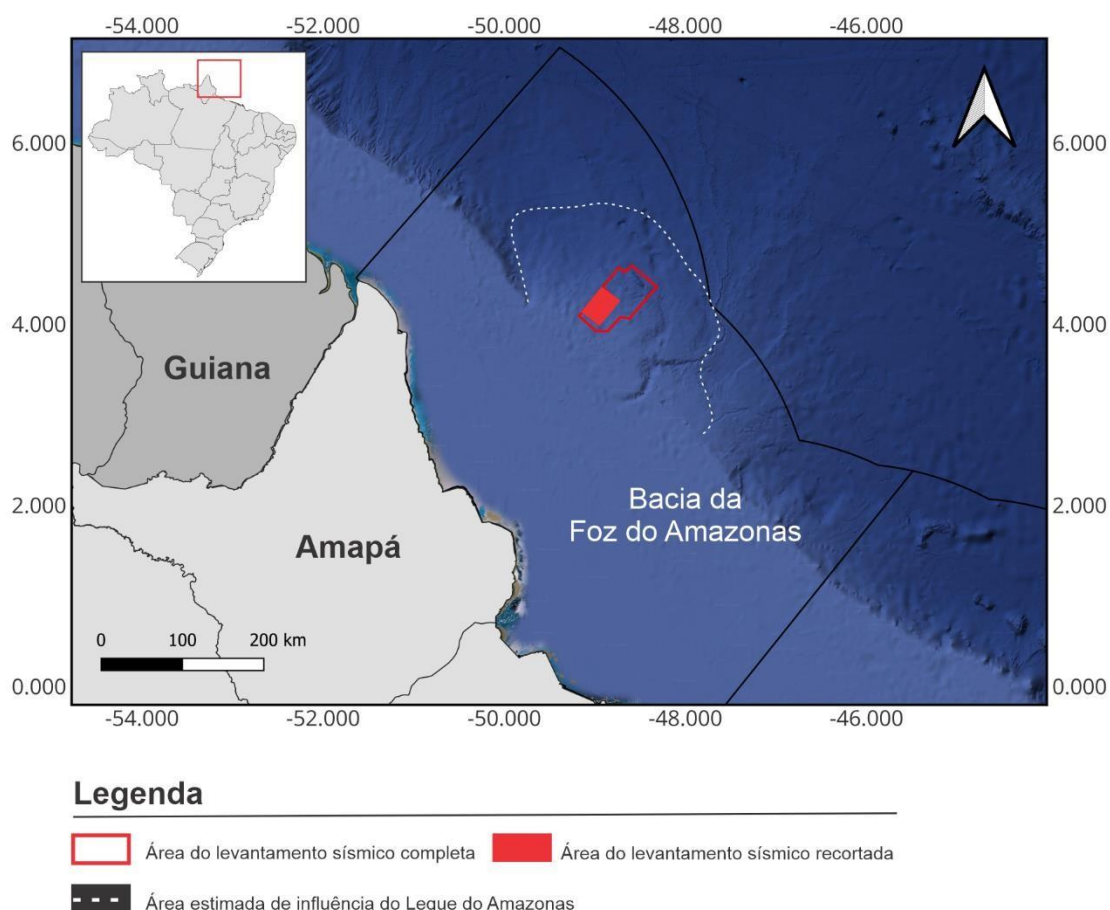
## 1. INTRODUÇÃO

As bacias da Margem Equatorial brasileira (MEQ) são consideradas as novas fronteiras em águas profundas e ultraprofundas (Petrobras, 2023) para a exploração de óleo e gás. Esse interesse vem sendo despertado em virtude de descobertas recentes, como o campo de Zaedyus na Guiana Francesa em 2011 e o campo de Jubilee na Bacia de Tano, na Gana, sendo que ambos estão relacionados a reservatórios turbidíticos e a trapas estratigráficas, em que o fechamento da trapa ocorre devido ao pinçamento (*pinch-outs*) de arenitos. Os reservatórios turbidíticos que apresentam essa terminação em *pinch-out* são alvos quando se trata da exploração de hidrocarbonetos, oferecendo potencialmente descobertas de grande volume, embora apresentem um risco geológico grande em caso de um fechamento ineficaz (Amy, 2019).

Neste contexto está inserida a Bacia da Foz do Amazonas (Figura 1), objeto de estudo deste trabalho, no extremo norte da MEQ e abrangendo uma área de 268.000 km<sup>2</sup> (Brandão & Feijó, 1994). Está limitada na porção noroeste pelo Platô de Demerara e na porção sudeste pela bacia do Pará-Maranhão (Mohriak, 2003). Embora existam trabalhos, alguns extremamente relevantes tratando da estratigrafia da Bacia da Foz do Amazonas (e.g. Schaller *et al.* 1971; e Brandão & Feijó 1994), esta é uma região ainda carente de estudos se comparada a outras bacias marítimas brasileiras, em especial às bacias da margem leste.

A carência de estudos é ainda mais evidente se olharmos para o que é regionalmente chamado de Cone do Amazonas. Trata-se de um dos maiores leques submarinos atuais do mundo, com aspectos arquitetônicos típicos de sistemas de leques ricos em lama, desenvolvidos em margens passivas. O leque do Amazonas evoluiu principalmente pela agradação de espessos depósitos de canais-levee construídos por correntes de turbidez (Manley & Flood, 1988). Eventos periódicos de avulsão de canais resultaram na deposição de uma série de canais-levee que se sobrepõem (Piper *et al.* 1997). Esse sistema é um dos análogos modernos mais importantes para o entendimento do potencial exploratório e os riscos associados nesse tipo de sistema (Dammuth, 2002). Por ser um leque com predomínio de sedimentos finos, o maior risco associado relaciona-se a presença ou não de potenciais reservatórios arenosos.

Portanto o objetivo principal deste trabalho é, através do mapeamento sísmico 3D, identificar possíveis reservatórios associados a sistemas deposicionais de água profunda (turbiditos) na sucessão estratigráfica correspondente ao leque submarino do Amazonas.



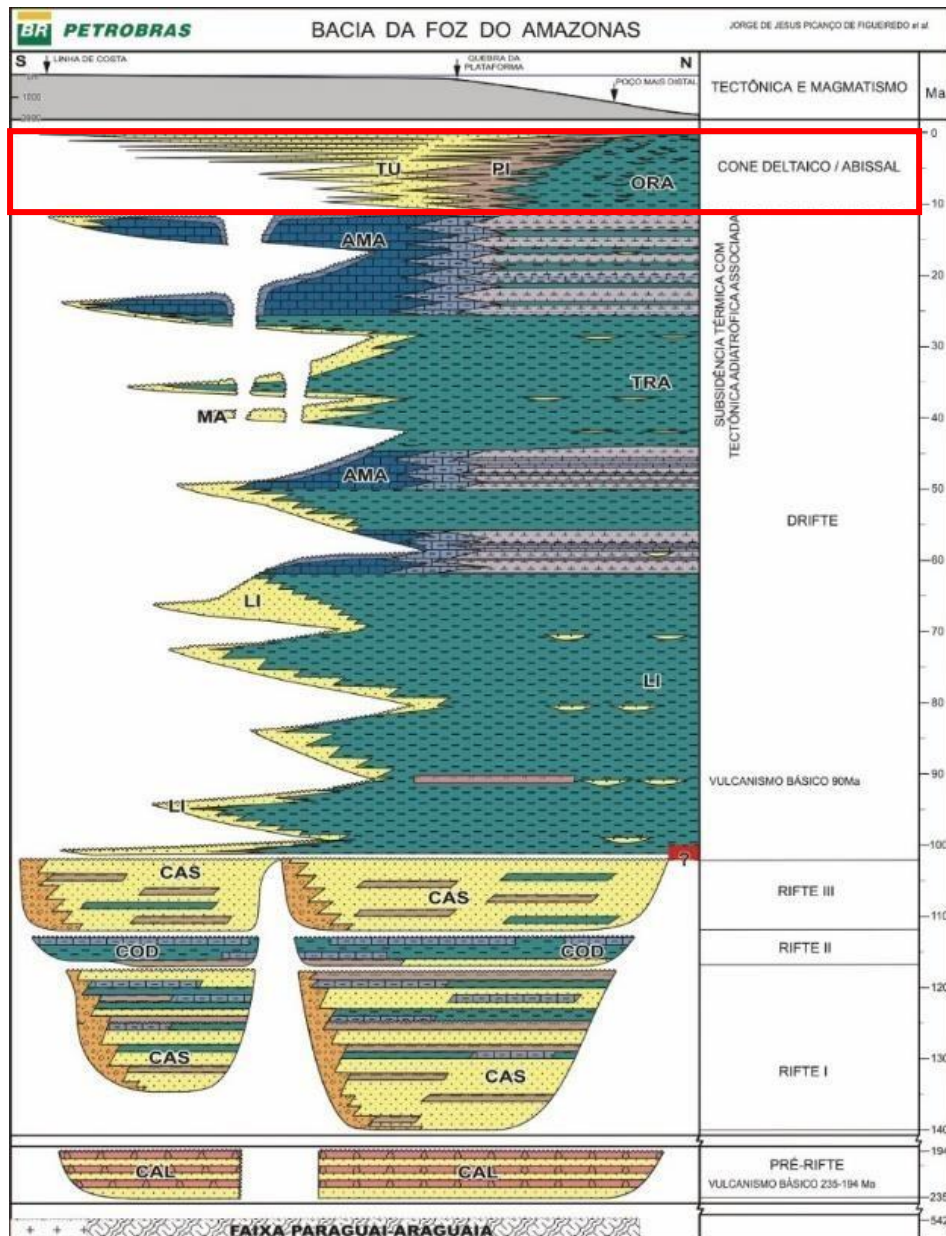
**Figura 1.** Localização da área de estudo com destaque para a Bacia da Foz do Amazonas e para o levantamento sísmico utilizado no trabalho (Polígono vermelho).

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A formação da Bacia da Foz do Amazonas está inserida no contexto de ruptura do supercontinente Gondwana e é constituída por três grábens principais de direção NNO-SSE, denominados de Cassiporé, Cassiporezinho e Externo, sendo que este último ocorre em águas mais profundas e não possui boa visualização em linhas sísmicas (Figueiredo *et al.* 2007).

Um dos principais estudos acerca da tectono-estratigrafia da Bacia da Foz do Amazonas foi elaborado por Brandão & Feijó (1994) e posteriormente atualizado por Figueiredo *et al.* (2007). Para esses autores e conforme ilustrado na figura 2, a sedimentação da bacia tem início com a deposição de sedimentos clásticos de uma Megassequência Pré-Rifte, de idade Triássica, que corresponde à Formação Calçoene (Canellas, 2020). Em seguida, a deposição da Sequência Rifte é relacionada à abertura do Oceano Atlântico e subdividida por Figueiredo *et al.*, (2007) em três sequências (Rifte I, II e III), sendo as fases I e III representadas pela Formação Cassiporé, e a fase II representada pela formação Codó, que se interdigita com a Cassiporé. Segundo Brandão & Feijó (1994), a fase Drifte pode ser dividida em três sequências, a primeira representada pela Formação Limoeiro, depositada do Neocretáceo ao Paleoceno, dividida em seção argilosa basal transgressiva, e seção superior regressiva constituída por arenitos, siltitos e folhelhos. A segunda sequências foi depositada do Paleoceno ao Mioceno e é representada pelas formações Amapá, Marajó e Travosas. Por fim, a terceira sequência, depositada a partir do Mioceno e representada pelo Grupo Pará, está relacionada ao incremento do aporte terrígeno na atual foz do Rio Amazonas impulsionado pelo soerguimento dos Andes. Essa sequência compreende o que é chamado de Leque do Amazonas, uma expressiva sedimentação clástica progradante depositada nos últimos 11 Ma e que representa um dos maiores leques submarinos do mundo (Carvalho *et al.*, 2011).

Quanto ao aspecto econômico, a exploração na bacia da Foz do Amazonas ocorreu basicamente nas décadas de 70 e 80, em águas rasas. Mais tarde, no final da década de 90, houve intensa aquisição de dados sísmicos 2D e 3D além da perfuração de poços exploratórios que visaram a seção superior do Cenozoico, associada ao Leque do Amazonas, (Figueiredo *et al.* 2007).

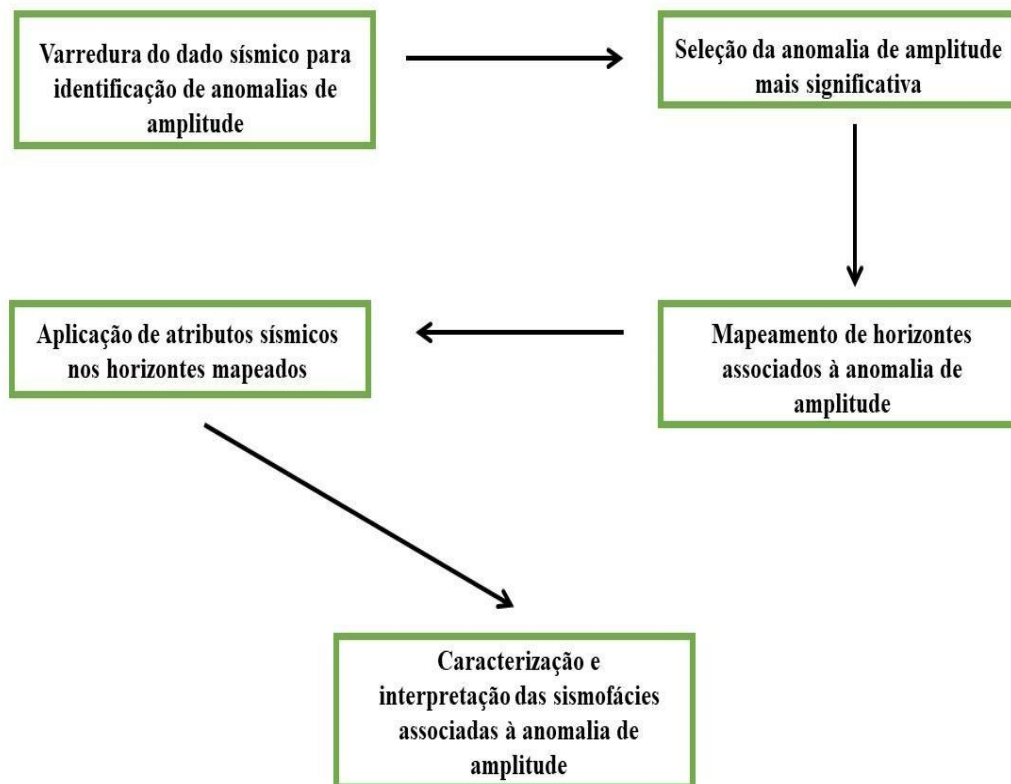


**Figura 2.** Carta estratigráfica da Bacia da Foz do Amazonas, com destaque para o intervalo estudado (Polígono vermelho). Modificado de Figueiredo et al. (2007).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O principal material utilizado neste trabalho foi o levantamento sísmico 0274\_3D\_BFZ\_2\_PALL.3D, com aproximadamente 4000 km<sup>2</sup> e migrado em tempo. Foi cedido pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e disponibilizado pela política de cessão gratuita de dados para projetos de pesquisa em universidades mediante o pedido nº 11326.

Para manipulação e análise do dado sísmico, foi utilizado o Software *OpenDtect*, da *DGB Earth Sciences*. Para as estimativas de espessura em metros foi adotada uma velocidade de 2000 m/s para a onda sísmica. O fluxograma a seguir mostra de maneira simplificada a metodologia utilizada no trabalho e as etapas que serão detalhadas na sequência.



**Figura 3.** Fluxograma simplificado da metodologia empregada no trabalho.

Realizou-se uma varredura completa no bloco sísmico para identificar anomalias de amplitude que pudessem indicar sistemas arenosos, com potencial para constituir reservatório e formar trapas estratigráficas. Durante essa fase, identificaram-se anomalias de amplitude, tanto positivas quanto negativas. Foi então selecionada então uma anomalia negativa significativa para análise, com base principalmente no critério de consistência no levantamento sísmico.

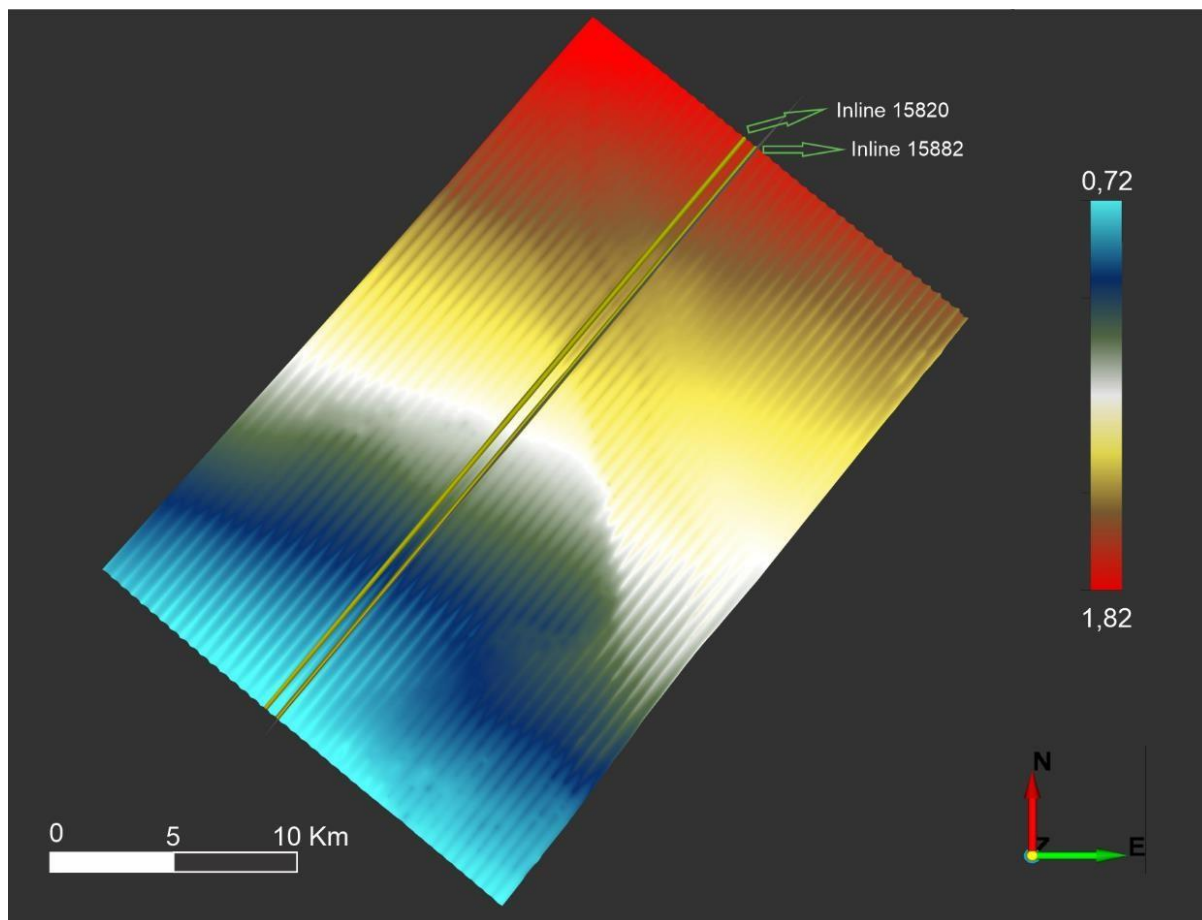
Após a escolha da anomalia de amplitude, o bloco sísmico foi recortado, de forma a contemplar a anomalia escolhida, sendo então reduzido para uma área de aproximadamente 1000 km. Em seguida, foi mapeado manualmente um horizonte relacionado à anomalia de amplitude selecionada com um espaçamento de 2 *steps* (aproximadamente 25 m) tanto para *inlines* quanto para *crosslines*.

Após o mapeamento foi utilizada a ferramenta de gridagem, usando o método da curvatura contínua, com uma tensão de 0,95 e um raio de busca de 50 metros. Após a gridagem, foram aplicados três atributos para iluminar características dos depósitos sedimentares associados ao horizonte sísmico. O atributo de Similaridade indica a semelhança entre dois ou mais segmentos de rastreamento e foi utilizado com o intuito de delinear a morfologia do horizonte. Os atributos Energia e Amplitude Instantânea são baseados na amplitude e visam iluminar propriedades acústicas das rochas que respondem a composição, porosidade e presença de fluidos.

Feita a aplicação dos atributos, a última etapa do trabalho consistiu em analisar, descrever e interpretar as sismofácies que foram identificadas em associação com a anomalia de amplitude selecionada.

#### **4. RESULTADOS**

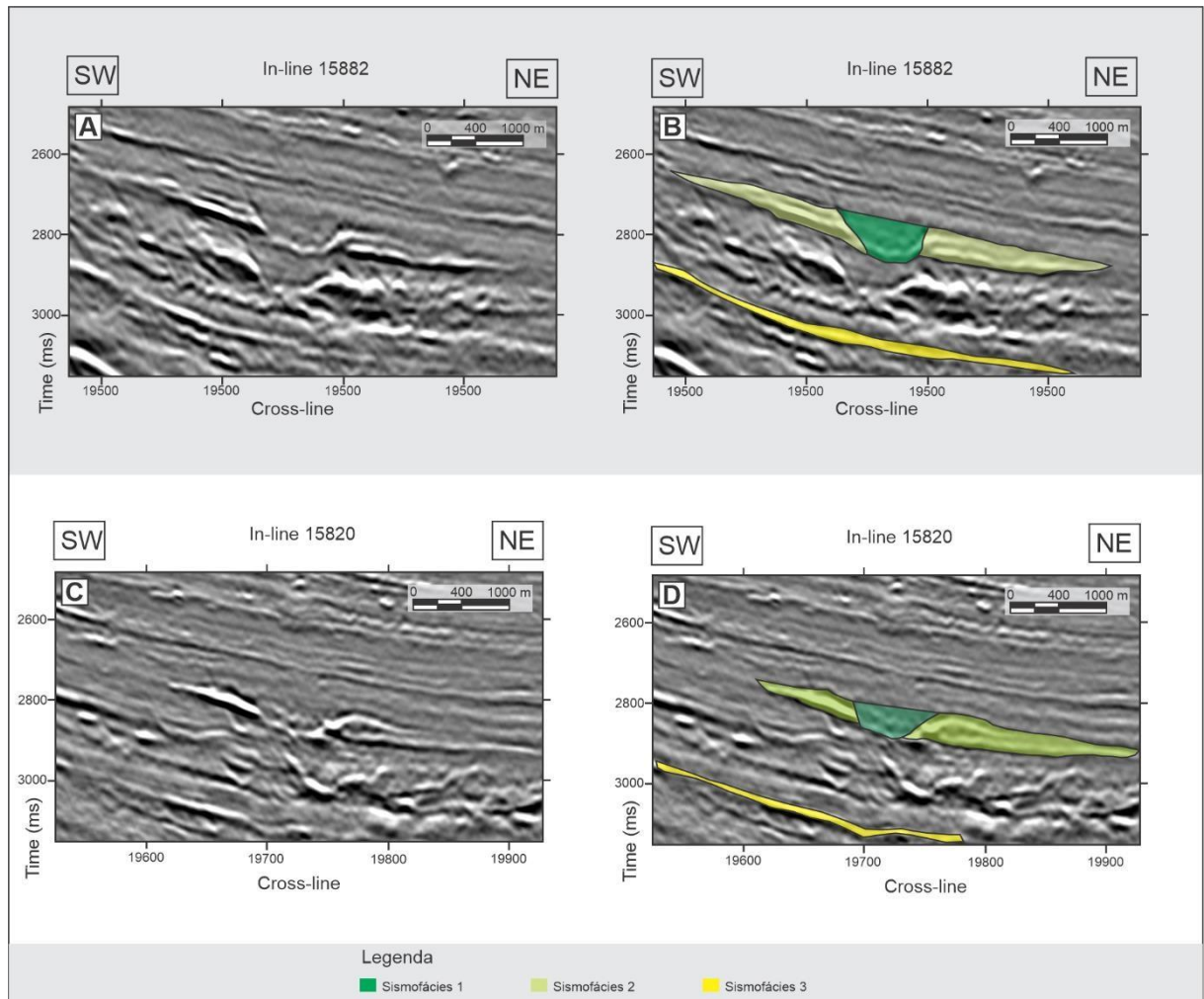
Durante a varredura do dado sísmico foram identificadas anomalias de amplitude, com picos negativos de contraste de impedância bem pronunciados, em especial nas *inlines* ilustradas na figura 4.



**Figura 4.** Contorno estrutural do fundo do mar com indicação das duas principais inlines usadas para definir as sismofácies. Escala de cores em segundos (tempo duplo).

No contexto destas anomalias de amplitude, foram individualizadas três sismofácies, ilustradas na figura 5 e sumariadas na Tabela 1. A **sismofácies 1** apresenta baixa amplitude e baixa frequência, é recorrente e contínua por toda a área mapeada e tem em geral um perfil transversal em “U”, por vezes em “V”, além de ser linear quando vista em planta. Ocorre de forma horizontal a sub-horizontal, por vezes inclinada devido a soerguimentos de altos estruturais pós deposicionais e apresenta pouca variação em suas dimensões, que em geral, é de aproximadamente 70 metros de espessura. A sismofácies 2 também é recorrente em toda a área mapeada e ocorre juntamente com a sismofácies 1, com geometria em cunha, lembrando o formato de “asas de gaivota” e com adelgaçamento lateral. Por vezes um dos flancos é mais bem desenvolvido e espesso que o outro e podendo chegar a aproximadamente 60 metros de espessura no flanco mais espesso, e no flanco mais delgado varia até 30 metros de espessura. A **sismofácies 3** por sua vez, não aparece em toda a área de estudo,

contudo quando ocorre é bem proeminente e de fácil identificação devido a sua grande continuidade lateral, geometria tabular e com contraste de impedância acústica distinta, representado por anomalias de amplitude positiva.



**Figura 5.** Seções sísmicas de inlines representativas para definir as sismofácies (A e C) e exemplo de interpretações das sismofácies (B e D)

A sismofácies 1 é interpretada como preenchimento do canal por sedimentos finos, marcados por baixas amplitudes e em contato direto com a sismofácies 2. Já a sismofácies 2 ocorre em ambas as margens da sismofácies 1 e é interpretada como sendo *levees* ou diques marginais, marcados por anomalia de amplitude negativa bem proeminente, sugerindo presença de litotipos arenosos. Por fim, a sismofácies 3 representa pacotes de refletor de alta amplitude, definidos na literatura pela sigla HARPs (*High amplitude reflectors package*), e indica sedimentos grossos depositados

diretamente da desembocadura do canal ou por fluxos turbidífticos que romperam e extravasaram os *leves* durante o início do processo de avulsão do canal (Dammuth, 2002).

**Tabela 1.** Descrição e interpretação das sismofácies definidas no trabalho.

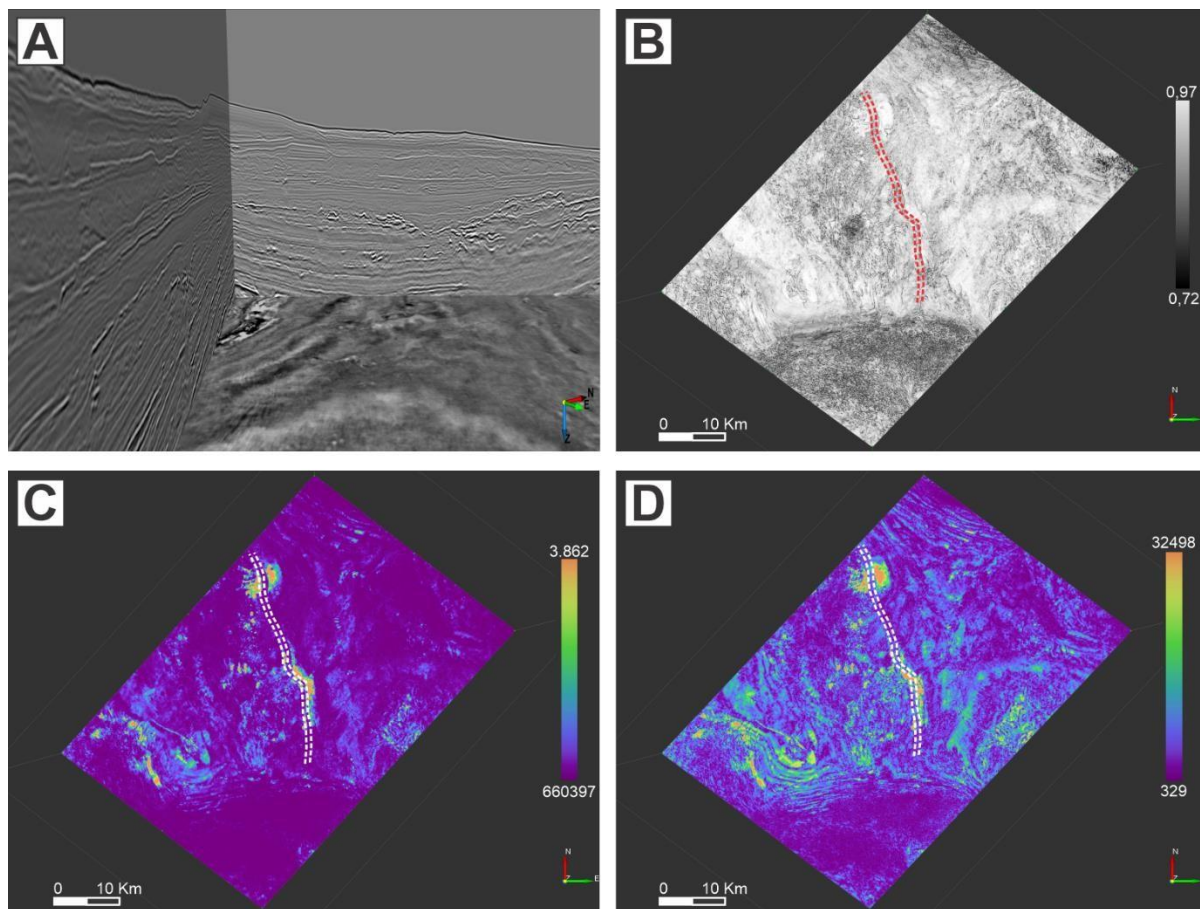
Sismofácies	Descrição	Interpretação
<b>Sismofácies 1</b>	Sismofácies transparente, de baixa amplitude e morfologia linear quando vista em planta	Preenchimento de canal por sedimentos finos
<b>Sismofácies 2</b>	Sismofácies de alta amplitude, morfologia em cunha e baixa continuidade lateral quando vista em seção transversal	Diques marginais ou <i>leves</i> com predomínio de areia
<b>Sismofácies 3</b>	Pacote de refletores de alta amplitude (HARPs), morfologia tabular e grande continuidade lateral. Ocorrem normalmente abaixo do eixo do canal.	Sedimentos grossos, depositados diretamente da desembocadura do canal ou por fluxos que romperam e extravasaram o <i>levee</i> durante o início do processo de avulsão do canal (Dammuth, 2002)

Para melhor delinear o sistema canal-*levee*, foram feitos *Z-Slices* (cortes no eixo Z) próximos à base da sismofácies 1 (Fig. 6). O horizonte correspondente à base do canal foi mapeado em detalhe e quatro mapas foram produzidos a partir da aplicação de diferentes atributos (contorno estrutural, similaridade, amplitude instantânea e energia; Fig. 7).

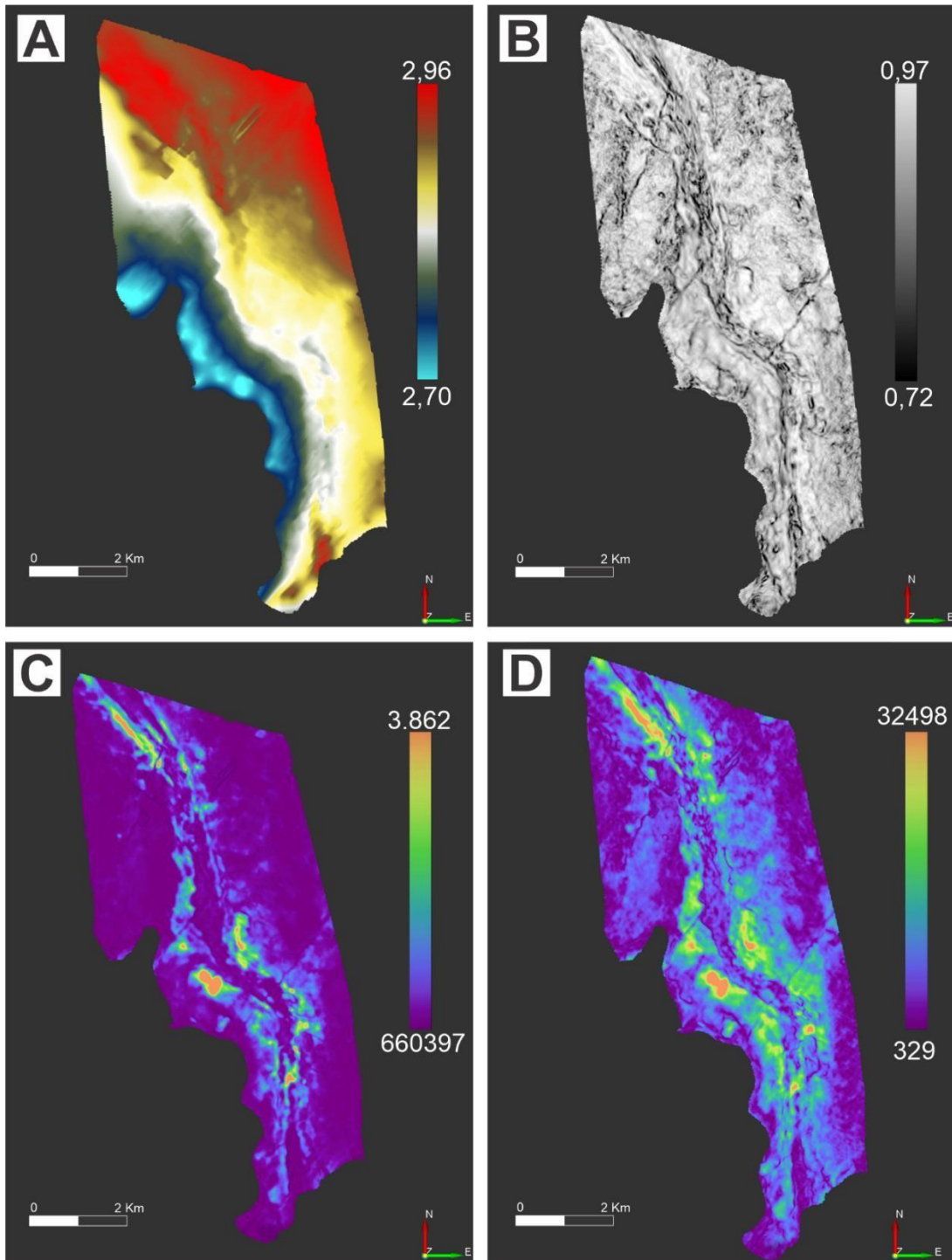
No mapa de contorno estrutural é possível identificar um alto estrutural pós deposicional que bascula o acamamento que hospeda as três sismofácies interpretadas. No mapa de similaridade, a morfologia e sinuosidade do canal são mais

evidentes se comparado ao mapa de contorno estrutural, bem como a sismofácies 1, representados pela cor preta (Fig. 7). Já nos mapas de energia e amplitude instantânea, a sismofácies 2 é representada por anomalias negativas de amplitude alongadas em ambas as margens da sismofácies 1. Embora tenham finalidades semelhantes, o mapa de amplitude instantânea, se comparado ao mapa de energia, realçou ainda mais as anomalias de amplitude nas margens da sismofácies 1, possivelmente associada a presença de areia em sua composição (Fig. 7).

O sistema canal-*levee* possui orientação NNE, foi mapeado por aproximadamente 13 Km e apresenta um índice de sinuosidade de 1,07, podendo ser classificado como canal retilíneo. Está situado a aproximadamente 1600 metros abaixo do fundo do mar, compreendendo a seção superior do Cenozoico, . Sendo assim, pode ser considerado um dos canais distributivos associados à porção norte ao leque do Amazonas.



**Figura 6.** Z-Slices realizados na base da sismofácies 1. Em A o nível em que foi realizado o Z-Slice. Em B, C e D o Z-Slice com os atributos similaridade, energia, amplitude instantânea respectivamente e a interpretação do canal em linha pontilhada.

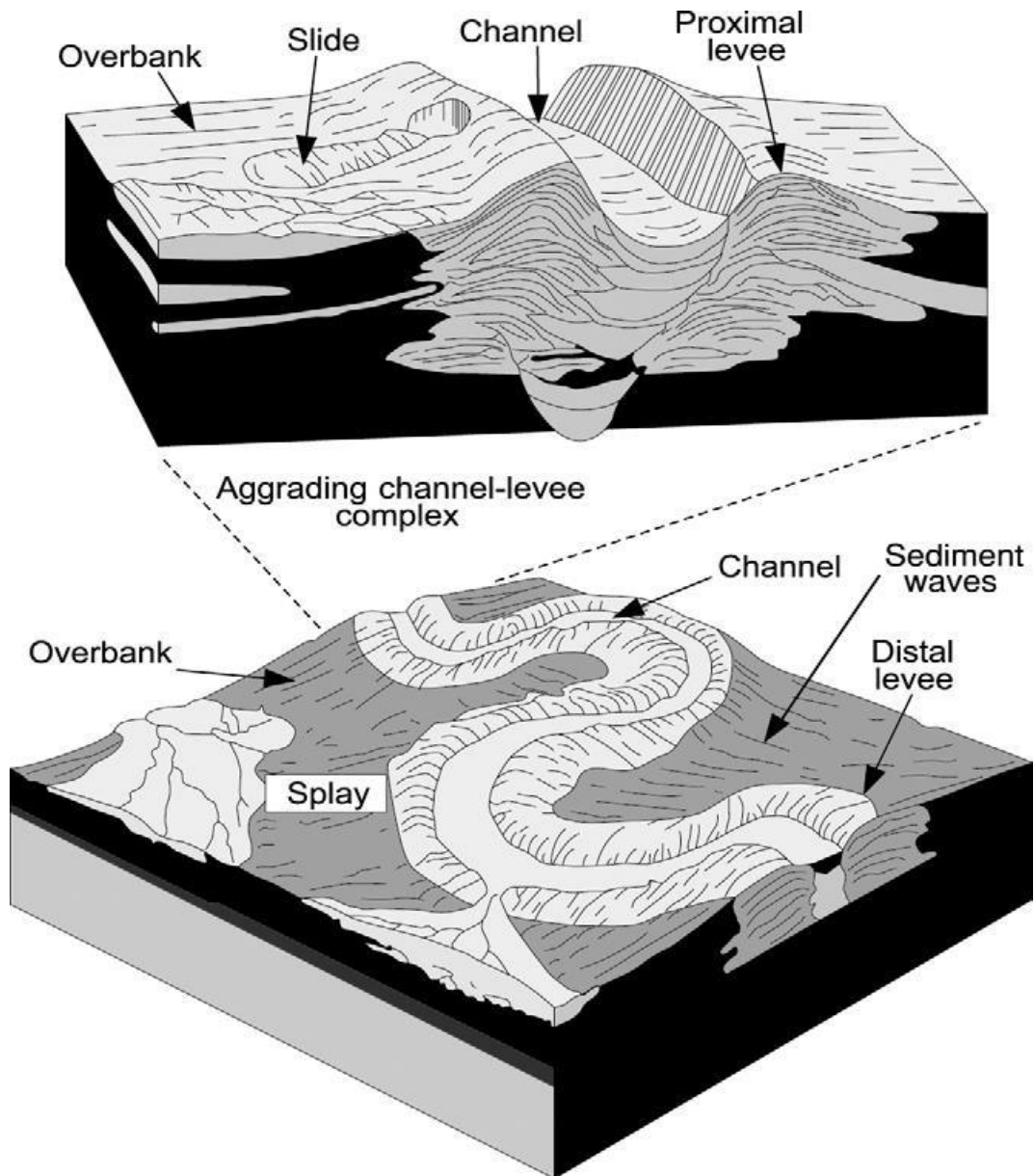


**Figura 7.** Mapas gerados com o horizonte da base do canal. A – Mapa de contorno estrutural com o alto estrutural representado pelos valores mais baixos (Cor Azul). B – Mapa de similaridade com os valores mais baixos (Preto) representado a sismofácies 1. C e D – Mapas de energia e amplitude instantânea respectivamente, com os valores mais altos (Cores quentes) representado a sismofácies 2.

## **5. DISCUSSÃO**

### **5.1. Leque do Amazonas e Sistemas canal-*levee***

Estudos realizados nas últimas décadas, utilizando dados sísmicos de alta resolução, sonares de varredura lateral, como por exemplo o GLORIA, que é um sistema de sonar utilizado para determinar a topografia do assoalho oceânico, revelaram que canais distributivos podem assumir formas de leito bastante sinuosas e convergem para sistemas de canal- *levee* (CL) (Dammuth, 2002), que por sua vez são elementos deposicionais recorrentes em ambientes de talude e águas profundas (Posamentier & Kola, 2003). A figura 8 ilustra de forma esquemática, os elementos constituintes desse tipo de sistema para comparação com as feições identificadas neste trabalho.

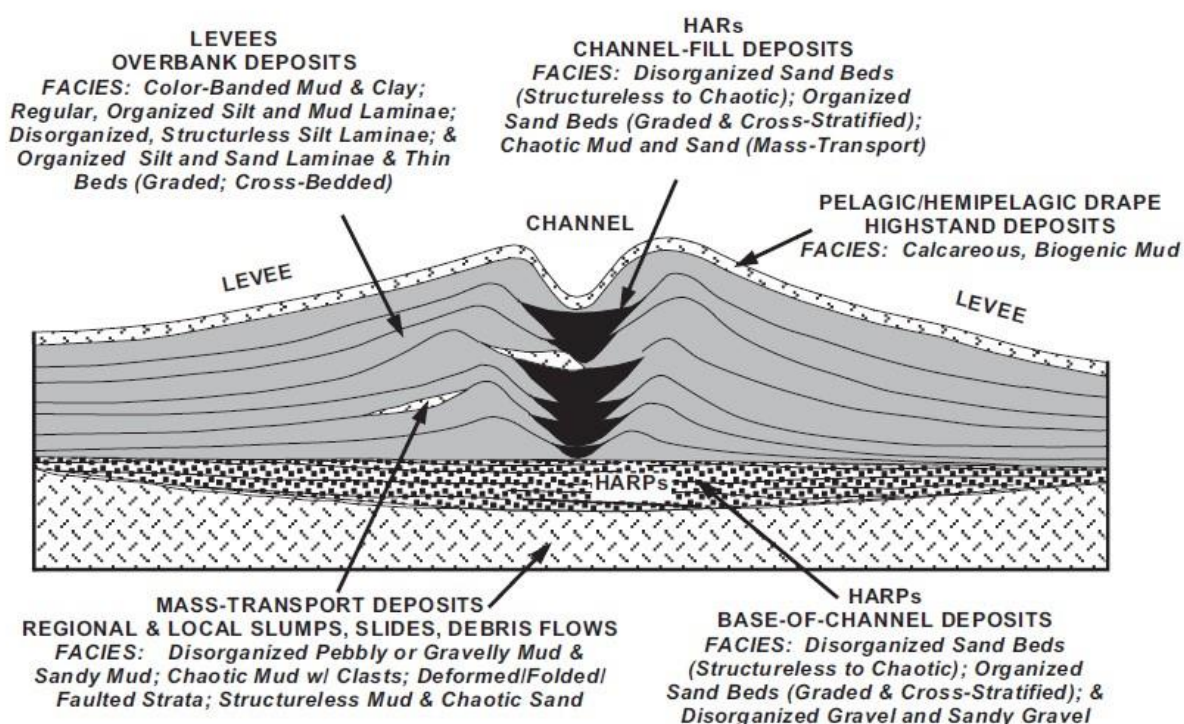


**Figura 8.** Esquema com os elementos constituintes de um sistema canal levee. Modificado de Roberts & Compani (1996) apud Weimer et al. (2006).

Um sistema CL é definido como um canal com um *levee* em cada lado, sendo que os *levees* são formados por transbordamento do canal quando da passagem de correntes de turbidez. Quando houver mais de um canal com *levees*, juntos com sedimentos de *overbank*, formam um complexo de CL (Flood, 2001).

Os resultados deste trabalho sugerem que o sistema CL descrito possui empilhamento vertical ou agradacional, seguindo um modelo semelhante ao de Damuth (2002), ilustrado na figura 9, que propõe para o leque do Amazonas o padrão

agradacional de sistemas CL como unidade básica de deposição. Neste caso, a espessura dos *levees*, num padrão vertical de empilhamento, pode ser significativa, embora a conectividade possa não ser adequada.



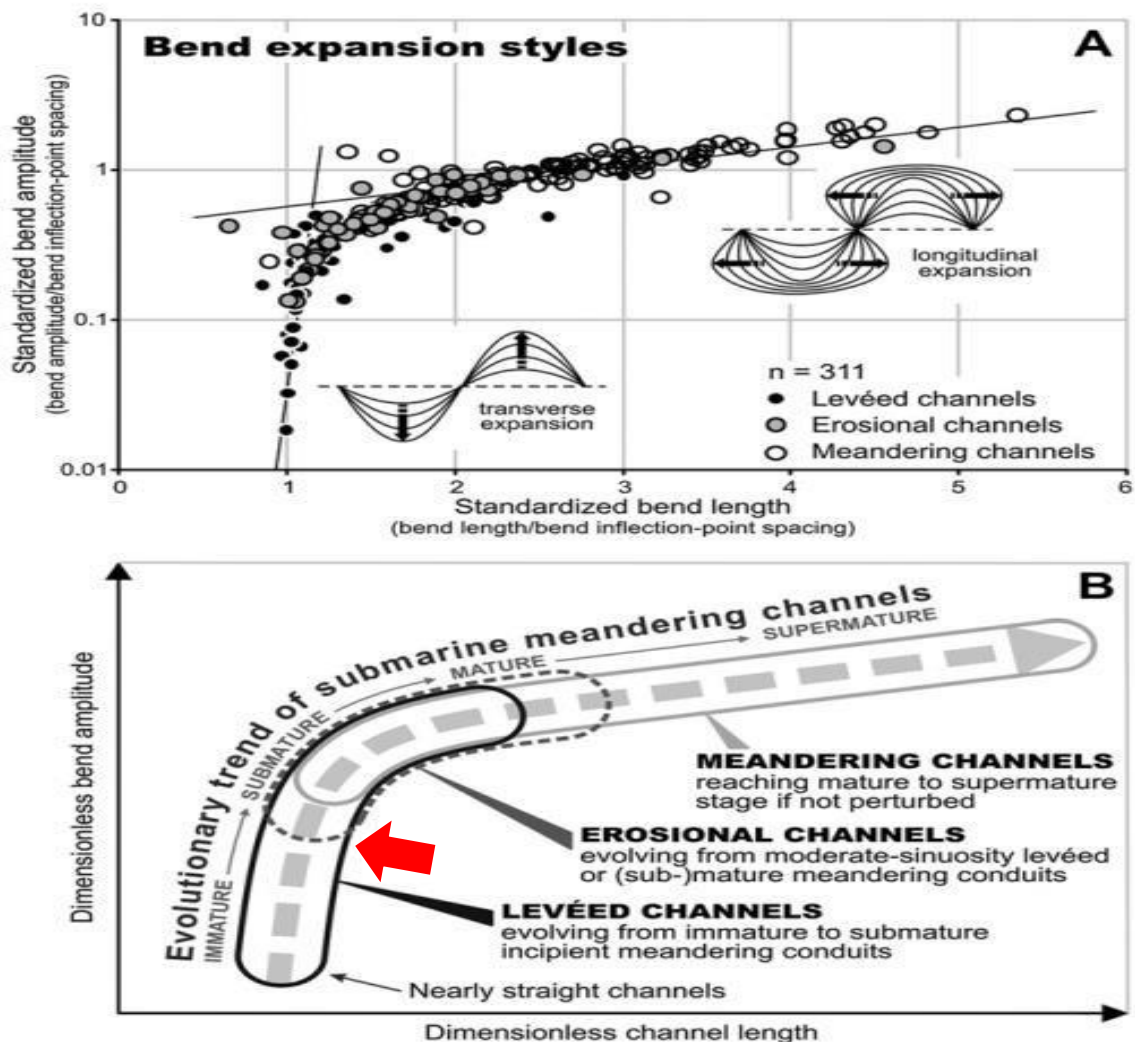
**Figura 9.** Modelo deposicional para sistemas CL no leque submarino do Amazonas. Retirado de Dammuth (2002).

Em escala sísmica, abaixo do eixo do canal, são caracterizados dois elementos precursoros, o primeiro deles denominado de refletor de alta amplitude (HARs), interpretados como preenchimento do canal com grãos mais grossos, e o segundo deles denominado de pacote de refletor de alta amplitude (HARPs), correspondente à sismofácies 3 definida neste trabalho. HARPs são semelhantes aos HARs, mas possuem maior continuidade lateral e são interpretados como lobos terminais imediatamente à jusante da desembocadura do canal ou lobos formados por rompimento do *levee* no processo de avulsão do canal (Dammuth, 2002).

## 5.2. Geometria e hierarquia do sistema CL

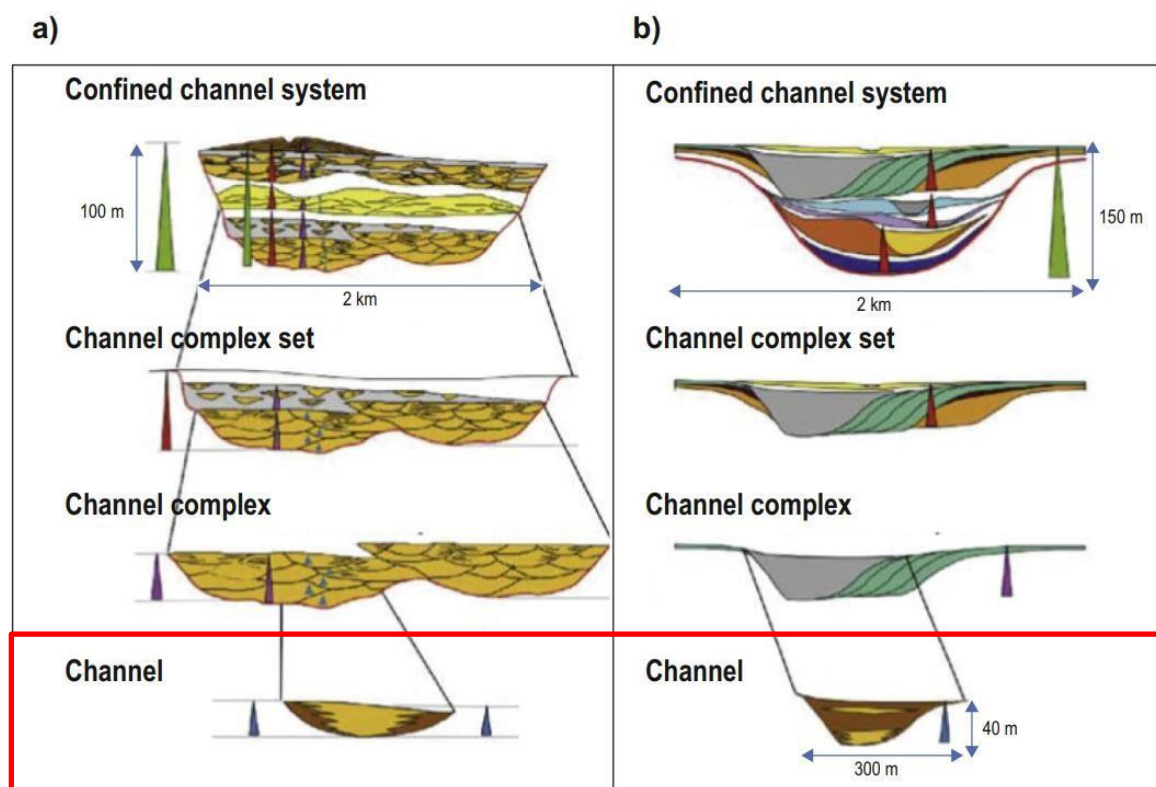
Se enquadrarmos o canal mapeado no gráfico de tendência evolutiva de canais submarinos meandранtes, proposto por Janocko *et al.* (2013), ilustrado na

figura 9, temos que ele se encontra num estágio de transição entre imaturo a submaturo, é retilíneo, apresenta *leves* bem desenvolvidos e condutos meandringes incipientes. Uma possível interpretação é de que esteja disposto espacialmente em uma posição mais proximal do sistema, próximo ao *canyon* e com um grau elevado de confinamento. É interessante lembrar que na Bacia da Foz do Amazonas, a quebra da plataforma ocorre em profundidades ainda maiores se comparadas as demais bacias brasileiras, o que ocorre em virtude do aporte colossal de sedimentos depositados pelo Rio Amazonas.



**Figura 10.** Gráfico de tendência evolutiva de canais submarinos meandringes, com o estágio do canal mapeado indicado pela flecha vermelha. Modificado de Janocko et al. (2013).

Analisar o contexto do sistema mapeado sob a ótica da hierarquia de canais pode trazer contribuições no que diz respeito a possibilidade de reservatórios de óleo e gás nos levees proximais. Como abordado nos resultados, a anomalia de amplitude manifestada pelos levees sugere presença de litotipos arenosos, muito possivelmente intercalados com sedimentos finos. Seguindo o esquema de hierarquia de canais proposto por Sprague et al. (2002) e o esquema de hierarquia estratigráfica utilizado por Abreu et al. (2003), pelas dimensões encontradas o canal mapeado estaria no primeiro nível de hierarquia (Fig. 11). Contudo, pode fazer parte de um complexo, ou até mesmo de um sistema de canais, onde múltiplos canais são empilhados em padrões que podem ser verticais ou horizontais.



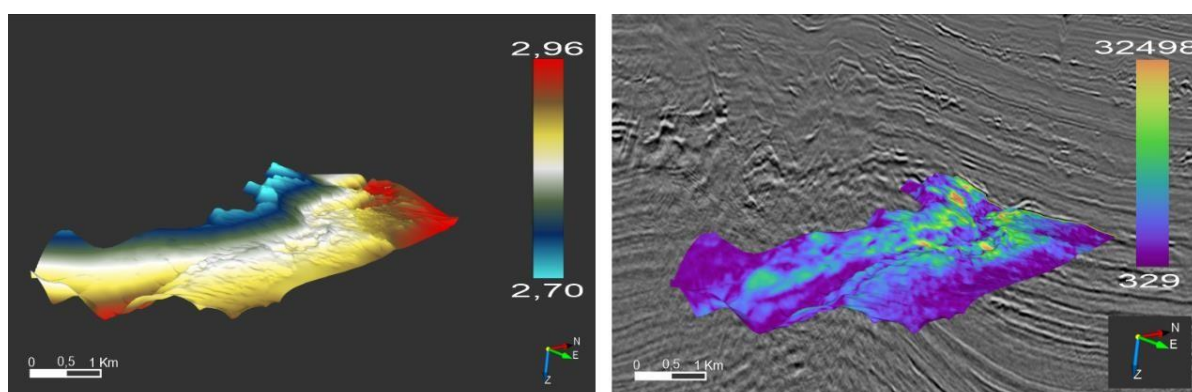
**Figura 11.** Esquema de hierarquias utilizado por Sprague et al. 2002 na esquerda e esquema de hierarquia estratigráfica utilizado por Abreu et al. 2003 na direita. Modificado de Abreu et al. (2003).

### 5.3. Aspectos de Reservatório

Depósitos de *levee* e *overbank* podem assumir um papel importante no âmbito de reservatórios de óleo e gás. Embora os *levees* sejam normalmente uma

intercalação heterolíticas de areia e lama, formando reservatórios potencialmente de baixa conectividade vertical, podem ser interessantes se considerados como reservatórios secundários. Há exemplos de reservatórios em depósitos de *levee* e *overbank* no Golfo do México, em que estudos indicam uma alta taxa de produção inicial, seguida de um declínio rápido e por fim persistem e se estabilizam com taxas de produção menores (Weimer et al. 2006). Tendo isto em mente, muitas bacias onde ocorrem sistemas de CL podem ter sido subestimadas, levando em consideração que o grande interesse e a maior parte dos estudos prévios têm como objetivo principal o preenchimento dos canais e os lobos.

Numa perspectiva de produção, poços inclinados ou horizontais interceptando as fácies finamente acamadadas dos *levees* e depósitos de preenchimento de canal, caso arenosos, teriam maior área de superfície e melhor comunicação entre estes dois elementos. No que diz respeito ao mecanismo de trapeamento, o próprio *pinchout* lateral das camadas dos *levees* pode formar trapa estratigráfica efetiva, ainda mais se o preenchimento do canal for lamoso (selo lateral). No caso estudado, a presença de um alto estrutural pós-deposicional pode ainda criar uma condição de trapeamento misto ou combinado, uma vez que o *levee* da margem esquerda do canal sofre acunhamento mergulho acima (Fig. 12).



**Figura 12.** A- Mapa de contorno estrutural com as cores frias indicando o alto estrutural que bascula as sismofácies 1,2 e 3. B- Mapa de amplitude instantânea destacando a sismofácies 2 (*levees*), indicada pelas cores mais quentes, num cenário de trapeamento misto declive acima.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados e no que foi abordado na discussão é pertinente concluir que:

- Sistemas do tipo canal-levee, com levees arenosos, são potenciais reservatórios na sucessão cenozoica do leque submarino do Amazonas.
- Foram identificadas anomalias de amplitude, com picos positivos definidas como três sismofácies.
- A sismofácies 1 representa o preenchimento fino do canal. A sismofácies 2 representa os levees arenosos. A sismofácies 3 representa pacotes de refletores de alta amplitude (HARPs).
- Altos estruturais associados a grandes movimentos gravitacionais de massa no leque do Amazonas podem criar condições de trapeamento misto.
- Os levees analisados definidos como proximais apresentam fácies mais arenosas, com índices inferidos de porosidade e permeabilidade consideráveis.
- Reservatórios em levees podem ser considerados complementares, como alvos secundários na exploração de hidrocarbonetos, num cenário de exploração dos levees juntamente às areias que preenchem os canais.
- Reservatório finamente acamadados (*thin bedded reservoir*) são encontrados em muitas bacias pelo globo, que podem ter sido subestimadas, mas são explorados de forma principal ou secundária em poucos campos.

## REFERÊNCIAS

- Abreu, V., Sullivan, M., Pirmez, C., & Mohrig, D. (2003). Lateral accretion packages (LAPs): an important reservoir element in deep water sinuous channels. *Marine and Petroleum Geology*, 20(6-8), 631-648.
- Allan, J. R., S. Q. Sun, and R. Trice, 2006. The deliberate search for stratigraphic and subtle combination traps: Where are we now? in M. R. Allen, G. P. Goffey, R. K. Morgan, and I. M. Walker, eds., *The deliberate search for the stratigraphic trap: Geological Society, London, Special Publications 2006*, v. 254, p. 57–103, doi:10.1144/GSL.SP.2006.254.01.05.
- Amy, L. A. 2019. A review of producing fields inferred to have upslope stratigraphically trapped turbidite reservoirs: Trapping styles (pure and combined), *pinch-out* formation, and depositional setting. *AAPG Bulletin*, 103(12), 2861-2889.
- Brandao, J. A., & Feijó, F. J. 1994. Amazon river mouth Basin; Bacia da foz do Amazonas. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 8.
- Canellas, D. B. 2020. Modelagem 2D de sistemas petrolíferos em uma seção geológica em águas profundas e ultraprofundas na Bacia da Foz do Amazonas.
- Carvalho, G. C. R.; GOMES, C. J. S.; NETO, M. A. M., 2011. O Cone do Amazonas, Bacia da Foz do Amazonas: uma nova discussão, *Revista Escola de Minas, Ouro Preto*, v. 64.
- Damuth, J. E. 2002. The Amazon-HARP fan model: facies distributions in mud-rich deep-sea fans based on systematic coring of architectural elements of Amazon Fan. *Turbidite systems and deep sea fans of the Mediterranean and the Black Seas. CIESM Worksh*, 17, 19-22.
- Figueiredo, J. J. P.; ZALÁN, P. V.; SOARES, E. F., 2007. Bacia da Foz do Amazonas. *Boletim de Geociências da. Petrobras* 15, 2 n2: 299–309.

- Janocko, M. N. W. H. S. W. M., Nemeč, W., Henriksen, S., & Warchoł, M. 2013. The diversity of deep-water sinuous channel belts and slope valley-fill complexes. *Marine and Petroleum Geology*, 41, 7-34.
- Manley, P. L., & Flood, R. D. 1988. Cyclic sediment deposition within Amazon deepsea fan. *AAPG bulletin*, 72(8), 912-925.
- Mohriak, W. U. 2003. Bacias sedimentares da margem continental Brasileira. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*, 3, 87-e165.
- OpenDtect 2023. Tabela de atributos. Disponível em: <<https://www.dgbes.com/software/attributes-table>> Acesso em 01 de novembro de 2023.
- Petrobras, 2023. Saiba mais sobre a Margem Equatorial, importante fronteira offshore do Brasil. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/saiba-maissobre-a-margem-equatorial-importante-fronteira-offshore-do-brasil.htm>> Acesso em: 28 de abril de 2023 .
- Piper, D. J., Flood, R. D., Cisowski, S., Hall, F., Manley, P. L., Maslin, M., ... & Showers, W. 1997. 39. SYNTHESIS OF STRATIGRAPHIC CORRELATIONS OF THE AMAZON FAN1.
- Posamentier, H. W., & Kolla, V. 2003. Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings. *Journal of sedimentary research*, 73(3), 367-388.
- Roberts, M.T., and B. Compani, 1996, Miocene example of a meandering submarine channel-levee system from 3-D seismic reflection data, Gulf of Mexico Basin, in J. A. Pacht, R. E. Sheriff, and B. F. Perkins, eds., *Stratigraphic analysis utilizing advanced geophysical, wireline and borehole technology for petroleum exploration and production: Gulf Coast Section SEPM Foundation 17th Annual Research Conference*, 241–254.

Schaller, H. 1971. Estratigrafia preliminar na Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas.  
In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25. São Paulo, SBG. Anais, v.3, p. 189-202.

Sprague, A. R. G., Garfield, T. R., Goulding, F. J., Beaubouef, R. T., Sullivan, M. D.,  
Rossen, C., ... & Mellere, D. (2005). Integrated slope channel depositional  
models: the key to successful prediction of reservoir presence and quality in  
offshore West Africa. CIPM, cuarto E-Exitep. P. 1-e13.

Weimer, P., Slatt, R. M., Bouroullec, R., Fillon, R., Pettingill, H., Pranter, M., & Tari, G.  
2006. "Deepwater-Reservoir Elements: Levee-overbank Sediments and their  
Thin Beds." In: Introduction to the Petroleum Geology of Deepwater Setting.  
AAPG. 57,8: 1-50.