

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA - LAGEMAR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS OCEANOS E DA TERRA – DOT**

**DOMINGOS DE CARVALHO VIANA MOREIRA**

**Leques Submarinos como componentes naturais da margem continental Angolana**

Niterói, RJ

2019

**DOMINGOS DE CARVALHO VIANA MOREIRA**

**Leques Submarinos como componentes naturais da margem continental Angolana**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor. Área de concentração em Geologia e Geofísica

**Orientador: Prof. Cleverton Guizan Silva**

Niterói, RJ

2019

**DOMINGOS DE CARVALHO VIANA MOREIRA**

**Leques Submarinos como componentes naturais da margem continental Angolana**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor. Área de concentração em Geologia e Geofísica

Aprovada em 10 de Dezembro de 2019

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Cleverson Guizan Silva  
Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Dr. Marcus Aguiar Gorini  
MAG - Geofísica

---

Dr. Rodrigo Jorge Perovano da Silva  
Consultor

---

Prof. Dr. Antonio Tadeu dos Reis  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

---

Prof. Dr. Sidney Luis de Matos Mello  
Universidade Federal Fluminense

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

M8351 Moreira, Domingos de Carvalho Miranda  
Leques Submarinos como componentes naturais da margem  
continental Angolana / Domingos de Carvalho Miranda Moreira ;  
Cleverson Guizan Silva, orientador. Niterói, 2019.  
57 f. : il.

Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói,  
2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT.2019.d.06246195750>

1. Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. 2.  
Plataforma Continental Jurídica. 3. Processos gravitacionais  
submarinos. 4. Leques submarinos de mar profundo. 5.  
Produção intelectual. I. Silva, Cleverson Guizan,  
orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Instituto de  
Geociências. III. Título.

CDD -

## RESUMO

Os leques submarinos de mar profundo são formados por sedimentos vindos do continente que se depositam no mar profundo através de processos de transporte gravitacional de massa e por fluxos gravitacionais que carregam quantidades anormalmente elevadas de sedimentos. Estes depósitos podem recobrir milhões de km<sup>2</sup> em área, constituindo uma das maiores feições geomorfológicas da Terra. Como tal, devem ser considerados, segundo os preceitos da Lei do Mar, como componentes naturais das margens continentais. A morfologia da margem continental de Angola foi profundamente modificada pelo aporte de imensos volumes sedimentares depositados no leque submarino do Congo e nos complexos de leques submarinos coalescentes de Kwanza, Benguela e Namibe. A suavização do relevo batimétrico associada à sedimentação nestes leques submarinos gerou um perfil batimétrico suave e contínuo desde a borda de plataforma até a planície abissal, impedindo a definição morfológica da elevação continental. Desta forma, a determinação do pé do talude continental, para fins de delimitação do limite externo da plataforma continental jurídica na margem de Angola, não pode ser feita aplicando-se primordialmente parâmetros morfológicos baseados nas mudanças de gradiente batimétrico, como determina a Lei do Mar. Em consequência, critérios baseados em informações geológicas e geofísicas adicionais, derivados da análise de dados de batimetria de multi-feixe, perfilador de sub-fundo de 3,5 kHz e sísmica multicanal, foram utilizados. Observa-se que na margem de Angola canais submarinos meandantes e seus respectivos lobos distais constituem os principais elementos de dispersão sedimentar dos leques submarinos. A presença de canais meandantes, com diques marginais bem desenvolvidos, indica a suavização do gradiente batimétrico e o contínuo e volumoso fluxo turbidítico confinado aos canais, enquanto que os lobos distais, no término do meandramento dos canais representa a quebra de gradiente, na passagem para a planície abissal, com a dispersão de sedimentos arenosos em lobos coalescentes. A localização da base do talude continental na região predominante de dejeção dos lobos turbidíticos distais, apresenta-se como a melhor opção para determinação do limite exterior da margem continental de Angola aplicando-se os preceitos da Lei do Mar, considerando-se que o estado costeiro tem a prerrogativa de escolher o limite marítimo exterior que lhe seja mais favorável.

**Palavras chave:** Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar; Plataforma Continental Jurídica; Processos gravitacionais submarinos; Leques submarinos de mar profundo

## **ABSTRACT**

The deep sea submarine fans are fed by sediments derived from the continents and deposited in the deep sea through gravitational mass transport processes and by gravitational flows that carry abnormally high amounts of sediments. These deposits can cover millions of km<sup>2</sup> in area, constituting one of the largest geomorphological features on Earth. As such, they must be considered, according to the precepts of the Law of the Sea, as natural components of the continental margins. The morphology of Angola's continental margin has been profoundly modified by the influx of immense sedimentary volumes deposited in the Congo submarine fan and in the coalescent submarine fan complexes of Kwanza, Benguela and Namibe. The smoothing of the bathymetric relief associated with sedimentation in these submarine fans generated a smooth and continuous bathymetric profile from the continental shelf break to the abyssal plain, preventing the morphological definition of the continental rise. Thus, the determination of the foot of the continental slope, for the purpose of delimiting the external limit of the legal continental shelf on the Angolan margin, cannot be done by applying primarily morphological parameters based on changes in the bathymetric gradient, as determined by the Law of the Sea. Consequently, the use of criteria based on additional geological and geophysical information, derived from the analysis of multi-beam bathymetry data, 3.5 kHz sub-bottom profiler and multichannel seismic, were used. It is observed that on the Angolan margin meandering submarine channels and their respective distal lobes constitute the main elements of sedimentary dispersion of the submarine fans. The presence of meandering channels, with well-developed marginal levees, indicates the smoothing of the bathymetric gradient and the continuous and voluminous turbiditic flow confined to the channels, while the distal lobes, at the end of the meandering channels, represent the gradient break, in the passage to the abyssal plain, with the dispersion of sandy sediments in coalescent lobes. The location of the base of the continental slope in the predominant region of dejection of the distal turbiditic lobes, presents itself as the best option for determining the outer limit of the continental margin of Angola, applying the precepts of the Law of the Sea, considering that the coastal state has the prerogative to choose the its most favorable outer maritime limit.

**Key Words:** United Nations Convention on the Law of the Sea; Legal Continental Shelf; Submarine gravitational processes; Deep-sea submarine fans.

## **Índice:**

Introdução	1
Base de Dados e Metodologia	5
Base de Dados	5
Metodologia	7
Revisão Bibliográfica	7
Elaboração do Mapa Batimétrico de Angola	8
Interpretação dos dados de perfilador de Sub-Fundo (3,5 kHz)	9
Primeiro Artigo: Os leques submarinos e a lei do mar.	10
Segundo Artigo: Leques Submarinos da margem continental Angolana e sua importância na extensão da plataforma continental sob a lei do mar.	36

## **Índice de Figuras:**

Figura 1 – Espaços marítimos e elementos prescritos no artigo 76 para a definição da borda externa do território legal e plataforma continental jurídica (Fórmula de Hedberg)	2
Figura 2 - Espaços marítimos e elementos prescritos no artigo 76 para a definição da borda externa do território legal e plataforma continental jurídica (Fórmula de Gardner)	3
Figura 3 – Localização das linhas de aquisição de dados geofísicos pelo navio MV Ocean Endeavour	5
Figura 4 – Localização das linhas de aquisição de perfis de sísmica multicanal pelo navio MVPrincess	6
Figura 5 - Compilação de dados batimétricos utilizada na construção do modelo batimétrico digital de Angola	8

## **Índice de Tabelas:**

Tabela 1 – Lista de sistemas geofísicos utilizados no navio MV Ocean Endeavour	6
Tabela 2 - : Lista de sistemas geofísicos utilizados no navio MV Princess	7

## Introdução

A **lei do mar** está estruturada dentro do direito internacional que providencia a base para os Estados costeiros no exercício dos seus direitos e deveres no uso dos Oceanos e na exploração-utilização dos seus recursos. Foi estabelecida através da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) criada em 1982, e do **artigo 76** desta Convenção (CNUDM, 1982). Os espaços marítimos definidos pela CNUDM compreendem: o Mar Territorial e sua Zona Contígua; a Zona Econômica Exclusiva (ZEE); a Plataforma Continental Jurídica; e o Alto Mar ou Área (Figura 1).

Para definição destes espaços marítimos, os estados costeiros devem estabelecer suas linhas de base, que são definidas pela linha de costa durante a baixa-mar, ou por segmentos retos quando a linha de costa for muito irregular ou com presença de inúmeras ilhas em sua proximidade imediata. A partir da linha de base são estabelecidos os limites do Mar Territorial (12 milhas náuticas), da Zona Contígua (24 milhas náuticas) e da Zona Econômica Exclusiva (200 milhas náuticas) (Figura 1). Na ZEE a Convenção garante ao Estado costeiro soberania de exploração e aproveitamento, conservação e gestão de recursos naturais vivos ou não vivos, da coluna d'água, do leito marinho e de seu subsolo.

O **artigo 76** determina que a margem continental compreende "o prolongamento da massa territorial do Estado costeiro no fundo submarino e subfundo da plataforma continental (sentido geológico), talude e elevação continentais". Não inclui o oceano profundo (deep ocean floor) com suas cadeias oceânicas (cristas oceânicas) e subfundo associado. Quando a margem continental ultrapassar o limite de 200 milhas náuticas da ZEE, o estado costeiro deve estabelecer o limite externo de sua "plataforma continental jurídica", seguindo critérios estabelecidos na CNUDM. O Estado costeiro exerce direitos de soberania sobre a plataforma continental jurídica para efeitos de exploração e aproveitamento dos recursos naturais vivos e não vivos situados no leito marinho e em seu subsolo.

O **artigo 76** é composto por 10 parágrafos que abordam questões distintas, porém inter-relacionadas. Entre elas a definição da Plataforma Continental Jurídica, com duas alternativas sobre os limites exteriores: 200 milhas náuticas a partir das linhas de base; ou até a borda exterior da margem continental, que se estende para além dessa distância e limitada até as 350 milhas náuticas ou por um limite definido por uma distância de 100 milhas náuticas medidas a partir da isobatimétrica de 2.500 m (Figura 1).

Está assente na doutrina que o prolongamento submerso da massa terrestre do Estado costeiro pode ser demonstrado segundo duas perspectivas: geomorfológica (morfologia do fundo submarino), ou geológica (crosta

continental ou oceânica subjacente ou pela natureza dos processos sedimentares). Para demarcação do limite externo com base em critérios geomorfológicos deve-se determinar a base do talude continental e o pé do talude continental, a partir do conhecimento detalhado da morfologia do fundo submarino através de dados batimétricos e análise geomorfométrica (modelos digitais de terreno, mapas de declives e curvaturas).

O pé do talude continental deve ser determinado como o ponto de variação máxima do gradiente batimétrico dentro da região definida como base do talude (Figura 1). A uma distância de 60 milhas náuticas a partir do pé do talude continental determina-se o limite externo (fórmula de Hedberg). Opcionalmente, o limite externo pode ser determinado pela distância igual a 1% da espessura da rocha sedimentar (D/100), também medida a partir do pé de talude continental (Fórmula de Gardner) (Figuras 1 e 2). O Estado costeiro pode adotar o limite externo que lhe garanta a maior extensão territorial segundo estes dois critérios (Hedberg ou Gardner), contudo respeitando os limites restritivos de 350 milhas náuticas a partir da linha de base ou de 100 milhas náuticas a partir da isobatimétrica de 2500 m.

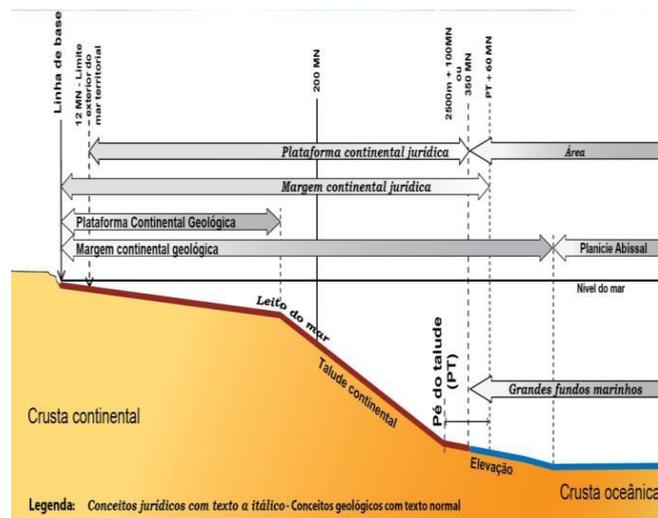
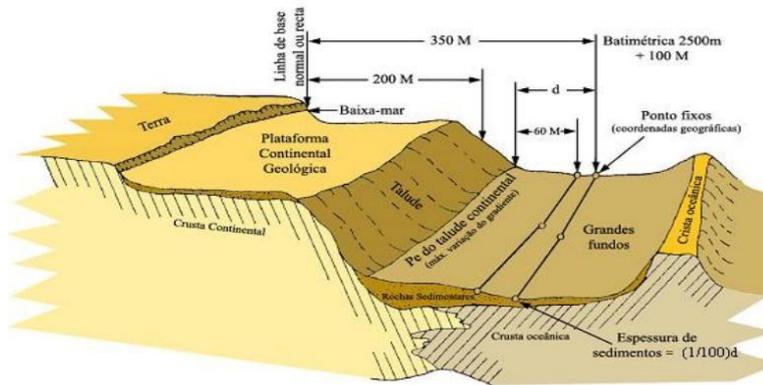


Figura 1: Espaços marítimos e elementos prescritos no artigo 76 para a definição da borda externa do território legal e plataforma continental jurídica: pé do talude continental mais 60 milhas náuticas (Fórmula de Hedberg).

## PLATAFORMA CONTINENTAL



(adaptado de IHO TALOS Manual, 1993)

Figura 2: Espaços marítimos e elementos prescritos no artigo 76 para a definição da borda externa do território legal e plataforma continental jurídica: (1) pé do talude continental mais 60 milhas náuticas (Fórmula de Hedberg) ou (2) distância a partir do pé de talude continental igual a 1% da espessura da rocha sedimentar ( $D/100$ ) (a Fórmula de Gardner).

Devido às peculiaridades das margens continentais nem sempre é possível definir com clareza a base do talude e o pé do talude continental, adoptando-se somente os parâmetros morfológicos descritos no **Artigo 76**. O critério morfológico é difícil de ser aplicado em margens continentais onde não ocorrem variações claras de gradientes entre o talude continental e a elevação continental. Algumas particularidades são descritas e abordagens opcionais são sugeridas em um documento elaborado pela Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC), denominado "Scientific and Technical Guidelines of the Commission on the Limits of the Continental Shelf" (CLCS, 1999). Em função disto, alguns estados costeiros têm utilizado outras informações baseadas, por exemplo, em processos sedimentares típicos de taludes continentais para definir a base do talude. Estas propostas têm sido consideradas favoravelmente pela CLPC.

Em margens continentais onde se localizam extensos leques submarinos de mar profundo, usualmente os gradientes do talude continental são profundamente suavizados em função do imenso aporte sedimentar. Ademais, não existe menção no artigo 76 e nem nas Scientific and Technical Guidelines sobre os leques submarinos como componentes, ou prolongamentos naturais das margens continentais, mesmo levando-se em conta a extensão destes depósitos com espessuras que podem atingir dezenas de quilómetros, obviamente despertando o interesse dos Estados costeiros em estender ao máximo seus territórios submarinos.

Nos leques submarinos muitas vezes é impossível determinar uma base de talude continental e o pé do talude continental, adotando-se somente critérios morfológicos. Processos de deslizamentos submarinos e deformação gravitacional são comumente observados nestes ambientes, criando variações de gradiente locais, que não representam a base do talude regional. Assim sendo, nestas áreas, critérios geológicos, baseados na caracterização dos

processos deposicionais têm sido adotados para se determinar a base do talude.

Um exemplo particular foi reconhecido durante a Terceira Conferência das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (1973-1982), com referência aos Estados costeiros situados na porção sul da Baía de Bengal, no oceano Índico, onde situa-se o leque submarino de Bengal. Este leque submarino tem cerca de 3000 km de comprimento, com largura atingindo até 1400 m e espessura de mais de 16 km, estendendo-se desde a borda da plataforma até lâmina d'água de 5 km. Neste caso foi estabelecido um memorando de entendimento, que determina regras particulares para determinação do limite externo ("Annex II to the Final Act of the Third United Nations Conference on the Law of the Sea - Statement of Understanding Concerning a Specific Method to be Used in Establishing the Outer Edge of the Continental Margin").

Este documento considera as características especiais da margem continental de um Estado onde: **(1)** a isóbata de 200 metros situa-se a uma distância inferior às 20 milhas náuticas; e **(2)** a maior proporção de rochas sedimentares na margem continental situa-se na elevação continental e não no talude continental. Nestas condições se reconhece que com a aplicação da fórmula de Gardiner para determinação do limite externo, considerando-se a espessura sedimentar a partir do pé do talude, mais da metade da margem seria excluída por esse critério. Desta forma propõe que, nestas situações a borda externa da margem continental seja definida por pontos fixos espaçados de 60 milhas náuticas entre si, onde a espessura da rocha sedimentar seja igual ou superior a 1 km.

Tendo em vista as considerações acima, a presente tese tem o objetivo geral de caracterizar os leques submarinos como prolongamentos naturais da massa territorial, avaliando a importância destes leques na construção sedimentar da margem. A tese é organizada no formato de dois artigos científicos para publicação em revistas especializadas. Apresenta-se inicialmente uma descrição da base de dados e da metodologia adotada para elaboração do mapa batimétrico e do mapa de processos sedimentares utilizados na caracterização da margem Angolana. O primeiro artigo trata sobre os "Leques Submarinos e a Lei do Mar, abordando a caracterização dos leques submarinos e sua importância na suavização da morfologia dos taludes continentais, trazendo dificuldades para o estabelecimento do pé do talude continental com base somente em critérios morfológicos. Para tal, apresenta-se uma compilação das principais características dos mais extensos leques submarinos mundiais, incluindo-se também os leques submarinos da margem do Angola, onde se destaca o lequedo Congo. O segundo artigo aborda os "Leques Submarinos da margem continental Angolana e sua importância na extensão da plataforma continental sob a lei do mar".

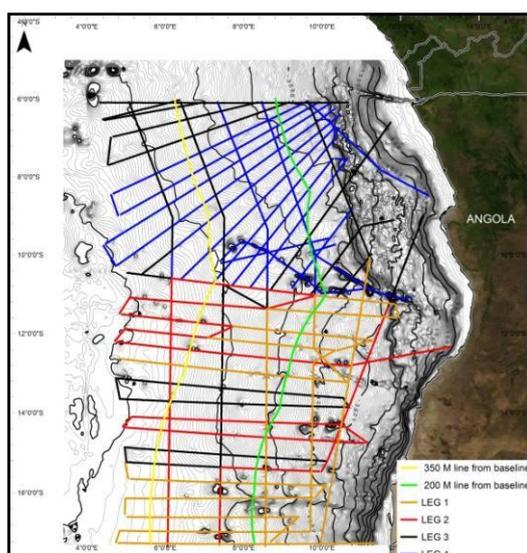
## Base de dados e metodologia

### Base de dados

A base de dados utilizada foi derivada dos levantamentos geofísicos do projeto de Extensão da Plataforma Continental Angolana (PEPCA), conduzido e coordenado pela Comissão Inter-ministerial de Delimitação e Demarcação dos Espaços Marítimos de Angola (CIDDEMA). A aquisição de dados geofísicos na margem continental de Angola ocorreu de Maio à Setembro de 2012, produzindo uma coletânea de dados geofísicos distintos que são a base do estudo que resultou na Submissão Angolana perante à Comissão sobre os Limites da Plataforma Continental das Nações Unidas no âmbito da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar.

A aquisição de dados na margem continental de Angola foi realizada por dois navios sísmicos especializados operando em módulos distintos de trabalho: multipropósito e sísmico. O módulo multipropósito foi operado pelo navio MV Ocean Endeavour da empresa *Gardline Hydro*, e consistiu em aquisição batimétrica multifeixe, sísmica rasa 3.5 kHz, sísmica monocanal e sísmica de refração utilizando-se sonobóias (Tabela 1). Já o *módulo sísmico* foi operado pelo navio MV Princess da empresa *CGG EXPLO-CGG Veritas*, para aquisição de sísmica multicanal de grande penetração.

A operação do navio geofísico MV Ocean Endeavour ocorreu no período entre 29 de Maio de 2012 até 26 de Setembro de 2012, dividida em quatro etapas conforme apresentado na Figura 3. No total, após 120 dias de operação, foram adquiridos 26.104,47 km de linhas batimétricas multifeixe e 25.998,87 km de perfis de sísmica rasa 3,5 kHz.

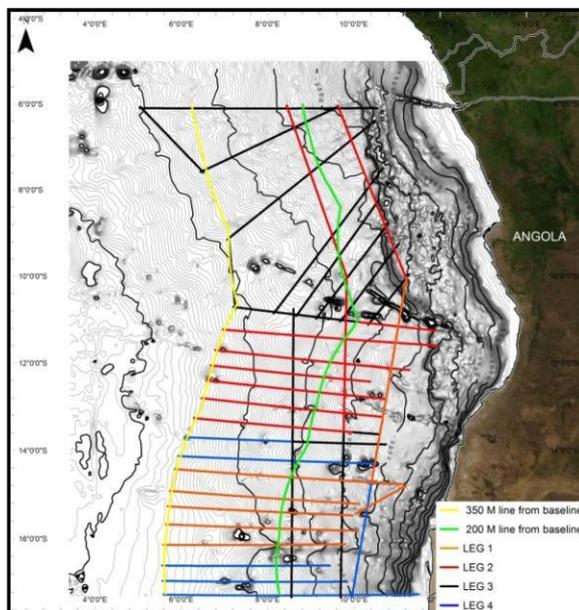


*Figura 3: Localização das linhas de aquisição de dados geofísicos pelo navio MV Ocean Endeavour, divididas em quatro períodos de trabalho realizados em 2012. As linhas nas cores verde e amarelo indicam, respectivamente, as distâncias de 200 e 350 milhas náuticas a partir da costa.*

Tabela 1: Lista de sistemas geofísicos utilizados no navio MV Ocean Endeavour

MV Ocean Endeavour - multipropósito	
<u>sistemas geofísicos</u>	
1. Ecobatímetro Multifeixe	Simrad EM122 (12kHz) / EM1002 (60-100 kHz)
2. Perfilador de Subfundo 3,5 kHz	CHIRP 3260 Knudsen system
3. Sísmica de reflexão monocanal	Air Gun Single Bolt Gun 1500 llx (270 in <sup>3</sup> ) / Streamer Hydroscience NTRS (300 m)
4. Gravimetria	Air Sea System 2 da Micro-g LaCoste (res. 0,01 mGal)
5. Magnetometria	Geotechnics G882 (amostragem a cada 1s)
6. Sísmica de refração	Sonobóias SPARTON NA/SSQ995 U

O navio geofísico MV Princess realizou levantamentos no período entre 12 de Maio de 2012 e 11 de Setembro de 2012, em quatro etapas conforme apresentado na **Figura 4**. Foram coletados dados de sísmica multicanal, conforme detalhes apresentados na Tabela 2. No total, após 122 dias de operação, foram adquiridos 15.008,62 km de perfis de sísmica multicanal na margem oceânica de Angola.



*Figura 4: Localização das linhas de aquisição de perfis de sísmica multicanal pelo navio MVPrincess, divididas em quatro períodos de trabalho realizados em 2012. As linhas nas cores verde e amarelo indicam as distâncias de 350 e 200 milhas náuticas a partir da costa.*

Tabela 2: Lista de sistemas geofísicos utilizados no navio MV Princess

<b>MV Princess - sísmica multicanal</b>	
<u>sistemas geofísicos</u>	
<b>1. Sísmica de Reflexão Multicanal</b>	Air Gun G-Gun II (3940 in <sup>3</sup> ) / Streamer Sentinel Solid (10.500 m)
<b>2. Ecobatímetro Monofeixe</b>	Kongsberg EA600

Na presente tese, para caracterização da morfologia do fundo submarino e para dos processos sedimentares dominantes na margem continental de Angola, utilizamos principalmente os dados batimétricos e de perfilador de sub-fundo. Os dados sísmicos foram também utilizados de forma secundária, para dar uma visão em profundidade mais abrangente e auxiliar na interpretação dos processos sedimentares de mar profundo. Portanto a metodologia a seguir apresenta principalmente as etapas de tratamento e interpretação dos dados batimétricos e de perfilador de sub-fundo que resultaram nos mapas batimétrico e de processos sedimentares e no modelo digital de terreno da margem continental angolana. Estes produtos forneceram os subsídios para tecer as considerações e discussões apresentadas na tese, com respeito à margem de Angola.

### **Metodologia**

A metodologia envolveu a revisão bibliográfica e compilação de dados pretéritos, incluindo uma revisão geral sobre leques submarinos e processos de sedimentação em mar profundo. Esta revisão teve por finalidade subsidiar a discussão sobre o reconhecimento da importância dos leques submarinos na delimitação do limite externo da plataforma continental jurídica. Para aplicação dos conceitos na margem continental de Angola, foram analisados e interpretados os mapas base que foram elaborados a partir da base de dados do projeto PEPCA. A seguir iremos detalhar cada procedimento metodológico, incluindo aqueles sobre a interpretação dos dados geofísicos e elaboração dos mapas base do projeto PEPCA.

### **Revisão Bibliográfica**

A pesquisa bibliográfica centrou-se em dados e informações científicas publicados por diversos autores, com a finalidade de melhor conhecer os processos de sedimentação marinha e outros que estão diretamente ligados à geologia marinha.

Informações sobre sistemas de leques submarinos amplamente estudados como por exemplo o Amazonas, Bengala, Níger, Ganges e Indus e outros, mais recentemente estudados na margem continental de Angola, nomeadamente, leque do Congo, Complexo do Kwanza/Cuvo-Longa (Panzo, 2014), Coalescente de Benguela (Caetano, 2014) e do Namibe (Alexandre, 2015) que foram utilizados no presente estudo. Foi também feita uma revisão sobre propostas

de submissões de outros Estados costeiros para definição de seus limites marítimos, buscando-se ilustrar diversas interpretações da Lei do Mar, em situações onde o pé do talude morfológico não é facilmente determinado com base somente nas variações de gradiente.

### Elaboração do Mapa Batimétrico de Angola

A caracterização geomorfológica da margem continental de Angola é de fundamental importância para a compreensão dos processos geológicos que originaram e ainda influenciam o fundo oceânico. Esse conhecimento é também necessário para atender aos ditames da Lei do Mar no que tange à determinação da posição do pé do talude continental e o delineamento da isóbata de 2.500 metros.

Para tanto, um modelo batimétrico digital (MBD) foi criado para representar o fundo oceânico de maneira fidedigna e possibilitar a extração de informações válidas e suficientemente precisas para determinação do limite externo da plataforma continental jurídica.

A base de dados utilizada engloba as seguintes fontes (**Figura 5**):

- A)** profundidades interpretadas a partir de seções sísmicas;
- B)** base de dados batimétricos de domínio público GEODAS;
- C)** dados de batimetria multifeixe adquiridos no levantamento geofísico do PEPCA na margem Angolana.

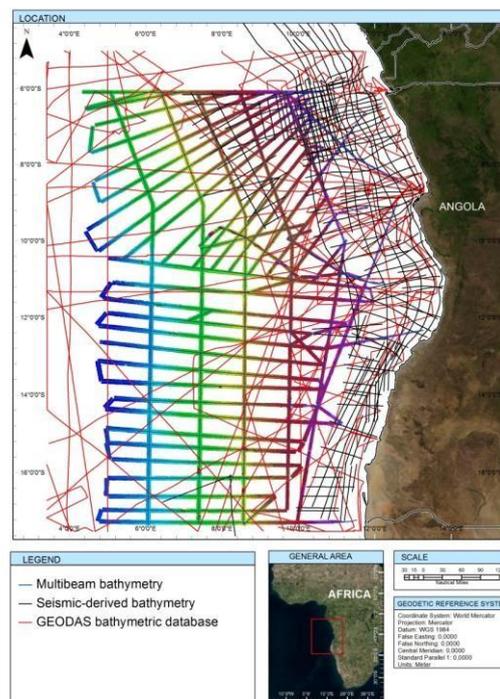


Figura 5: Compilação de dados batimétricos utilizada na construção do modelo batimétrico digital de Angola.

Para minimizar o problema de nivelamento, foi desenvolvida uma metodologia no projeto PEPCA, que consiste em **(i)** identificação e eliminação de erros de cruzamento; **(ii)** nivelamento dos artefatos remanescentes por ajuste polinomial diferencial; **(iii)** extração automática dos objetos de interesse da batimetria de alta-resolução; e **(iv)** posterior gridagem.

### **Interpretação dos dados de perfilador de Sub-Fundo (3,5 kHz)**

O reconhecimento e a análise dos processos deposicionais de fundo e subfundo atuantes em escala regional são importantes para a compreensão dos fatores que condicionam a evolução moderna da margem continental de Angola. Para tanto, os dados de perfilador de sub-fundo 3,5 kHz, associados aos de batimetria multifeixe adquiridos, foram analisados para construção de um mapa de processos sedimentares. A metodologia adotada no projeto PEPCA, seguiu o método desenvolvido por Damuth (1980a, 1994) e refinado por outros autores (e.g., Damuth, 1975, 1979, 1980a, 1980b, 1994; Embley, 1976, 1980; Damuth & Hayes, 1977; Damuth & Flood, 1983; Coutellier et al., 1984; Pratson & Laine, 1989; Gaullier & Bellaiche, 1998; Savoye et al., 2000; Loncke et al., 2002; Migeon et al., 2004; Jejou et al., 2008; Loncke et al., 2009; Savoye et al., 2009). Esta metodologia se baseia na classificação de ecofácies (ou eco-caráter) de 3,5 kHz como ferramenta para inferência dos processos deposicionais atuantes no fundo e subfundo marinho.

A análise dos dados de sísmica rasa 3,5 kHz na margem Angolana, teve por base **(i)** o grau de refletividade e continuidade de refletores de fundo e subfundo, **(ii)** a geometria externa e assinaturas acústicas internas dos depósitos, e **(iii)** a micromorfologia do fundo submarino (neste caso auxiliado ainda por dados de perfis batimétricos multifeixe).

## PRIMEIRO ARTIGO.

### Os leques submarinos e a lei do mar.

#### Resumo

Os leques submarinos de mar profundo constituem imensos depósitos sedimentares em margens continentais com formato radial em leque e geometria lobada. São formados por sedimentos vindos do continente que se depositam e passam sobre a plataforma continental fisiográfica e se dirigem para o mar profundo através de processos de transporte gravitacional de massa e por fluxos gravitacionais que carregam quantidades anormalmente elevadas de sedimentos, podendo se estender por milhões de km<sup>2</sup> em área, constituindo uma das maiores feições geomorfológicas da Terra. Como tal, devem ser considerados, segundo os preceitos da Lei do Mar, como componentes naturais das margens continentais. Os limites submersos externos dos países costeiros são definidos segundo critérios principalmente morfológicos, seguindo-se as recomendações da Lei do Mar. Contudo, nos leques submarinos a morfologia suave dos taludes continentais impede a determinação da base do talude continental e muitas vezes a província fisiográfica de elevação continental é inexistente, suscitando a adoção de critérios geológicos e geofísicos alternativos para determinação dos limites externos. Na margem continental de Angola, a análise dos gradientes batimétricos em conjunto com a caracterização dos processos sedimentares submarinos, definidos a partir de dados batimétricos e sísmicos, permitiu sugerir um critério alternativo para determinação da base do talude continental. Este critério adicional se baseia na localização dos lobos distais turbidíticos, presentes na porção terminal dos canais submarinos meandantes com presença de diques marginais. A presença dos lobos distais indica a perda de energia do fluxo turbidítico confinado aos canais, em função dos baixos gradientes já na transição para a planície Abissal de Angola.

#### Abstract

Deep-sea submarine fans are immense sedimentary deposits on continental margins with radial fan shape and lobate geometry. They are formed by sediments from the continent that are deposited and pass over the physiographic continental shelf towards the deep sea through processes of gravitational mass transport and by gravitational flows that carry abnormally high amounts of sediments, which can extend for millions of km<sup>2</sup> in area, constituting one of the largest geomorphological features on Earth. As such,

they must be considered, according to the precepts of the Law of the Sea, as natural components of the continental margins. The submerged external limits of coastal countries are mainly defined according to morphological criteria, following the recommendations of the Law of the Sea. However, in submarine fans, the smooth morphology of continental slopes prevents, in several instances, the determination of the base of the continental slope and in many examples, the continental rise physiographic province is non-existent, leading to the adoption of alternative geological and geophysical criteria for determining the external limits. On the continental margin of Angola, the analysis of bathymetric gradients together with the characterization of subsea sedimentary processes, defined from bathymetric and seismic data, allowed to suggest an alternative criterion for determining the base of the continental slope. This additional criterion is based on the location of the distal turbiditic lobes, present in the terminal portion of meandering undersea channels with the presence of marginal levees. The presence of the distal lobes indicates the loss of energy from the turbiditic flow confined to the channels, due to the low gradients already in the transition to the Angola Abyssal plain.

### **Introdução**

A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) criada em 1982 determina que os Estados costeiros podem estender seu território submerso para além da Zona Econômica Exclusiva (ZEE), cujo limite situa-se a 200 milhas náuticas a partir da linha de costa, representada por sua linha de base. Para determinar o limite marítimo exterior a aplicação de critérios morfológicos e geológicos estabelecidos no artigo 76 da Convenção, é chave para a caracterização e localização do pé do talude continental. Este, por sua vez, corresponde ao ponto de variação máxima do gradiente batimétrico na passagem do talude para a elevação continental. O limite exterior pode situar-se em até 60 milhas náuticas a partir do pé do talude continental desde que não ultrapasse a distância de 350 milhas náuticas a partir da linha de costa ou a distância de 100 milhas náuticas a partir da isobatimétrica de 2500 m (Figura 1). As províncias fisiográficas típicas de uma margem continental passiva constituem a plataforma, o talude e a elevação continental (Figura 1) que resultam de toda história da evolução tectônica e sedimentar desde os momentos primordiais de sua formação geralmente através de rifteamento e separação de continentes. A margem continental, recebendo principalmente detritos oriundos das massas emersas, constitui um prolongamento natural do território continental no sentido geológico, considerando-se todos os aspectos de sua evolução tectônica e sedimentológica.

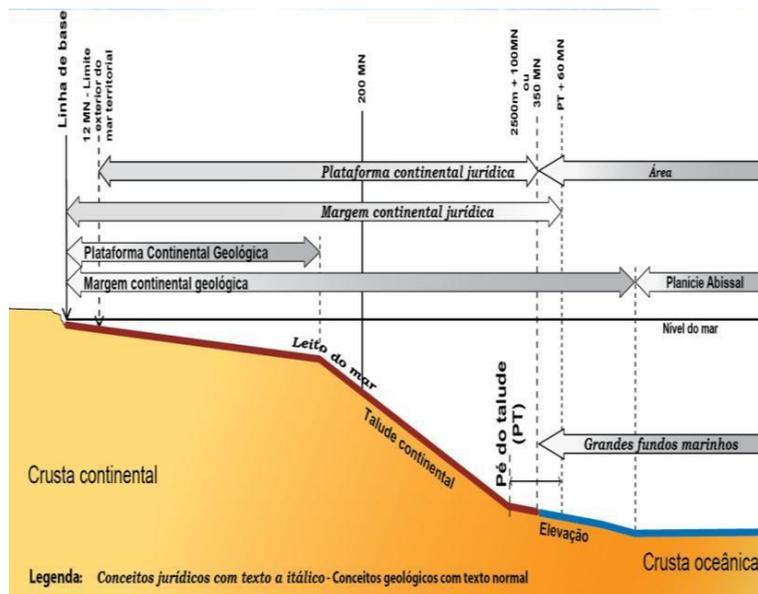


Figura 1: Espaços marítimos e elementos prescritos no artigo 76 para a definição da borda externa do território legal e plataforma continental jurídica.

Em um documento elaborado pela Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC), denominado "Scientific and Technical Guidelines of the Commission on the Limits of the Continental Shelf" (CLCS, 1999), a Comissão reconhece que a elevação continental constitui um corpo sedimentar em forma de cunha com gradientes inferiores aos do talude. Contudo comenta que muitas margens continentais apresentam morfologia distinta das típicas margens passivas e que a elevação continental pode não estar presente. Em alguns casos, a curvatura do fundo do mar no talude continental é constante e se estende continuamente até as planícies abissais e a mudança máxima de gradientes batimétricos engloba toda uma região e não somente um ponto, dificultando a localização do pé do talude. Algumas margens continentais apresentam leques submarinos ou cones submarinos. Os leques submarinos são depósitos sedimentares em margens continentais com formato radial em leque e geometria lobada. São formados por sedimentos vindos do continente que se depositam e passam sobre a plataforma continental fisiográfica e se dirigem para o mar profundo através de processos de transporte gravitacional de massa e por fluxos gravitacionais de sedimentos, dentre os quais se incluem os fluxos de detritos e os fluxos turbidíticos, que carregam quantidades anormalmente elevadas de sedimentos. Os leques submarinos podem atingir milhões de km<sup>2</sup> de área, constituindo uma das maiores feições geomorfológicas da Terra (Nichols, 2009). Considerando-se que os grandes leques submarinos se formam em margens continentais onde fatores tectônicos e climáticos resultaram em volumes anormais de sedimentos aportando para os oceanos e tendo-se em conta a importância deles na construção e modificação

morfológica das margens continentais, este trabalho tem o objetivo de caracterizar os leques submarinos como prolongamentos naturais submersos das margens continentais segundo os preceitos da Lei do Mar. Serão apresentados exemplos de alguns dos mais conhecidos leques submarinos mundiais discutindo-se sobre sua evolução tectono-sedimentar e particularmente serão analisados os leques submarinos da margem continental de Angola, com base em dados gerados pelo Projeto de Extensão da Plataforma Continental Angolana (PEPCA), conduzido e coordenado pela Comissão Interministerial de Delimitação e Demarcação dos Espaços Marítimos de Angola (CIDDEMA).

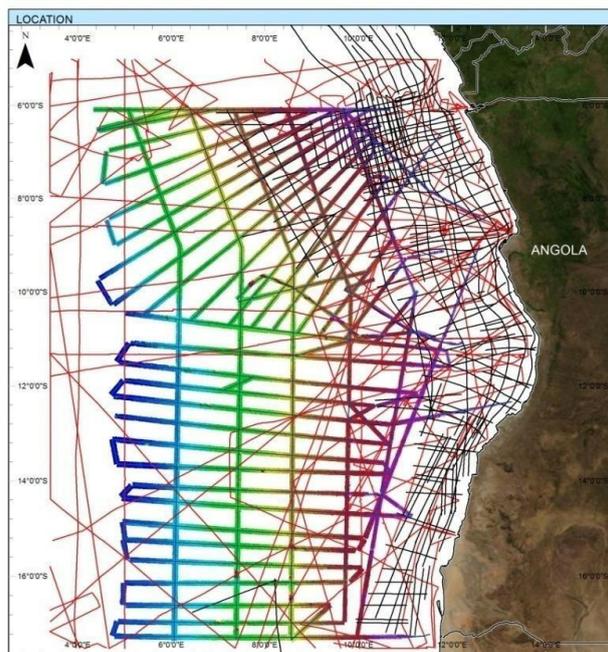
### Base de dados e metodologia

A análise dos processos envolvidos na evolução tectônica e sedimentar dos leques submarinos se baseia na compilação de informações de cinco dentre os maiores leques submarinos localizados em margens passivas cujas dimensões são listadas na tabela 1. Comparativamente apresenta-se uma caracterização dos leques submarinos da margem de Angola com base na análise de dados geofísicos adquiridos no Projeto de Extensão da Plataforma Continental Angolana (PEPCA), conduzido e coordenado pela Comissão Interministerial de Delimitação e Demarcação dos Espaços Marítimos de Angola (CIDDEMA). Esta base de dados inclui cerca de 26 mil km de linhas geofísicas com cinco sistemas simultaneamente fornecendo registros de batimetria, de perfilagem de subfundo e de sísmica multicanal além de magnetometria e gravimetria, não consideradas nesse trabalho.

Para confecção do mapa batimétrico e do modelo digital do terreno da margem continental de Angola, dados batimétricos de domínio público da base de dados do GEODAS (<https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/geodas/trackline.html>) e dados de batimetria extraídos de sísmica multicanal fornecidos pela empresa angolana de petróleo, Sonangol, foram integrados aos dados adquiridos (Figura 2). Os dados batimétricos foram interpolados gerando-se uma malha de batimetria com tamanho de célula de 1km X 1km, utilizando-se o software ArcGis.

Tabela 1 - Informações sobre os leques submarinos abordados neste trabalho.

Leque	Comprimento (km)	Largura Máxima (km)	Área (10 <sup>3</sup> ) km <sup>2</sup>	Espessura Máxima (m)	Volume (km <sup>3</sup> )	Prof. Água distal	Idade
Bengala	3000	830-1430	3000	16.500	12.5x10 <sup>6</sup>	5000	Eoceno
Indus	1500	<960	1100	> 9.000	1x10 <sup>6</sup>	4600	Oligoceno ou Mioceno ?
Amazonas	700	700	360	14.000	7x10 <sup>5</sup>	4800	Mioceno
Niger	200	470	140	12.000	?	4500	Eoceno
Congo	800	>400	300	5000	3,7x10 <sup>6</sup>	5100	Oligoceno

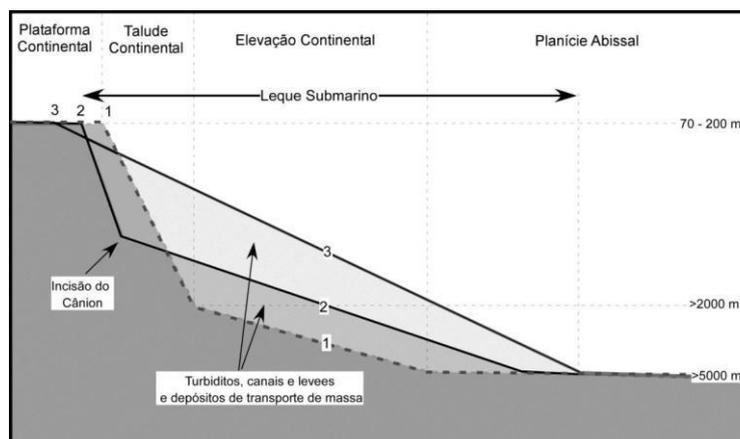


*Figura 2: Localização das linhas de aquisição de dados geofísicos do projeto PEPCA, incluindo batimetria multifeixe, 3,5 kHz e sísmica multicanal com mini-air gun (faixas coloridas) e outros dados de batimetria derivados da sísmica industrial 2D (linhas pretas) e da base pública do GEODAS (linhas vermelhas).*

### **Leques submarinos**

Os leques submarinos são feições submarinas que envolvem a evolução tectônica, morfológica e sedimentar do continente adjacente e o fundo submarino ao largo. O continente adjacente é o provedor, através do intemperismo e da erosão, dos sedimentos em quantidades anômalas que chegam ao fundo submarino bordejante. Constituem expressivas subunidades fisiográficas das margens continentais e se desenvolvem a partir da plataforma continental, sedimentando e progradando a mesma e avançando sobre o talude e elevação continental, tornando-os uníssonos, impedindo a distinção morfológica entre ambos, chegando a atingir as planícies abissais, como conseqüência direta da quantidade excessiva de sedimentos que sobrepassam (“by-pass”) a margem continental. Em regiões com aporte sedimentar anômalo vindo do continente, a sedimentação radialmente progradante associada aos leques submarinos provoca profunda modificação na morfologia original da margem, suavizando os taludes originalmente íngremes e avançando sobre as elevações continentais pretéritas criando um novo perfil batimétrico com gradiente suave e contínuo desde a quebra da plataforma até a planície abissal. Desta forma a quebra de gradiente batimétrico inicialmente existente na passagem entre talude continental e elevação, desaparece constituindo

porções de margem continental onde não ocorre a subunidade fisiográfica de elevação continental, conforme se observa esquematicamente na figura 3.



*Figura 3 - Esquema ilustrativo mostrando o avanço da progradação e agração sedimentar (1,2 e 3) no leque submarino desde a borda da plataforma continental em direção à planície abissal. A incisão do cânion é acompanhada por recuo erosivo na borda de plataforma (1,2, 3). As profundidades usuais da quebra de plataforma, base do talude e planície abissal são indicadas na figura, que não está em escala.*

A formação dos grandes leques submarinos invariavelmente está associada a modificações tectônicas nos continentes, provocando o soerguimento continental e reorganização da rede de drenagem, com recrudescimento da erosão fluvial, abrindo passagem através de altos estruturais e causando a incisão de canais e cânions na plataforma continental e talude. Estes grandes eventos envolvem extensas redes de drenagem e causam a transferência de imensos volumes de sedimentos derivados da decomposição (intemperismo) e da erosão da crosta continental para as margens continentais e regiões abissais. Shanmungan (2016) apresenta uma extensa e completa revisão crítica sobre leques submarinos, com base em trabalhos publicados entre 1950 e 2015 avaliando os diferentes modelos deposicionais com base em exemplos modernos e antigos. Ao final, conclui que cada leque submarino é único, em função de sua complexa origem deposicional. O autor demonstra que alguns conceitos amplamente aceitos não têm respaldo em dados e documentação experimental, como, por exemplo, a existência de correntes de turbidez de alta densidade transportando seixos de tamanhos diversos e areias nos ambientes marinhos modernos. Neste aspecto, conclui que os processos de transporte de massa, que incluem deslizamentos, desmoronamentos e fluxos de detritos, são os mecanismos viáveis para transportar clastos de cascalho e areia para o mar profundo. Por fim, chama a atenção para a importância de eventos de curta duração (minutos, horas ou dias) induzidos por terremotos, tsunamis, ciclones tropicais, impactos de meteoritos e outros, como importantes mecanismos controladores na deposição de sedimentos grossos em águas profundas. Os

leques submarinos estão conectados a cânions e ravinas no talude continental que constituem os principais condutos de sedimentos do continente para o mar profundo. Alguns cânions erodem a plataforma continental e estão ligados às desembocaduras das drenagens no litoral do continente, tornando-se sistemas ativos de transferência sedimentar para o mar profundo mesmo em períodos de mar alto. Canais submarinos conectados às desembocaduras dos cânions distribuem radialmente os sedimentos no leque submarino por meio de variações de seus talwegues de acordo com mudanças da posição geográfica do cânion alimentador e de mudanças inerentes ao nível do mar, clima e taxas de sedimentação, deformações submarinas e deslizamentos, entre outros fatores. Estes canais podem ser meandantes ou entrelaçados, apresentando caráter erosional ou agradacional (Normark, 1970, Damuth et al., 1988; Belderson et al., 1984). Os canais meandantes, em leques submarinos ricos em lama e com baixos gradientes, tendem a ser mais sinuosos do que aqueles presentes em leques submarinos arenosos, com gradientes elevados (Flood et al., 1991; Droz et al., 2003). A sinuosidade dos canais aumenta à medida que o gradiente batimétrico diminui (Pirmez e Flood, 1995). Os canais meandantes agradacionais desenvolvem diques marginais (levees) através do extravasamento lateral de sedimentos transportados pelas correntes de turbidez confinadas aos canais. Os levees são predominantemente lamosos e apresentam sismofácies transparentes, enquanto que sedimentos arenosos, com alta refletância acústica, depositam-se nos talwegues dos canais e nas bases dos sistemas de diques marginais (HARP Units) (Damuth et al., 1988; Flood et al., 1991). A maioria dos sistemas de canais e levees nos grandes leques submarinos mostram eventos sucessivos de avulsão, gerando sistemas de canais e levees lateralmente justapostos, contudo o local (profundidade) e frequência das avulsões varia de um leque para outro (Kolla, 2007).

Na desembocadura dos canais meandantes, na porção distal dos leques submarinos, quando há acentuada diminuição dos gradientes batimétricos, ocorre a deposição dos lobos distais, normalmente arenosos, que se coalescem lateralmente, formando depósitos em lençol, já na passagem para as planícies abissais. Os pequenos canais distributários que alimentam estes lobos adquirem caráter erosivo e não mais apresentam diques marginais (Damuth e Flood, 1985; Droz et al., 2003). Na medida em que o leque submarino avança em direção à planície abissal, os depósitos arenosos coalescentes são superpostos por novos sistemas de canais e levees meandantes que avançam para além dos sistemas anteriores. Desta forma, a história de preenchimento sedimentar a partir dos estágios iniciais de estabelecimento dos leques submarinos mostra que os intervalos estratigráficos inferiores apresentam camadas relativamente planas, representativas de ambientes marinhos profundos distantes da área fonte enquanto que os intervalos superiores

apresentam as assinaturas dos canais e leves, cujas dimensões aumentam para intervalos estratigráficos superiores, indicando a progressiva acumulação sedimentar no leque e diminuição dos gradientes batimétricos, que favorecem o meandramento dos canais e formação de leves, conforme se observa nos leques submarinos do Amazonas (Hiscott et al, 1997), do Níger (Zhao et al.; 2012; Zhang et al., 2016) e do Congo (Droz et al., 2003). Em virtude das altas taxas de sedimentação nas margens adjacentes aos leques submarinos, que podem até mesmo ultrapassar 1m/ka, como se observa no Amazonas (Figueiredo et al., 2009; Gorini et al., 2014), é comum a ocorrência de processos gravitacionais de transporte de massa e a deformação por tectônica gravitacional de argilas (Perovano et al., 2009; Reis et al., 2010, 2016). Estes processos são favorecidos em leques ricos em lama, onde a expulsão de fluidos gera condições de sobrepressão de poros, diminuindo a resistência interna ao cisalhamento e causando a movimentação de imensas seções sedimentares sobre superfícies de destacamento (Perovano et al., 2009; Reis et al., 2010). Os movimentos de massa causam o solapamento e recuo erosivo dos taludes continentais, transferindo sedimentos para o mar profundo, podendo alimentar fluxos de detritos e correntes de turbidez. Esse recuo erosivo da quebra da plataforma e do talude continental pode ser inteiramente compensado por progradação sedimentar posterior de acordo com a continuidade da excessiva sedimentação. Estes processos de transporte de massa ocorrem também no próprio leque submarino, afetando, interrompendo e deslocando parte dos depósitos de canais e diques marginais (Silva et al., 2010, 2016). Desta forma, muitos leques submarinos são construídos por uma associação de processos de transporte de massa e fluxos turbidíticos, conforme exemplos no Amazonas (Silva et al., 2010, 2016), Níger (Cohen e Mc Clay, 1996; Sultan et al., 2007), Congo (Droz et al., 2003) entre outros. A deformação gravitacional de argilas ocorre em escala de bacia em virtude da sobrecarga sedimentar nos leques submarinos, gerando células gravitacionais com um domínio proximal distensivo, afetado por falhas normais e um domínio distal compressivo, deformado por falhas de empurrão e dobramentos (Perovano et al., 2009; Reis et al., 2010). Estas estruturas se enraízam em uma ou mais superfícies de destacamento e são reativadas à medida em que ocorrem pulsos volumosos de sedimentação sobre o leque (Perovano et al., 2009; Reis et al., 2010). A conjugação destes processos de tectônica gravitacional, transporte de massa e fluxos gravitacionais de sedimentos provoca grandes modificações na superfície batimétrica dos leques submarinos, gerando relevos locais que podem interromper o gradiente suavizado da margem continental nestas áreas.

### Leque Submarino de Bengala

O maior leque submarino do mundo é o de Bengala, alimentado pelos rios Ganges e Brahmaputra e se estende por cerca de 3000 km, atingindo largura de até 1430 km, cobrindo uma área de até 3 milhões de km<sup>2</sup> (Curry et al., 2003) desde a borda da plataforma até a isobatimétrica de 5000 m (Figura 4). O leque está conectado ao cânion Swatch of no Ground que atravessa toda a plataforma continental, chegando até às proximidades da linha de costa, em lâmina d'água de 10 m, o que faz com que este seja um leque em atividade, recebendo sedimentos mesmo em períodos de nível de mar alto como o atual (Fauquembergue et al., 2019). Os gradientes variam entre 5,7 m/km a 1m/km entre o leque superior e o inferior. Sua origem tem início no Eoceno após a colisão da Índia com a Ásia e o soergimento dos Himalaias (Curry, 1994), levando imensos volumes de sedimentos erodidos da porção leste dos Himalaias para a Baía de Bengala, onde o depocentro atinge até 16,5 km de espessura (Curry et al., 2003). O volume total de sedimentos estimados no leque variam entre 7 milhões de km<sup>3</sup> (Einsele et al., 1996) a 13 milhões de km<sup>3</sup> (Curry, 1994).

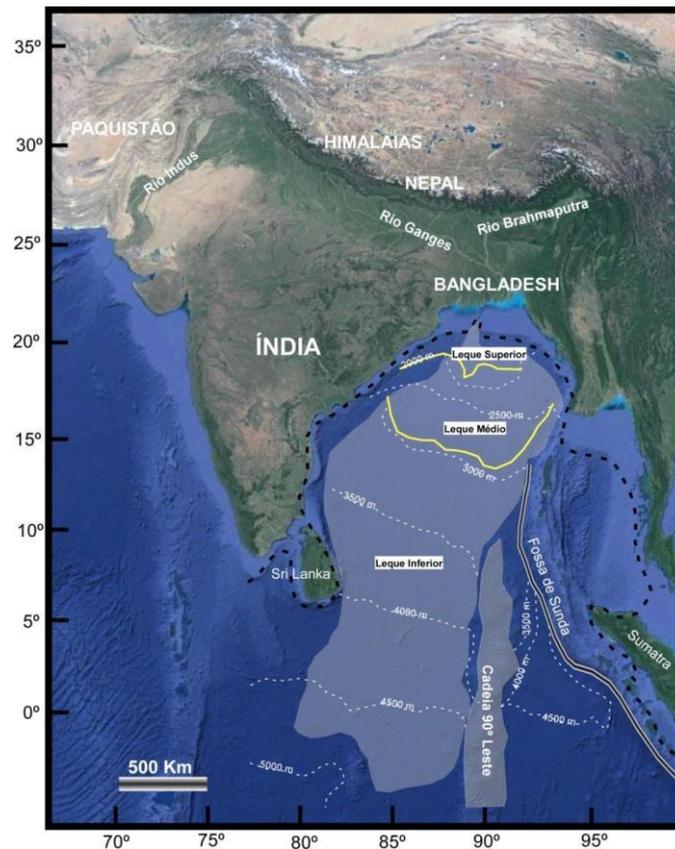


Figura 4 - Leque Submarino de Bengala alimentado pelos rios Ganges e Brahmaputra que desemboca em Bangladesh. O leque se estende por quase 3000 km até profundidades em torno de 5000 m, sendo limitado a leste pela cadeia vulcânica de 90° Leste e pela fossa submarina de Sunda. A linha tracejada preta marca a quebra da plataforma continental (Figura compilada a partir de informações de Einsele et al., 1996).

### Leque Submarino do Indus

O Indus é o segundo maior leque submarino do mundo, com comprimento de 1500 km e largura máxima de 960 km, perfazendo uma área de  $1,1 \times 10^6 \text{ km}^2$  (Figura 5). O leque está conectado ao cânion do Indus, que atravessa quase toda a plataforma continental chegando perto de 25 km da linha de costa. Este leque submarino registra a história deposicional dos sedimentos erodidos da porção oeste dos Himalaias, após a colisão da Índia com a Ásia desde o Eoceno (~50 Ma) (Clift et al., 2002). Durante o Mioceno Médio, as maiores taxas de acumulação refletem o soerguimento da área fonte e aumento da precipitação devido ao fortalecimento do sistema monções (Clift et al., 2002). As maiores espessuras sedimentares atingem 12 km na porção externa da plataforma (Clift et al. 2002) e o volume total estimado de sedimentos pode atingir 1 milhão de  $\text{km}^3$ . Clift et al. (2002) mostram o contraste entre uma unidade sedimentar basal conformante sobre sedimentos do Paleógeno, interpretada como turbiditos distais, sobreposta por sequências sedimentares com canais e leves presentes a partir do Mioceno Médio, observando-se o aumento nas dimensões dos leves a partir do Mioceno Superior e continuamente crescentes durante o Plioceno. Pelo menos cinco complexos de canais e leves estão presentes na porção superior deste leque submarino que representa os últimos 5.9 Ma (Mioceno tardio ao presente). Os canais meandranes do Indus sofreram grandes avulsões nas proximidades das suas desembocaduras e, após avulsão, o canal antigo é abandonado e permanece preservado em suas porções mais distais.

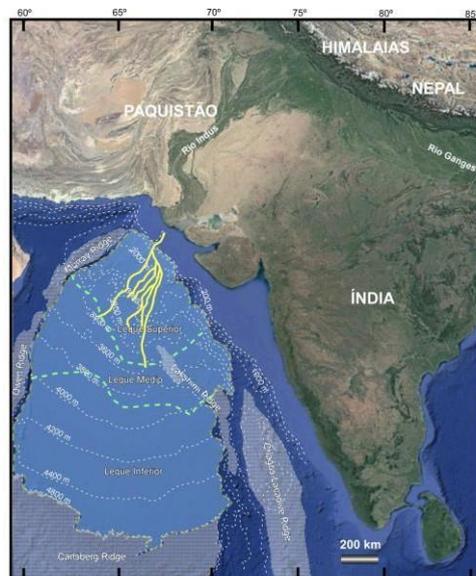


Figura 5 - O leque submarino do Indus se estende por cerca de 1500 km até profundidades de 4800m, sendo limitado a leste pela cadeia de Chagos-Lacadive, a oeste pelas cadeias de Owen e Murray e a sul pela cadeia de Carlsberg. Os canais meandranes com leves no leque superior, têm continuidade nos leques médio e inferior, diminuindo progressivamente as dimensões dos leves até desaparecerem por completo ao final do leque inferior, onde depositam-se os lobos distais (Figura compilada a partir de informações de Kolla e Coumes, 1984).

### Leque Submarino do Níger

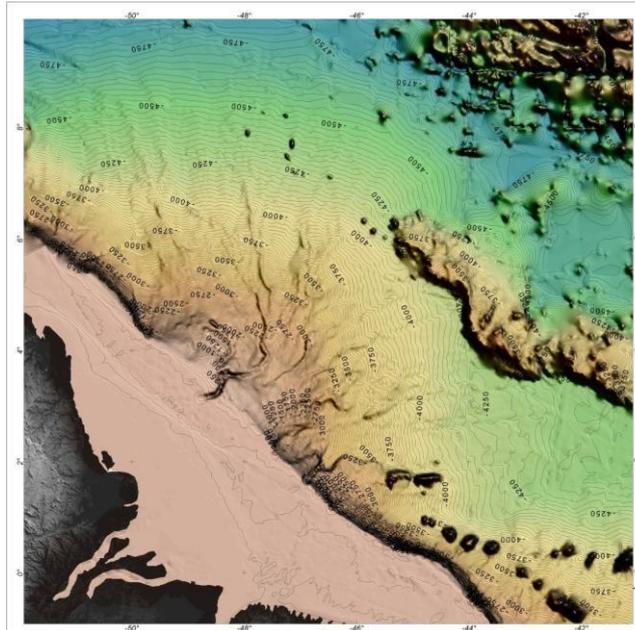
O leque submarino do Níger na costa equatorial do oeste da África (Figura 6) se estende por cerca de 200 km a partir da borda da plataforma continental, apresentando área de 140 mil km<sup>2</sup> e espessura de até 12 km (Hooper et al., 2002). O leque ocorre em continuidade com a calha estrutural de Benue no continente que recebe todos os sedimentos da bacia do Níger e encaminha o Rio Níger para o Atlântico. A calha de Benue constitui o braço de uma junção tríplice formada durante as fases iniciais de abertura do Atlântico Equatorial durante o Cretáceo (Burke et al., 1971). A partir do Eoceno Superior ocorre o preenchimento da “fossa de Benue” e a sedimentação prograda através da plataforma continental e fundo submarino adjacente (Burke, 1972, Damuth, 1994) avançando, através de dois lobos principais, que coalescem em direção à planície abissal da Guiné em profundidades superiores a 4500 m de lâmina d'água (Gorini, 1977). Regionalmente, a margem continental da Nigéria vem sofrendo ativa deformação relacionada à tectônica gravitacional de argilas em resposta às altas taxas de sedimentação no leque submarino do Níger (Sultan et al., 2007). Espessas seções sedimentares estão se deslocando pela ação da gravidade, sobre superfícies de destacamento, gerando estruturas proximais distensivas e frentes de empurrão compressivas distais, ligadas por uma seção intermediária translacional, envolvendo cerca de 200 km de extensão do fundo submarino (Damuth, 1994; Hooper et al., 2002). Observa-se que a frente de deformação compressiva migrou para porções mais distais gerando um cinturão de empurrões e dobramentos que hoje se situa em torno de 3000 a 3500 m de lâmina d'água, deformando o fundo submarino. Um cinturão compressivo de deformação mais antigo encontra-se soterrado na porção mais proximal do leque, hoje em lâmina d'água de cerca de 2000 m, onde ocorrem dobramentos e diápiros de argila (Hooper et al., 2002). Esta tectônica gravitacional ativa tem induzido movimentos de massa na margem continental (Sultan et al, 2007).



Figura 6 - O Leque submarino do Níger se estende por cerca de 200 km delta do Níger que ocorre em continuidade com a calha estrutural de Benue no continente. O leque se estende até profundidades de 3000 m, onde situa-se a frente de deformação compressiva, com dobras e falhas de empurrão. Os canais meandantes e leves diminuem progressivamente em direção à bacia e ultrapassam a frente compressiva, permanecendo como pequenos canais erosivos sem diques marginais (Figura compilada a partir de informações de Hooper et al., 2002 e Heinio e Davies, 2007).

### **Leque Submarino do Amazonas**

A Bacia Amazônica tinha gradiente regional para oeste e sofreu uma inversão tectônica em função da subsidência da placa de Nazca e recrudescimento do soerguimento dos Andes, passando a drenar para leste a partir do Mioceno Médio a Tardio (Damuth and Kumar, 1975; Gorini,1977, Castro et al., 1978; Hoorn et al., 1995; Silva et al., 1999; Dobson et al., 2001; Figueiredo et al., 2009; Gorini et al., 2013), ou mais recentemente, no Plio-Pleistoceno (Rossetti et al., 2015; Latrubesse et al., 2010). Contudo, os sedimentos eram barrados a leste pelo Arco de Gurupá, e posteriormente, com a subsidência deste, os sedimentos ficaram aprisionados no Baixo de Marajó, até seu preenchimento total e “bypass” progredindo através da plataforma continental e atingindo o talude e oceano profundo através de inúmeros cânions e por processos de deslizamento submarino. A origem do leque submarino do Amazonas tem sido atribuída ao estabelecimento da drenagem transcontinental do rio Amazonas ocasionada pelo aumento na taxa de soerguimento dos Andes a partir do Mioceno Médio causando a re-orientação do rio para leste em direção ao oceano Atlântico (Gorini,1977,Castro et al., 1978; Silva et al., 1999; Dobson et al., 2001; Figueiredo et al., 2007; Figueiredo et al., 2009; Hoorn et al., 2017). As estimativas de idade do leque submarino variam entre 16.5 a 8 Ma (Damuth et al., 1983); 9.4 a 9 Ma (Hoorn et al., 2017) e 11.8 a 10.5 Ma, (Silva et al. 1999, Figueiredo et al., 2007, Figueiredo et al., 2009). O Leque submarino do Amazonas se estende por 700 km e está conectado ao cânion do Amazonas na quebra da plataforma continental (Damuth e Kumar, 1975). O cânion atualmente não tem ligação direta com a desembocadura atual do rio Amazonas portanto, a conexão da drenagem continental com o leque submarino ocorreu em período de mar abaixo do atual (em torno de -65 a -75m). Um cânion enterrado por sedimentos e do porte do cânion do Amazonas atual existe na quebra da plataforma continental do Amazonas. O leque atinge profundidades superiores a 4700 m recobrimdo uma área de cerca de 360.000 km<sup>2</sup> (Silva et al., 1999) (Figura 7). O leque possui um gradiente médio de 0,4o e um volume de sedimentos com cerca de 700.000 km<sup>3</sup> ( Damuth & Flood, 1985), com espessuras superiores a 10 km (Silva et al. 1999).



*Figura 7 – O leque submarino do Amazonas se estende por mais de 700 km avançando sobre a Planície Abissal de Demerara, atrás da elevação do Ceará. Seus sistemas de canais-diques marginais meandranes se irradiam lateralmente a partir do cânion do Amazonas e ocupam uma área de 360.000 km<sup>2</sup>.*

As taxas de sedimentação no leque submarino do Amazonas aumentaram consideravelmente entre o Plioceno Superior-Pleistoceno, passando de 0.34 m/ka para 1.22 m/ka respectivamente (Figueiredo et al., 2009; Gorini et al., 2014, Cruz et al., 2019). O volumoso aporte sedimentar foi responsável pela suavização do gradiente batimétrico original do talude e elevação continentais e pela formação da planície abissal de Demerara. A suavização do gradiente impossibilita a definição de um limite morfológico entre talude e elevação continental e deu condições para o desenvolvimento de sistemas de canais e leques meandranes no leque do Amazonas. Os canais meandranes sofrem avulsão na parte superior do leque, abandonando os segmentos antigos que permanecem inativos. A tectônica gravitacional de argilas afeta regionalmente o leque do Amazonas, causando o deslocamento de espessas seções sedimentares sobre três superfícies de destacamento (Perovano et al., 2009; Reis et al., 2010, 2016), formando falhas normais na porção proximal do leque e falhas de empurrão em sua porção mediana. Estas geram uma frente compressiva, deformando o fundo submarino em torno de 2000 m de lâmina d'água e gerando escarpas com até 500 m de relevo relativo local. Inúmeros depósitos de movimentos de massa (MTDs) são intercalados com os sistemas de canais e leques (Silva et al., 2010, 2016). Alguns destes MTDs são derivados de deslizamentos e desmoronamentos do talude continental adjacente ao leque enquanto que outros são derivados das deformações gravitacionais na frente compressiva. Em conjunto foram mapeados extensos e espessos

depósitos de MTDs sobrepostos no leque do Amazonas, denominados de complexos de leques submarinos (Silva et al., 2010, 2016; Reis et al., 2016). Estes complexos de MTDs atingem centenas de km de extensão e envolvem volumes consideráveis com mais de 34.000 km<sup>3</sup> (Silva et al., 2016).

### **Leques submarinos na margem continental de Angola**

A margem continental de Angola entre as latitudes de aproximadamente 5° S, no seu limite com o Congo ao norte e 17,5° S, no limite com a Namíbia ao sul, apresenta dois setores morfologicamente distintos separados entre si pelas montanhas submarinas Sumbe (Figura 8). No setor ao norte das montanhas Sumbe a plataforma continental fisiográfica possui largura variando entre 50 a 70 km sendo mais larga, nas proximidades do cânion do rio Congo. Isso se deve a centros de progradação sedimentar ao sul do rio Congo e ao largo da Bacia do Kwanza (Figura 9). Neste setor situa-se a maior extensão do platô de Angola, entre a borda da plataforma e a isóbata de 3.000 m, onde o fundo submarino é extremamente irregular devido à deformação associada ao diapirismo de sal. Cânions submarinos indentaram a plataforma continental se dirigindo ao platô de Angola e passaram sobre ele erodindo e sedimentando e deixando atrás de si, canais abandonados. A feição dominante da margem continental neste setor é o leque submarino do Congo, que se interdigita lateralmente para sul com o leque submarino do Kwanza (Figura 9).

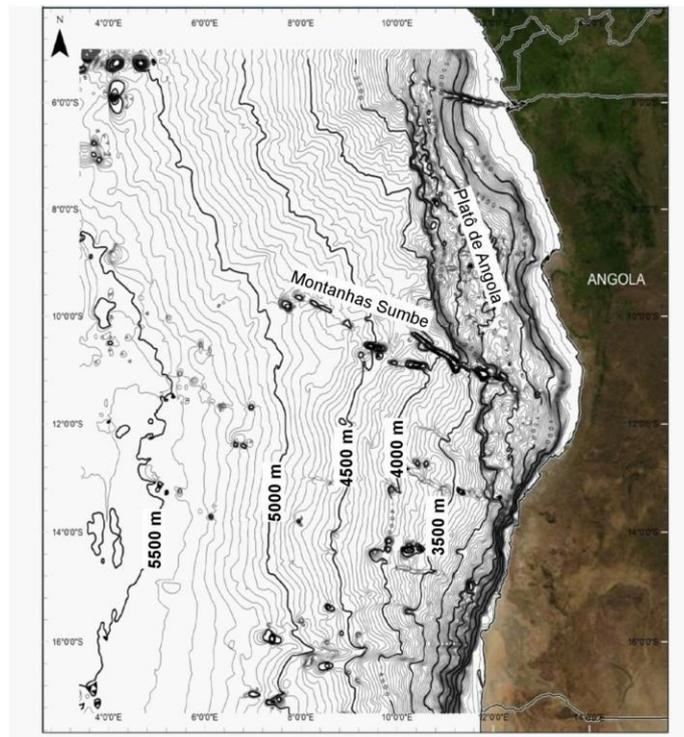
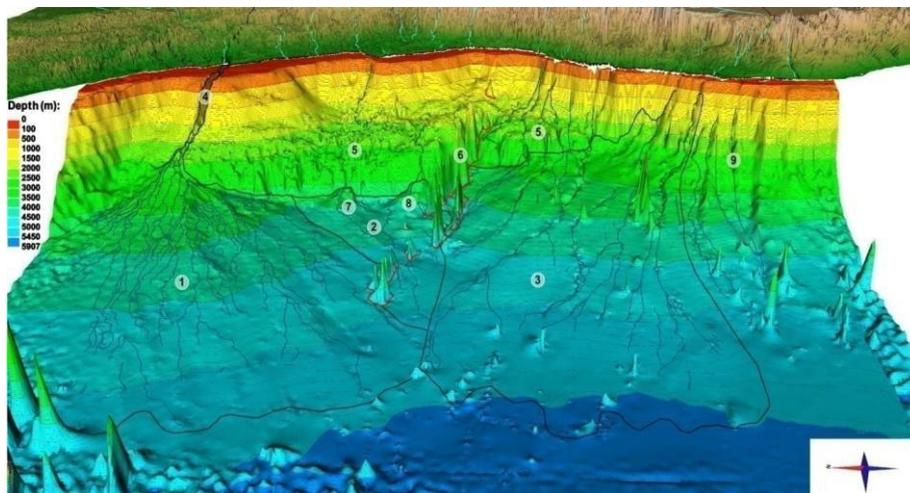


Figura 8 – Batimetria da margem continental de Angola. Espaçamento entre as isobatas a cada 50 m.

O leque submarino do Congo, homônimo do Rio Congo é o mais extenso sistema turbidítico da margem continental de Angola. Constitui uma extensa acumulação sedimentar alimentada pelo cânion submarino do Congo, que está diretamente conectado com o estuário do rio Congo, atravessando a plataforma continental e o platô de Angola (Figura 9). O cânion possui largura de até 35 km e relevo relativo de até 1400m na plataforma continental. Em sua passagem sobre o platô de Angola ele deposita tantos sedimentos que oblitera quase que totalmente as irregularidades do diapirismo na superfície do platô e, praticamente, desaparece com a escarpa que delinea o seu término. Em sua desembocadura na borda do platô de Angola, o cânion se abre em uma profusão de canais com diques marginais, que se irradiam no fundo submarino em formato de leque. Cada um desses canais se ligou diretamente ao cânion submarino de forma única em tempos geológicos distintos (Droz et al., 2003). Todos os canais são contínuos, meandranes e com diques marginais, denotando um baixo gradiente que diminui gradativamente em direção à planície abissal (Figura 9). O leque possui largura superior a 400 km e se estende por até 800 km perfazendo uma área total de cerca de 500 mil km<sup>2</sup> (referência). A irradiação de inúmeros canais meandranes (“channelleves”) é responsável pela formação do fundo semi-circular da frente do leque submarino (Figuras 9).



*Figura 9 – Fisiografia da margem continental de Angola. 1 - Leque Submarino do Congo, 2 - Complexo de Leques Submarinos de Kwanza, 3 -Complexos de Leques Submarinos de Benguela e Namibe, 4- Cânion do Congo, 5 – Platô de Angola, 6 - Montes submarinos Sumbe, 7 - Complexo turbidítico do Kwanza, 8 - Complexo turbidítico Longa/Cuvo. A Planície Abissal de Angola encontra-se representada pela cor azul mais escura.*

Coalescendo com o leque submarino do Congo, entre ele e as montanhas submarinas Sumbe, desenvolve-se o complexo de leques submarinos do Kwanza, que é alimentado por dois cânions que atravessam a plataforma continental e o platô de Angola. Estes cânions estiveram provavelmente

conectados, em períodos de nível de mar mais baixo do que o atual, com os rios Kwanza, Longa, Cuvo e Dande no continente adjacente (Figura 10). Canais meandранtes com diques marginais alimentam o complexo de leques submarinos que se desenvolvem imediatamente abaixo do platô de Angola, se estendendo para sudoeste por 400 km inclusive através das passagens batimétricas entre os montes submarinos da cadeia Sumbe (Figuras 9 e 10). Estratigraficamente o leque do Congo e o complexo de leques submarinos do Kwanza são sistemas independentes que se desenvolveram em posições geográficas distintas, conforme se confirma pela análise dos dados sísmicos (Figura 11).

A porção da margem continental de Angola ao sul das montanhas Sumbe tem marcantes diferenças com a margem dominada pelos complexos leques submarinos do Congo e do Kwanza. No sul, desenvolvem-se leques coalescentes denominados de Complexos de Leques Submarinos de Benguela e Namibe (Figura 10). Estes complexos de leques submarinos são formados por leques submarinos individualizados que se unem em seus cursos medianos e terminais, estendendo-se até as isóbatas de 5000 e 5200m e tiveram profunda influência na suavização da morfologia da margem angolana. A partir dessas isóbatas, a morfologia plana, com baixos gradientes topográficos (inferiores a 0,3%) indicam a transição para a planície abissal de Angola.

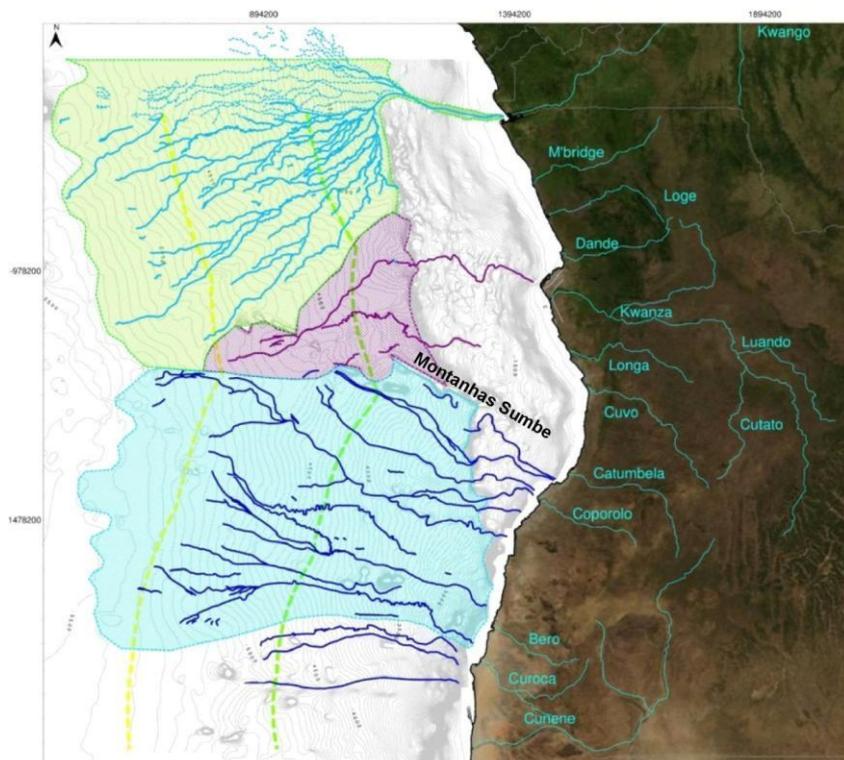


Figura 10 - Leques submarinos da margem continental de Angola. Em verde, Leque Submarino do Congo (ao norte). Em rosa Complexo de Leques Submarinos de Kwanza. Em azul Complexos de Leques Submarinos de Benguela e Namibe. As linhas tracejadas verde e amarela indicam os limites de 200 MN e 350 MN a partir da linha e base.

Diferentemente do Leque Submarino do Congo, os canais dos Complexos de Leques de Benguela e Namibe são ligados em a cânions formados por erosão remontante que culminaram praticamente eliminando a plataforma continental fisiográfica e colocando o litoral junto ao talude continental superior. Pelo menos quatro cânions/canais estiveram conectados à drenagem continental em períodos de mar baixo. São eles, de norte para sul, Caporolo, Impulo, Canunjamba e Bero (Figura 10). O Complexo de leques submarinos de Benguela se estende por cerca de 650 km até profundidades em torno de 5400 m de lâmina d'água, perfazendo cerca de 320 mil km<sup>2</sup> de área. O Complexo de Leques Coalescentes de Benguela se une ao Cone do Congo ao final das Montanhas Sumbe e ambos contribuem para a sedimentação e formação da Planície Abissal de Angola. Já no extremo sul da margem de Angola, situa-se o complexo de leques submarinos de Namibe sendo alimentado por quatro canais meandantes igualmente conectados a cânions na plataforma continental. Os rios Matere, Curoca e Cunene foram provavelmente conectados a estes cânions/canais submarinos que se estendem em direção à planície abissal por cerca de 450 km, totalizando cerca de 60 mil km<sup>2</sup> de área (Figura 10).

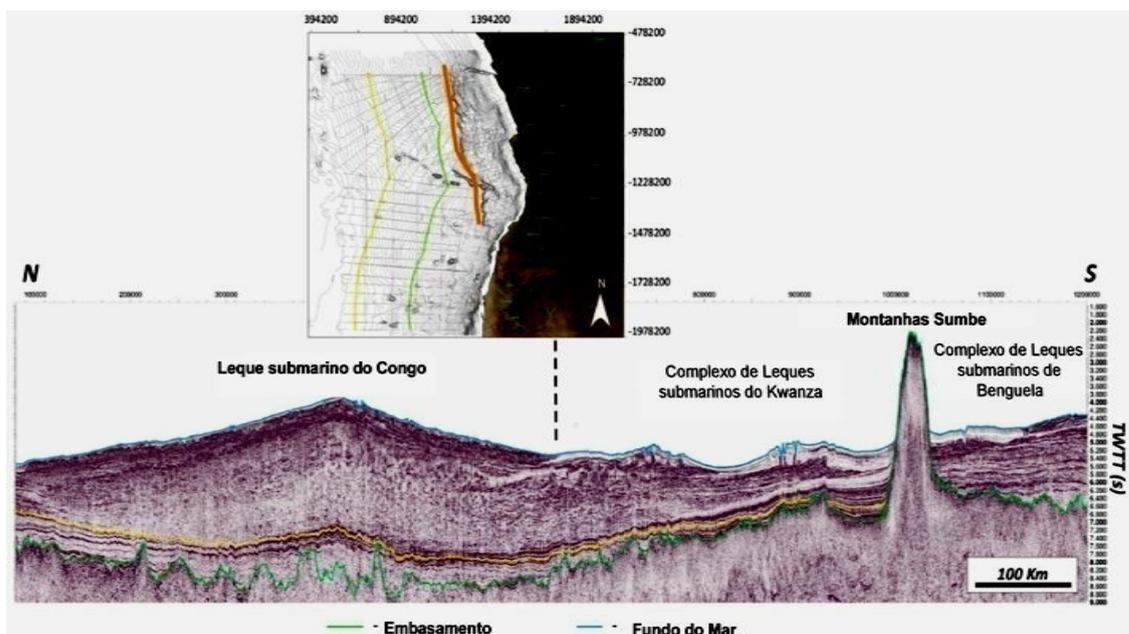


Figura 11 - Leques submarinos da margem continental de Angola lateralmente coalescentes. O mapa de localização indica a posição da linha sísmica paralela ao Platô de Angola (laranja). As linhas verde e amarela representam os limites de 200 MN e 350 MN a partir da linha de base respectivamente.

### Leques submarinos e a lei do mar

Os cones submarinos, ou leques de oceano profundo são subunidades fisiográficas presentes nas margens continentais de todos os oceanos, sempre

associados a um aporte anormal de sedimentos do continente para águas profundas. A quantidade de sedimentos é dita anormal quando é capaz de desenvolver uma morfologia contínua em direção ao oceano profundo de um modo geral sem mudança abrupta de gradiente, apresentando um perfil batimétrico contínuo desde o início do talude continental até a região da planície abissal, sem mostrar a presença de uma elevação continental, que corresponde a uma província fisiográfica intermediária entre o talude e a planície abissal.

O aporte anormal de sedimentos no fundo dos oceanos se deve principalmente a fatores tectônicos que fazem dispersar imensos volumes de sedimentos através de grandes bacias hidrográficas convergindo para uma porção da margem continental como é o caso dos Leque Submarino de Bengala do Amazonas, do Niger e do Indus. A sedimentação de volumes anormais de sedimentos ocorre a expensas do intemperismo e erosão da crosta continental, e pela transferência de sedimentos clásticos para o fundo oceânico. Ao movimento positivo da crosta continental causado pela denudação e reajustamento isostático, se contrapõe o enchimento na grande depressão marginal das margens continentais tipo Atlântico, herdada do contraste de densidade entre o continente menos denso e o fundo oceânico mais denso. Os fatores que regem o equilíbrio e o desequilíbrio entre o soerguimento da crosta continental e a subsidência da crosta oceânica são diversos: (a) taxas de denudação; (b) taxas de sedimentação; (c) taxas diferenciais de resposta da crosta à sobreposição ou alívio de carga; (d) deformação tectônica; (e) mudanças do geóide causadas por variações de densidade no interior do manto (topografia dinâmica). O soerguimento da crosta é acompanhado por intensificação da erosão e, como conseqüência, aumenta a taxa de transferência de sedimentos do continente para as depressões marginais, formando as províncias fisiográficas de plataforma, talude e elevação continentais, podendo dar origem aos leques submarinos de oceano profundo em regiões de aporte sedimentar anômalo, avançando sobre as planícies abissais. Nas margens continentais passivas a feição original mais importante é a quebra batimétrica de profundidades entre a plataforma continental fisiográfica e o pé do talude continental. Considerando-se as propriedades elásticas da crosta continental e da crosta oceânica, vemos que o contraste médio de desnível original durante a separação dos continentes é da ordem de 5.000m a 6.000m. Esta depressão original vai sendo preenchida por sedimentos e sofrendo subsidência, dando origem a espessos prismas sedimentares, que podem atingir 10 a 12 km, nos taludes continentais. Nos leques submarinos, após o enchimento da depressão original, a progradação sedimentar contínua leva à formação de uma morfologia peculiar, onde a plataforma continental finaliza num gradiente suave com uma diminuição muito gradativa em direção

ao oceano profundo, fazendo desaparecer morfologicamente a elevação continental, porventura outrora existente. Nesses casos, a margem continental, mostra um talude continental contínuo que termina em contato com o oceano profundo, geralmente com uma planície abissal formada por sedimentos terrígenos que avançam radialmente em toda extensão do leque submarino. Nos leques submarinos a margem com gradientes suaves não apresentam uma elevação continental, como se observa nos exemplos clássicos de margens continentais passivas. Assim sendo, não se pode determinar o pé do talude continental com base em critérios morfológicos apenas, conforme estabelece o Artigo 76 da CLCS como ponto de máxima mudança de gradiente na base do talude. No documento “Scientific and Technical Guidelines” elaborado pela CLCS (1999), em seus parágrafos 5.4.4 e 5.4.5, explicitamente menciona-se que o talude continental estende-se ao fundo submarino profundo onde uma elevação continental não está desenvolvida ou a elevação continental não existe. Nestes casos, a Comissão define que a base do talude continental converge para o topo do oceano profundo onde uma elevação continental não existe. Quando a base do talude continental não pode ser claramente determinada por evidências morfológicas e batimétricas, a Comissão recomenda a aplicação de dados geológicos e geofísicos para adicionar provas e argumentos para determinação da base do talude. Critérios baseados em processos sedimentares para determinação da base do talude têm sido aplicados por diversos estados costeiros, e foram aceitos pela Comissão de Limites, conforme observa Mosher et al. (2016). Após uma análise dos Sumários Executivos submetidos à CLCS, foi verificado que a Noruega e o Brasil consideraram que os leques de oceano profundo de Bjørnøya (Noruega), e Amazonas (Brasil) são componentes naturais da margem continental e localizaram os pés do talude continental nos seus términos fisiográficos, em contato com o fundo oceânico profundo. A Noruega no Leque Bjørnøya colocou a base do talude continental junto à planície abissal com o argumento de que depósitos de fluxos de detritos (“debrisflows”), identificados através de perfiladores sísmicos de alta resolução, são formados por processos típicos de taludes continentais, ocorrendo continuamente no leque até o oceano profundo. A CLCS concordou com tal posicionamento. A Comissão em suas recomendações à submissão do Brasil em 2007 reconheceu que o leque submarino do Amazonas é um componente natural da margem Brasileira, contudo sugeriu que os pés do talude deveriam ser posicionados na passagem entre o leque superior e médio, em profundidades de 2000 a 2500 m (Figura 7), onde ocorrem mudanças acentuadas de gradientes batimétricos. O Brasil não acatou a recomendação da Comissão e encaminhou novamente em 2017 uma Submissão parcial e revisada da margem equatorial, que ainda está sendo analisada.

A Comissão elaborou um documento onde reconhece que o Leque de Bengala representa uma situação especial, onde a isóbata de 200 m situa-se a uma distância média inferior a 20 MN e a maior proporção dos sedimentos e rochas sedimentares estão localizados na elevação continental. Neste caso a Comissão adota um outro critério ao invés da regra de 1% de sedimentos a partir do pé do talude continental. Estabelece que o limite externo deverá ser definido por uma distância de até 60 MN a partir da isópaca sedimentar de 3,5 km, não podendo ultrapassar o limite definido pela isópaca de 1 km, conforme se observa na figura 12.

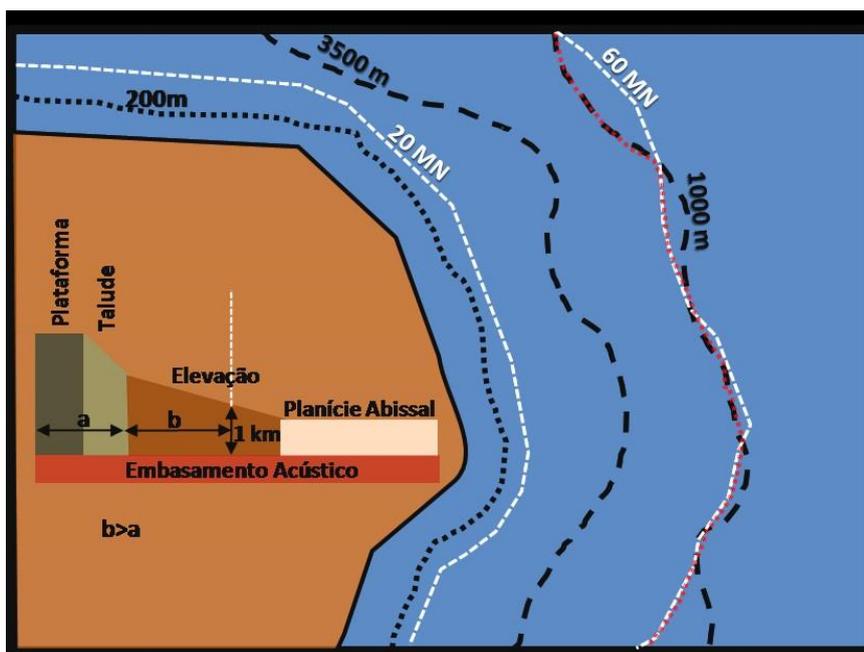
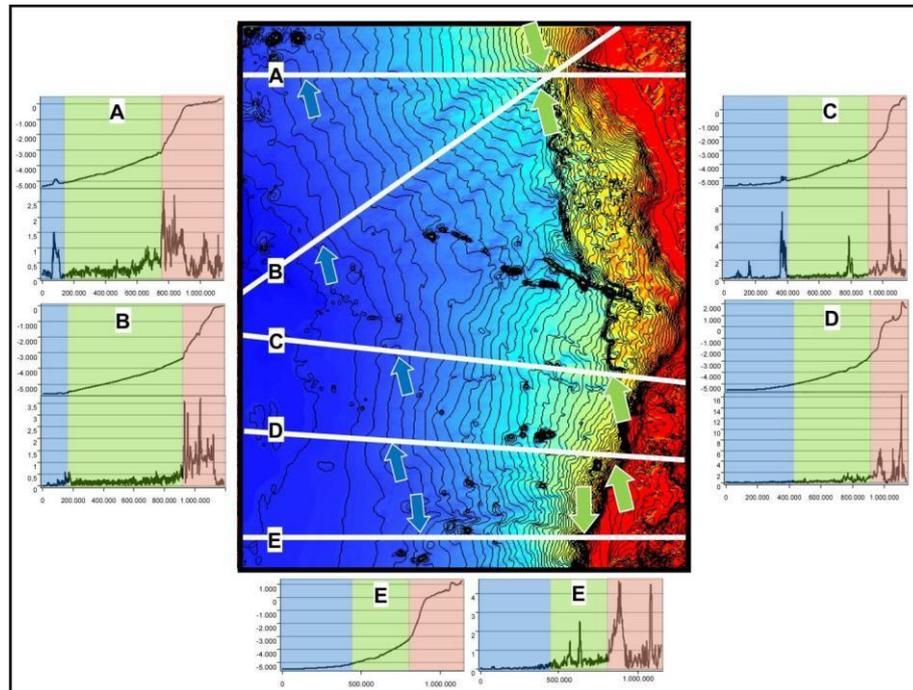


Figura 12 - Critérios para definição do pé do talude continental estabelecidos para o leque submarino de Bengala, onde a isóbata de 200 m está a uma distância inferior a 20 MN da linha de base. Neste caso a extensão da plataforma e talude continentais é menor do que a extensão da elevação continental ( $b > a$ ) e o limite externo poderá ser estabelecido a uma distância de 60 MN a partir de uma linha definida por uma espessura média de sedimentos de 3500 m (linha tracejada preta), limitando-se a uma linha definida por uma espessura média de 1000 m (linha tracejada preta). Segundo estes critérios o limite externo é definido pela linha pontilhada em vermelho.

Na margem continental de Angola, o leque submarino do Congo e os complexos de leques submarinos de Kwanza, Benguela e Namibe, suavizaram sobremaneira o talude continental desde a borda da plataforma até a planície abissal. Desta forma não se observa claramente a província fisiográfica representativa da elevação continental. Pode-se determinar uma subdivisão da margem em talude superior e inferior, passando-se diretamente para a planície abissal (Figura 13). Os gradientes no talude superior são superiores a  $0,5^\circ$  e no talude inferior variam entre  $0,3$  a  $0,5^\circ$  em média. A passagem para a planície

abissal ocorre na região de dejeção dos lobos distais turbidíticos, ao final dos canais meandrantos com diques marginais, onde os sedimentos predominantemente arenosos se depositam em gradientes baixos, inferiores a  $0,3^\circ$ . Segundo estes critérios, podemos situar nesta região a base do talude continental, onde, através da determinação de variação máxima do gradiente, busca-se localizar o pé do talude segundo os preceitos do artigo 76 da Lei do Mar e das Scientific and Technical Guidelines.



*Figura 13 - Perfis batimétricos e respectivos gradientes na margem continental de Angola. As cores vermelha, verde e azul nos perfis indicam o talude superior, inferior e a planície abissal respectivamente. O Talude superior nos perfis A, B e C mostra a escarpa externa do platô de Angola. As setas verde e azul indicam respectivamente a posição da base do talude superior e do fim do talude inferior, passando para a planície abissal de Angola.*

## Conclusões

Leques submarinos apresentam enormes acumulações sedimentares que representam a transferência da crosta continental nas áreas emersas para a área oceânica e, por causa disso, representam um grande potencial de riquezas minerais, principalmente de combustíveis fósseis (óleo e gás, gás clatratos) que devem ser assegurados para seus respectivos estados costeiros, sendo considerados componentes naturais das margens continentais à luz dos preceitos da Lei do Mar. Cones Submarinos desde a plataforma continental fisiográfica apresentam taludes contínuos que terminam no oceano profundo ao largo. Nestas regiões a elevação continental é inexistente. A continuidade, a suavidade e a diminuição gradacional do gradiente em direção ao oceano profundo é demonstrada pela presença de canais-diques marginais

meandranes presentes na grande maioria desses cones submarinos. A não existência de mudanças abruptas de gradiente no talude suave e contínuo com canais-diques marginais, mostra que a base do talude continental se acha em contato com o oceano profundo.

Crítérios geológicos e geofísicos alternativos devem ser utilizados para se determinar a base do talude continental em margens com gradientes contínuos e suaves onde não é possível se determinar o pé do talude continental com base somente em mudanças de gradiente. Os países costeiros têm apresentado em suas submissões alternativas para localização da base do talude observando por exemplo a presença de depósitos de movimentos de massa e outros processos típicos de taludes continentais. A Comissão de Limites da ONU em alguns casos já aceitou a adoção destes critérios e até mesmo elaborou um documento específico para o caso particular do leque submarino de Bengala-Bangladesh, com base na espessura de sedimentos. A margem continental de Angola apresenta características particulares, onde os leques submarinos tiveram profunda influência na modificação de sua morfologia original, suscitando a investigação de critérios alternativos para localização da base do talude justificados por processos sedimentares e morfológicos.

### **Referências**

- Belderson, R.H., Kenyon, N.H., Stride, A.H., 1984. A “braided” distributary system on the Orinoco deep-sea fan. *Marine Geology* 56, p. 195-206.
- Burke, K., Dessauvage, T.F.J., Whiteman, A.J., 1971. Opening of the Gulf of Guinea and geological history of the Benue depression and Niger Delta. *Nature physical Science* 233, 51–55. Burke, K.C.B., 1972, Longshore drift, submarine canyons, and submarine fans. *AAPG Bulletin* 56, 1975-1983.
- Castro, J.C. de, Miura, K., Braga, J.A.E., 1978. Stratigraphic and structural framework of the Foz do Amazonas Basin. In: 10th Annual Offshore Technology Conference. Offshore Technology Conference, Houston, Texas, pp. 1843–1847.
- CLCS, 1999, Scientific and Technical Guidelines of the Commission on the Limits of the Continental Shelf.  
[https://www.un.org/depts/los/clcs\\_new/commission\\_documents.htm](https://www.un.org/depts/los/clcs_new/commission_documents.htm). Acessado em 04/12/2019.
- Clift, P.D.; Lee, J.; Gaedicke, C.; Hildebrand, P., 2002, The stratigraphic evolution of the Indus Fan and the history of sedimentation in the Arabian Sea. *Marine Geophysical Researches*, 23, p. 223-245.
- Cohen, H.A. e Mc Clay, K.R., 1996; Niger delta shale tectonics. *Marine and Petroleum Geology*, 13, p. 313-328.
- Cruz, A.M.; Reis, A.T.; Suc, J.P.; Silva, C.G.; Praeg, D.; Granjeon, D.; Rabineau, M.; Popescu, S.M.; Gorini, C., 2019, Neogene evolution and demise of

- the Amapá carbonate platform, Amazon continental margin, Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, 105, p. 185-203.
- Curry, J. R., 1994, Sediment volume and mass beneath the Bay of Bengal: *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 125, p. 371-383.
- Curry, J.R., Emmel, F.J., and Moore, D.G., 2003, The Bengal Fan: morphology, geometry, stratigraphy, history and processes: *Marine and Petroleum Geology*, v. 19, p. 1191–1223.
- Damuth, J. E., & Flood, R. D., 1985, Amazon Fan, Atlantic Ocean. In A. H. Bouma, W. R. Normark, & N. E. Barnes (Eds.), *Submarine fans and related turbidite systems* (pp. 97–106). New York: Springer-Verlag.
- Damuth, J. E., and Kumar, N., 1975. Amazon Cone: morphology, sediments, growth pattern. *Geological Society of America Bulletin*, v. 86, pp. 863-878.
- Damuth, J. E., Kowsmann, R. O., Flood, R. D., Belderson, R. H., & Gorini, M. A., 1983, Age relationships of distributary channels on Amazon deep-sea fan: Implications for fan growth pattern. *Geology*, 11, 470–473.
- Damuth, J. E., Flood, R. D., Kowsmann, R. O., Belderson, R. H. and Gorini, M. A., 1988, Anatomy and growth pattern of Amazon deep-sea fan as revealed by long-range side-scan sonar (GLORIA) and high-resolution seismic studies, *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 72, 885–911.
- Damuth, J.E., 1994, Neogene gravity tectonics and depositional processes on the deep Niger Delta continental margin: *Marine and Petroleum Geology*, v. 11, p. 320–346, doi: 10.1016/0264-8172(94)90053-1.
- Dobson, D.M., Dickens, G.R., Rea, D.K., 2001. Terrigenous sediment on Ceara Rise: a Cenozoic record of South American orogeny and erosion. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 165:215–229. [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00161-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00161-9).
- Droz, L.; Marsset, T.; Ondreas, H.; Lopez, M.; Savoye, B.; Spy-Anderson, F.-L., 2003, Architecture of an active mud-rich turbidite system: The Zaire Fan (Congo–Angola margin southeast Atlantic): Results from Zai’Ango 1 and 2 cruises. *AAPG Bulletin*, v. 87, no. 7, p. 1145–1168.
- Einsele, G.; Ratschbacher, L.; Wetzel, A., 1996, The Himalaya-Bengal Fan denudation-accumulation system during the past 20 Ma. *Journal of Geology*, v. 104, p. 163-184.
- Fauquembergue, K.; Fournier, L.; Zaragosi, S.; Bassinot, F.; Kissel, C.; Malaizé, B.; Caley, T.; Moreno, E.; Bachelery, P., 2019, Factors controlling frequency of turbidites in the Bengal fan during the last 248 kyr cal BP: Clues from a presently inactive channel. *Marine Geology*, 415, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2019.105965>.
- Figueiredo, J., Zalan, P., Soares, E., 2007. Bacia da Foz do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras* 15, 299–309.

- Figueiredo, J., Hoorn, C., van der Ven, P., Soares, E., 2009. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: evidence from the Foz do Amazonas basin. *Geology* 37:619–622. <http://dx.doi.org/10.1130/G25567A.1>.
- Flood, R. D., P. L. Manley, R. O. Kowsmann, C. J. Appi, and C. Pirmez, 1991, Seismic facies and late Quaternary growth of the Amazon submarine fan, in P. Weimer and M. H. Link, eds., *Seismic facies and sedimentary processes of modern and ancient submarine fans*: New York, Springer, p. 415–433.
- Gorini, C., Haq, B.U., dos Reis, A.T., Silva, C.G., Cruz, A., Soares, E., Grangeon, D., 2013. Late Neogene sequence stratigraphic evolution of the Foz do Amazonas Basin, Brazil. *Terra Nova* 26 (3):179–185. <http://dx.doi.org/10.1111/ter.12083>.
- Gorini, M.A., 1977, *The Tectonic Fabric of the Equatorial Atlantic and Adjoining Continental Margins: Gulf of Guinea to Northeastern Brazil*. Columbia University, 365p. (Ph.D. thesis).
- Heinio, P., and Davies, R.J., 2007, Knickpoint migration in submarine channels in response to fold growth, western Niger Delta: *Marine and Petroleum Geology*, v. 24, p. 434–449.
- Hiscott, R.; Hall, F.; Pirmez, C., 1997, Turbidity-current overspill from the Amazon Channel: Texture of the silt/sand load, paleoflow from anisotropy of magnetic susceptibility, and implications for flow processes. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*. <http://155.10.2973/odp.proc.sr.155.202.1997>.
- Hooper, R.J.; Fitzsimmons, R.J.; Grant, N.; Vendeville, B.C., 2002, The role of deformation in controlling depositional patterns in the south-central Niger delta, West Africa. *Journal of Structural Geology*, 24, p. 847-859.
- Hoorn, C.; Bogotá-A, G.R.; Romero-Baez, M.; Lammertsma, E.I.; Flantua, S.G.A.; Dantas, E.L.; Dino, R.; do Carmo, D.A.; Chemale Jr, F., 2017, The Amazon at sea: Onset and stages of the Amazon River from a marine record, with special reference to Neogene plant turnover in the drainage basin. *Global and Planetary Change*, 153, p. 51-65.
- Kolla, V., & Coumes, F., 1984, Morpho-Acoustic and sedimentologic characteristics of the Indus Fan. *Geo-Marine Letters*, v. 3, p. 133-139.
- Kolla, V., 2007, A review of sinuous channel avulsion patterns in some major deep-sea fans and factors controlling them. *Marine and Petroleum Geology*, 24, p. 450-469.
- Latrubesse, E., Cozzuol, M., da Silva-Caminha, S., Rigsby, C., Absy, M., Jaramillo, C., 2010, The Late Miocene paleogeography of the Amazon Basin and the evolution of the Amazon River system. *Earth-Sci. Rev.* 99 (3–4):99–124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.005>.

- Mosher, D.C.; Laberg, J.S.; Murphy, A., 2016, The role of submarine landslides in the Law of the Sea. In: LAMARCHE, G. et al. (Eds), Submarine Mass Movements and Their Consequences, 7th International Symposium, Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol. 41, Springer, p. 15 – 26.
- Nichols, G., 2009, Sedimentology and Stratigraphy, second ed. Wiley-Blackwell, Chicchester, UK, p. 419.
- Normark, W.R., 1970, Growth patterns of deep-sea fans. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bulletin, 54, 2170-2195.
- Perovano, R., Reis, A.T., dos Silva, C.G., Vendeville, B.C., Gorini, C., Oliveira, V. De, Araújo, É.F. da S., 2009. O Processo de Colapso Gravitacional da Seção Marinha da Bacia da Foz do Amazonas - margem Equatorial Brasileira. Revista Brasileira de Geofísica 27 (3), 459–484.
- Pirmez, C. e Flood, R.D., 1995, Morphology and structure of Amazon Channel. Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports 155, p. 23-45.
- Reis, a. T., Perovano, R., Silva, C.G., Vendeville, B.C., Araujo, E., Gorini, C., Oliveira, V., 2010. Two-scale gravitational collapse in the Amazon Fan: a coupled system of gravity tectonics and mass-transport processes. J. Geol. Soc. 167 (3), 593–604. <https://doi.org/10.1144/0016-76492009-035>.
- Reis, A.T., Araújo, E., Silva, C.G., Cruz, A.M., Gorini, C., Droz, L., Migeon, S., Perovano, R., King, I., Bache, F., 2016. Effects of a regional décollement level for gravity tectonics on late Neogene to recent large-scale slope instabilities in the Foz do Amazonas Basin, Brazil. Mar. Petrol. Geol. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.04.011>.
- Rossetti, D.F., Cohen, M.C.L., Tatum, S.H., Sawakuchi, A.O., Cremon, É.H., Mittani, J.C.R., Bertani, T.C., Munita, C.J.A.S., Tudela, D.R.G., Yee, M., Moya, G., 2015, Mid-Late Pleistocene OSL chronology in western Amazonia and implications for the transcontinental Amazon pathway. Sediment. Geol. 330, 1–15.
- Shanmungan, G., 2016, Submarine fans: A critical retrospective (1950 - 2015), Journal of Palaeogeography 5(2) p. 110-184.
- Silva, S.R.P., Maciel, R.R., Severino, M.C.G., 1999. Cenozoic tectonics of Amazon mouth basin. Geo Mar. Lett. 18 (3), 256–262.
- Silva, G.G., Araujo, E., Reis, A.T., Perovano, R., Gorini, C., Vendeville, B.C., Albuquerque, N., 2010. Megaslides in the Foz do Amazonas Basin, Brazilian equatorial margin. In: Mosher, D.C., Shipp, C., Moscardelli, L., Chaytor, J., Baxter, C., Lee, H., Urgeles, R. (Eds.), Submarine Mass Movements and Their Consequences, vol. 28. pp. 581–591.
- Silva, C.C., Reis, A.T., dos Perovano, R.J., Gorini, M.A., Santos, M.V.M., dos Jeck, I.K., Tavares, A.A.A., Gorini, C., 2016. Multiple megaslide complexes and their significance for the Miocene stratigraphic evolution of the offshore

- Amazon Basin. In: Lamarche, G., Mountjoy, J., Bull, S., Hubble, T., Krastel, S., Lane, E., Micallef, A., Moscardelli, L., Mueller, C., Pecher, I., Woelz, S. (Eds.), *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, pp. 49–60.
- Sultan, N.; Voisset, M.; Marsset, T.; Cauquil, E.; Colliat, J., 2007, Potential role of compressional structures in generating submarine slope failures in the Niger Delta. *Marine Geology*, 237 p. 169-190.
- Zhang, J.; Wu, S.; Fan, T.; Fan, H.; Jiang, L.; Chen, C.; Wu, Q.; Lin, P., 2016, Research on the architecture of submarine fan lobes in the Niger Delta Basin offshore West Africa. *Journal of Palaeogeography*, 5(3) p., 185-204.
- Zhao, Y., Bao, Z., Wang, X., Sun, L., Yan, L., Chen, Z., 2012. Control factors of a submarine fan in Niger Basin. *Journal of Xi'an Shiyu University (Natural Science Edition)*, 27(2), 6-12.

## ARTIGO 2

### **Leques Submarinos da margem continental Angolana e sua importância na extensão da plataforma continental sob a lei do mar.**

#### **Resumo**

Os leques submarinos constituem extensos depocentros sedimentares formados pela acumulação de sedimentos derivados da denudação continental, muitas vezes em decorrência de modificações tectônicas e climáticas envolvendo amplas regiões dos continentes adjacentes. Por conseguinte, sob os preceitos estabelecidos na Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, devem ser considerados como componentes naturais da margem continental. A margem continental de Angola apresenta características peculiares, uma vez que sua morfologia foi profundamente modificada pelo aporte de imensos volumes sedimentares depositados no leque submarino do Congo e nos complexos de leques submarinos coalescentes de Kwanza, Benguela e Namibe. A suavização do relevo batimétrico associada à sedimentação nestes leques submarinos gerou um perfil batimétrico suave e contínuo desde a borda de plataforma até a planície abissal, impedindo a definição morfológica da elevação continental, conforme se observa nas clássicas margens continentais passivas. Desta forma, a determinação do pé do talude continental não pode ser feita aplicando-se somente critérios morfológicos para a margem continental Angolana, suscitando a utilização de conceitos baseados em processos sedimentares de mar profundo associados aos fluxos turbidíticos. Com base na análise de dados de batimetria de multi-feixe, perfilador de sub-fundo de 3,5 kHz e sísmica multicanal, foi possível mapear os canais submarinos meandantes e seus respectivos lobos distais que constituem os principais elementos de dispersão sedimentar dos leques submarinos. A presença de canais meandantes, com diques marginais bem desenvolvidos, indica a suavização do gradiente batimétrico e o contínuo e volumoso fluxo turbidítico confinado aos canais, enquanto que os lobos distais, no término do meandramento dos canais representa a quebra de gradiente, na passagem para a planície abissal, com a dispersão de sedimentos arenosos em lobos coalescentes. A localização da base do talude continental na região predominante de dejeção dos leques turbidíticos distais, apresenta-se como a melhor opção para determinação do limite exterior da margem continental de Angola aplicando-se os preceitos da Lei do Mar, considerando-se que o estado costeiro tem a prerrogativa de escolher o limite marítimo exterior que lhe seja mais favorável.

## **Abstract**

Submarine fans are large sedimentary deposits formed by the accumulation of sediments derived from continental denudation, often due to tectonic and climatic changes involving large regions of the adjacent continents. Therefore, under the provisions of the United Nations Convention on the Law of the Sea, they should be considered as natural components of the continental margin. The continental margin of Angola has peculiar characteristics, since its morphology has been profoundly modified by the input of huge sedimentary volumes deposited in the Congo submarine fan and in the coalescent submarine fan complexes of Kwanza, Benguela and Namibe. The smoothing of the bathymetric relief associated with sedimentation in these submarine fans generated a smooth and continuous bathymetric profile from the continental shelf edge to the abyssal plain, preventing the morphological definition of the continental elevation, as observed in classic passive continental margins. Thus, the determination of the foot of the continental slope cannot be done by applying only morphological criteria for the Angolan continental margin, leading to the use of concepts based on deep sea sedimentary processes associated with turbiditic flows. Based on the analysis of multi-beam bathymetry, 3.5 kHz subbottom profiling and multichannel seismic data, it was possible to map the meandering subsea channels and their respective distal lobes that constitute the main sedimentary dispersion elements of the submarine fans. . The presence of meandering channels, with well developed marginal levees, indicates the smoothing of the bathymetric gradient and the continuous and voluminous turbiditic flow confined to the channels, while the distal lobes, at the end of the meandering channels, represent a gradient break in the passage to the abyssal plain, with the dispersion of sandy sediments in coalescent lobes. The location of the base of the continental slope in the region of predominant distal turbiditic lobes dispersion is the best option for determining the outer limit of the continental margin of Angola applying the Law of the Sea, considering that the state coastal has the prerogative of choosing its most favorable external maritime boundary.

## Introdução

A **lei do mar** está estruturada dentro do direito internacional que providencia a base para os Estados costeiros no exercício dos seus direitos e deveres no uso dos Oceanos e na exploração-utilização dos seus recursos. Foi estabelecida através da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) criada em 1982, e do **artigo 76** desta Convenção (CNUDM, 1982). Os espaços marítimos definidos pela CNUDM compreendem: o Mar Territorial e sua Zona Contígua; a Zona Econômica Exclusiva (ZEE); a Plataforma Continental Jurídica; e o Alto Mar ou Área (Figura 1).

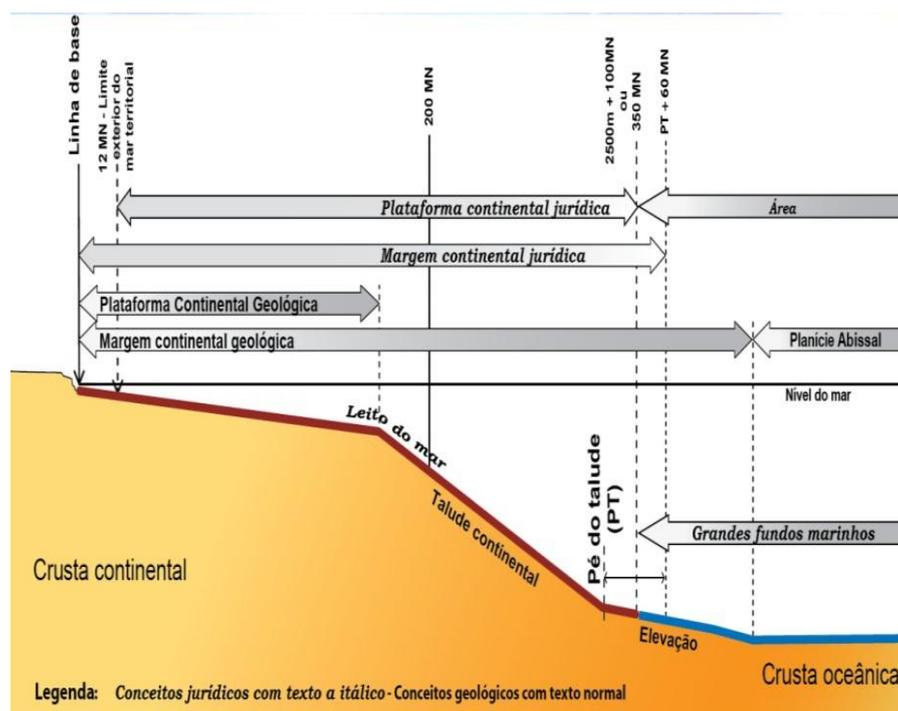


Figura 1: Espaços marítimos e elementos prescritos no artigo 76 para a definição da borda externa do território legal e plataforma continental jurídica: pé do talude continental mais 80 milhas náuticas (Fórmula de Hedberg).

Para definição destes espaços marítimos, os estados costeiros devem estabelecer suas linhas de base, que são definidas pela linha de costa durante a baixa-mar, ou por segmentos retos quando a linha de costa for muito irregular ou com presença de inúmeras ilhas em sua proximidade imediata. A partir da linha de base são estabelecidos os limites do Mar Territorial (12 milhas náuticas), da Zona Contígua (24 milhas náuticas) e da Zona Econômica Exclusiva (200 milhas náuticas) (Figura 1). Na ZEE a Convenção garante ao Estado costeiro soberania de exploração e aproveitamento, conservação e gestão de recursos naturais vivos ou não vivos, da coluna d'água, do leito marinho e de seu subsolo.

O **artigo 76** determina que a margem continental compreende "o prolongamento da massa territorial do Estado costeiro no fundo submarino e subfundo da plataforma continental (sentido geológico), talude e elevação continentais". Não inclui o oceano profundo (*deep ocean floor*) com suas cadeias oceânicas e subfundo associado.

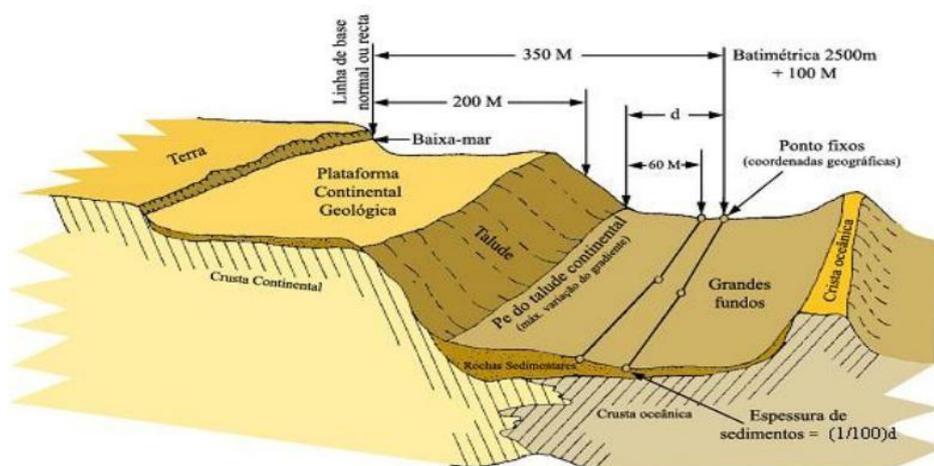
Quando a margem continental ultrapassar o limite de 200 milhas náuticas da ZEE, o estado costeiro deve estabelecer o limite externo de sua "plataforma continental jurídica", seguindo critérios estabelecidos na CNUDM. O Estado costeiro exerce direitos de soberania sobre a plataforma continental jurídica para efeitos de exploração e aproveitamento dos recursos naturais vivos e não vivos situados no leito marinho e em seu subsolo. Além das 200 milhas náuticas, o território submerso pode ser estendido até 350 milhas náuticas a partir da linha de base ou até uma distância de 100 milhas náuticas medidas a partir da isobatimétrica de 2.500 m (Figura 1).

O prolongamento do território submerso pode ser demonstrado segundo duas perspectivas: geomorfológica (morfologia do fundo submarino), ou geológica (crosta continental ou oceânica subjacente ou pela natureza dos processos sedimentares). Para demarcação do limite externo com base em critérios geomorfológicos deve-se determinar a base do talude continental e o pé do talude continental, a partir do conhecimento detalhado da morfologia do fundo submarino através de dados batimétricos e análise geomorfométrica (modelos digitais de terreno, mapas de declives e curvaturas).

O pé do talude continental deve ser determinado como o ponto de variação máxima do gradiente batimétrico dentro da região definida como base do talude (Figura 1). A uma distância de 60 milhas náuticas a partir do pé do talude continental determina-se o limite externo (fórmula de Hedberg). Opcionalmente, o limite externo pode ser determinado pela distância igual a 1% da espessura da rocha sedimentar ( $D/100$ ), também medida a partir do pé de talude continental (Fórmula de Gardner) (Figuras 1 e 2). O Estado costeiro pode adotar o limite externo que lhe garanta a maior extensão territorial segundo estes dois critérios (Hedberg ou Gardner).

Devido às peculiaridades das margens continentais nem sempre é possível definir com clareza a base do talude e o pé do talude continental, adotando-se somente os parâmetros morfológicos descritos no **Artigo 76**. O critério morfológico é difícil de ser aplicado em margens continentais onde não ocorrem variações claras de gradientes entre o talude continental e a elevação continental. Algumas particularidades são descritas e abordagens opcionais foram sugeridas em um documento elaborado pela Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC), denominado "*Scientific and Technical Guidelines of the Commission on the Limits of the Continental Shelf*" (CLCS, 1999). Em função disto, alguns estados costeiros têm utilizado outras informações baseadas, por exemplo, em processos sedimentares típicos de taludes continentais para definir a base do talude. Estas propostas têm sido consideradas favoravelmente pela CLPC (Mosher et al., 2016).

## PLATAFORMA CONTINENTAL



(adaptado de IHO TALOS Manual, 1993)

Figura 2: Espaços marítimos e elementos prescritos no artigo 76 para a definição da borda externa do território legal e plataforma continental jurídica: (1) pé do talude continental mais 60 milhas náuticas (Fórmula de Hedberg) ou (2) distância a partir do pé de talude continental igual a 1% da espessura da rocha sedimentar ( $D/100$ ) (a Fórmula de Gardner).

Em margens continentais onde se localizam extensos leques submarinos de mar profundo, usualmente os gradientes do talude continental são profundamente suavizados em função do imenso aporte sedimentar. Ademais, não existe menção no artigo 76 e nem nas Scientific and Technical Guidelines sobre os leques submarinos como componentes, ou prolongamentos naturais das margens continentais, mesmo levando-se em conta a extensão destes depósitos e suas espessuras que podem atingir dezenas de quilómetros, obviamente despertando o interesse dos Estados costeiros em estender ao máximo seus territórios submarinos nestas áreas.

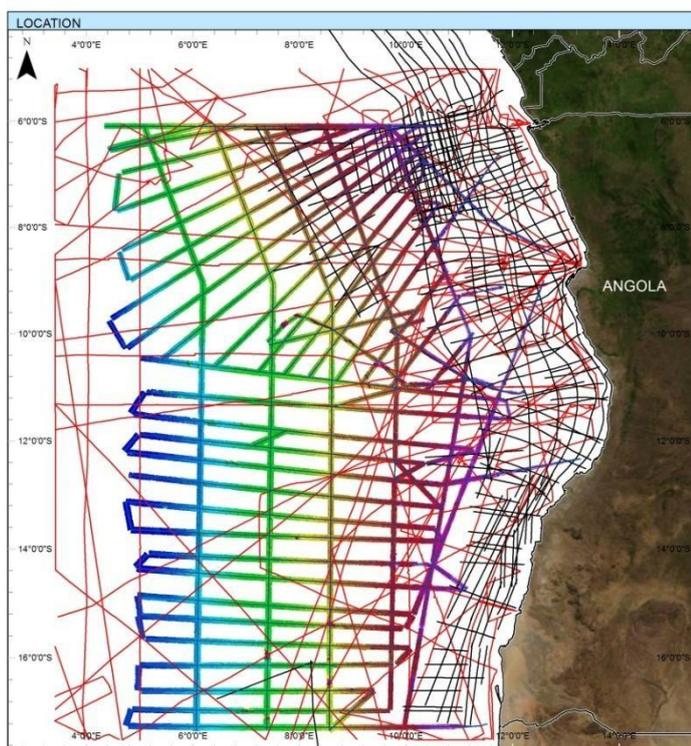
Processos de deslizamentos submarinos e deformação gravitacional são também comumente observados nos leques submarinos, criando variações de gradientes locais, que não representam a base do talude regional. Assim sendo, nestas áreas, critérios geológicos, baseados na caracterização dos processos deposicionais têm sido adotados por diversos países para se determinar a base do talude (p.ex. Brasil, Noruega, Irlanda, França, Costa do Marfim).

Tendo em vista as considerações acima, o presente artigo tem o objetivo de caracterizar os leques submarinos da margem de Angola como prolongamentos naturais da massa territorial, avaliando a importância destes leques na construção sedimentar da margem angolana. Com base nesta caracterização serão discutidos critérios que podem ser adotados para o estabelecimento do limite externo da margem de Angola e de outras margens continentais com características semelhantes. O artigo utiliza os dados gerados pelo Projeto de Extensão da Plataforma Continental Angolana (PEPCA), conduzido e coordenado pela Comissão Inter-ministerial de Delimitação e Demarcação dos Espaços Marítimos de Angola (CIDDEMA).

## BASE DE DADOS E METODOLOGIA

A aquisição de dados geofísicos coordenado pelo projeto PEPCA na margem continental de Angola ocorreu de Maio à Setembro de 2012, produzindo uma coletânea de dados geofísicos distintos que são a base do estudo que resultou na Submissão Angolana perante a Comissão sobre os Limites da Plataforma Continental das Nações Unidas no âmbito da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar ([https://www.un.org/Depts/los/clcs\\_new/submissions\\_files/ago69\\_2013/es\\_ago\\_en.pdf](https://www.un.org/Depts/los/clcs_new/submissions_files/ago69_2013/es_ago_en.pdf)).

No total, após 120 dias de operação, foram adquiridos cerca de 26 mil km de linhas batimétricas multifeixe, perfis de sísmica rasa e perfilador de subfundo de 3,5 kHz e 15 mil km de perfis de sísmica multicanal. Para confecção do mapa batimétrico e do modelo digital do terreno da margem continental de Angola, dados batimétricos de domínio público da base de dados do GEODAS (<https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/geodas/trackline.html>) e dados de batimetria extraídos de sísmica multicanal fornecidos pela empresa angolana de petróleo, Sonangol, foram integrados aos dados adquiridos (Figura 3). Neste artigo são analisados os dados batimétricos e de perfilador de subfundo (3,5 kHz), para estudo da morfologia e dos processos sedimentares dominantes na margem continental de Angola. Os dados batimétricos foram interpolados gerando-se uma malha de batimetria com tamanho de célula de 1km X 1km, utilizando-se o software ArcGis.



*Figura 3: Localização das linhas de aquisição de dados geofísicos do projeto PEPCA, incluindo batimetria multifeixe, 3,5 kHz e sísmica multicanal com mini-air gun (faixas coloridas) e outros dados de batimetria derivados da sísmica industrial 2D (linhas pretas) e da base pública do GEODAS (linhas vermelhas).*

O reconhecimento e a análise dos processos deposicionais de fundo e subfundo atuantes em escala regional são importantes para a compreensão dos fatores que

condicionam a evolução moderna da margem continental de Angola. Para tanto, os dados de perfilador de sub-fundo 3,5 kHz, associados aos de batimetria multifeixe adquiridos, foram analisados para construção de um mapa de processos sedimentares. A metodologia adotada seguiu aquela desenvolvida por Damuth & Hayes (1977) e Damuth (1980) e posteriormente utilizada por diversos autores, tais como Gaullier & Bellaiche (1998) e Loncke et al. (2009). Esta metodologia se baseia na classificação de ecofácies (ou eco-caráter) de 3,5 kHz como ferramenta para inferência dos processos deposicionais atuantes no fundo e subfundo marinho.

A análise dos dados de sísmica rasa 3,5 kHz na margem Angolana, teve por base **(i)** o grau de refletividade e continuidade de refletores de fundo e subfundo, **(ii)** a geometria externa e assinaturas acústicas internas dos depósitos, e **(iii)** a micromorfologia do fundo submarino (neste caso auxiliado por dados batimétricos multifeixe).

## **RESULTADOS**

### **Morfologia da Margem Continental de Angola**

A margem continental de Angola entre as latitudes de aproximadamente 5° S, no seu limite com o Congo ao norte e 17,5° S, no limite com a Namíbia ao sul, apresenta dois setores morfologicamente distintos (Figura 4). Ao norte de 14° S desenvolve-se o platô de Angola, entre a borda da plataforma (~200 m) e a isóbata de 3.000 m, onde o fundo submarino é extremamente irregular devido à deformação associada ao diapirismo de sal. Neste setor a plataforma possui largura variando entre 50 a 70 km, sendo mais larga ao norte, nas proximidades do cânion do rio Congo. Ao sul do platô de Angola, a plataforma possui largura inferior a 30 km, dando lugar a um talude superior extremamente íngreme com gradientes superiores a 15°.

A cadeia de montes submarinos Sumbe, alinhados na direção NW-SE segmenta a porção sul do platô de Angola e constitui uma importante feição morfológica que serviu parcialmente como barreira fisiográfica para os sedimentos dos leques submarinos do Congo e do Kwanza ao norte (Figura 5). Ao sul dos montes submarinos Sumbe desenvolvem-se os complexos de leques submarinos de Benguela e Namibe (Figura 5). Estes leques submarinos e complexos de leques submarinos se estendem até a isóbata de 5 km e tiveram profunda influência na suavização da morfologia da margem angolana. A partir da isóbata de 5 km a morfologia plana, com baixos gradientes topográficos inferiores a 0,3° indicam a passagem para a planície abissal de Angola.

### Os Complexos Turbidíticos da Margem Continental de Angola

O leque submarino do Congo é o mais extenso sistema turbidítico da margem continental de Angola. Constitui um extenso depocentro sedimentar alimentado pelo cânion submarino do Congo que está diretamente conectado com o estuário do rio Congo, atravessando a plataforma continental e o platô de Angola (Figura 5). O cânion possui largura de até 35 km e relevo relativo de até 1400m na plataforma continental. Em sua desembocadura, na borda do platô de Angola, está conectado a uma série de canais submarinos meandantes, com diques marginais, que se distribuem radialmente em direção à planície abissal (Figura 5). O leque possui largura superior a 400 km e se estende por até 800 km perfazendo uma área total de cerca de 500 mil km<sup>2</sup> (Figura 5).

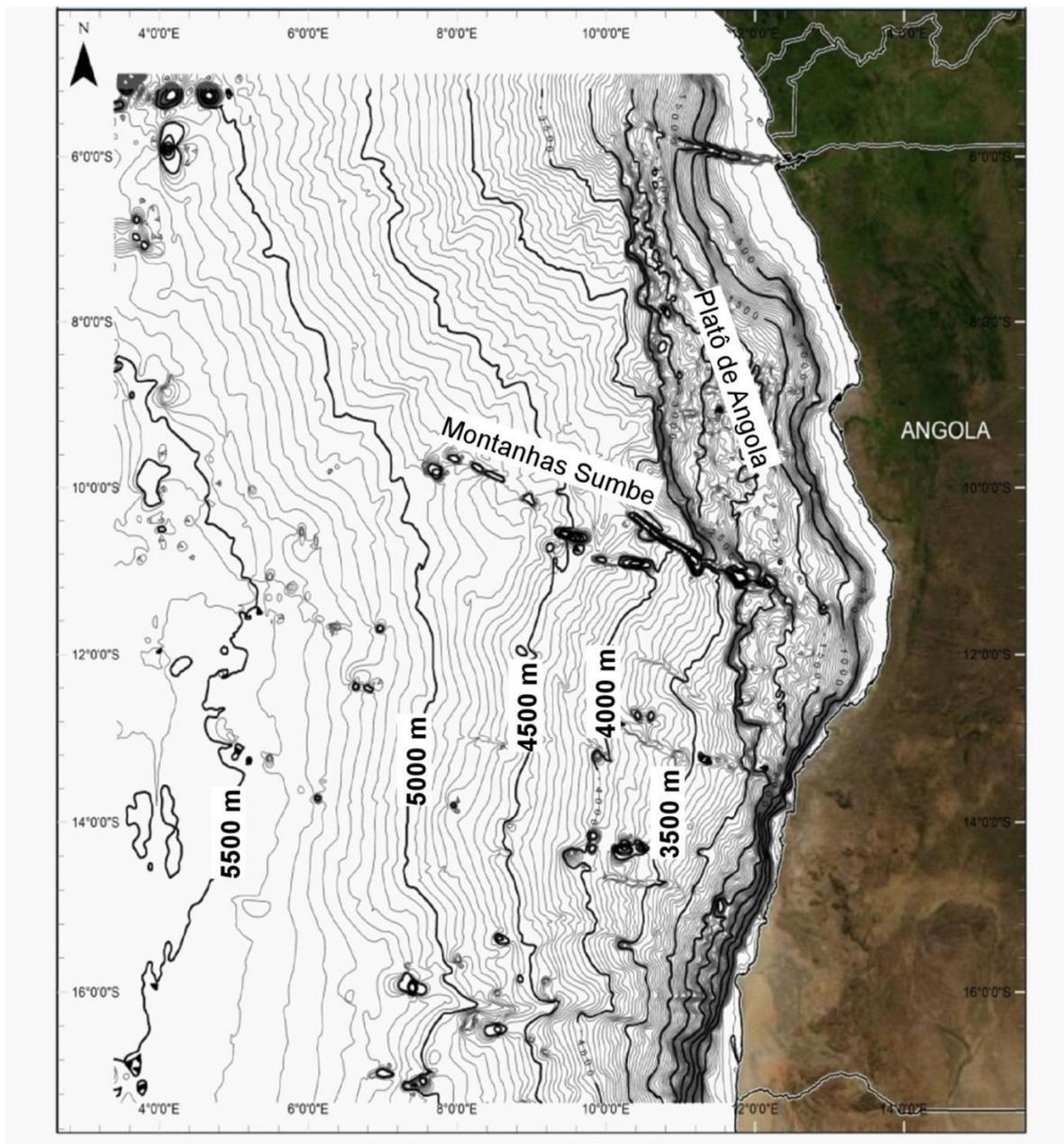


Figura 4 - Batimetria da margem continental de Angola. Espaçamento entre as isobatas a cada 50 m. Linhas mais grossas a cada 500 m.

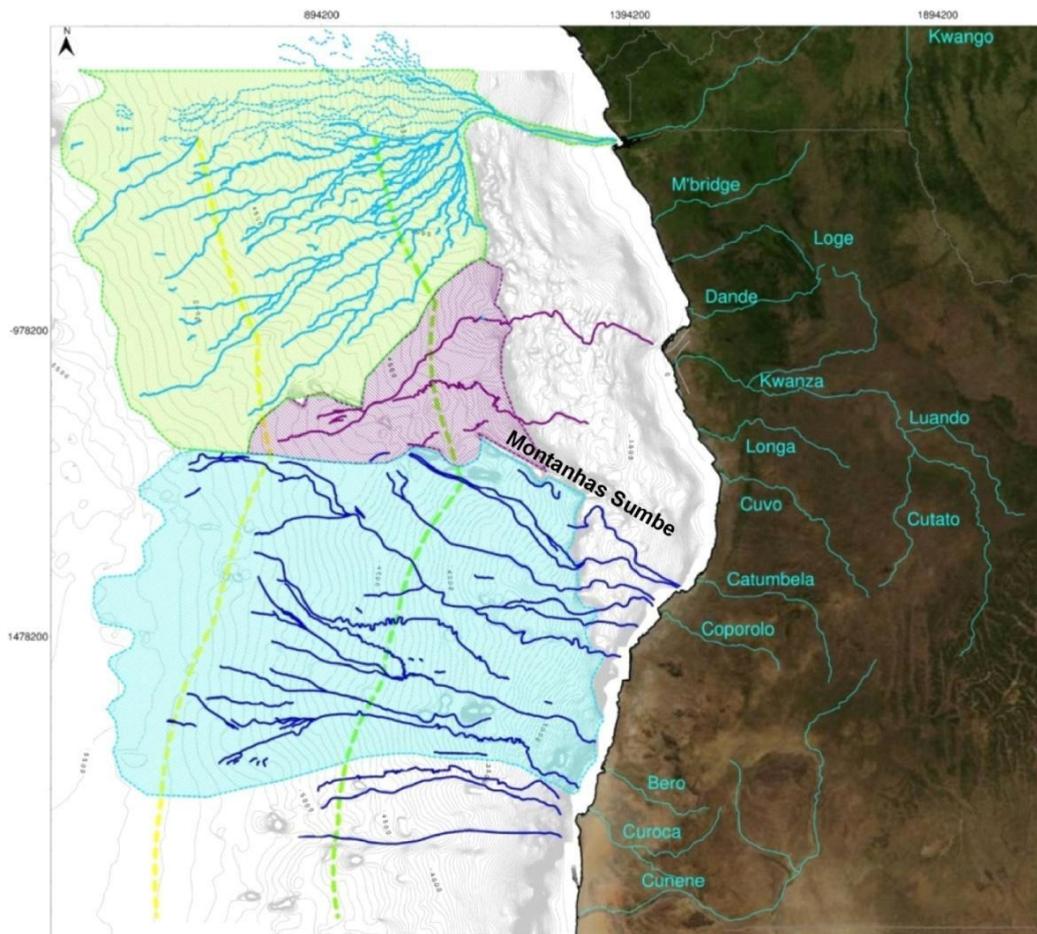


Figura 5 - Leques submarinos da margem continental de Angola. Em verde, Leque Submarino do Congo (ao norte). Em rosa Complexo de Leques Submarinos de Kwanza. Em azul Complexos de Leques Submarinos de Benguela e Namibe. As linhas tracejadas verde e amarela indicam os limites de 200 MN e 350 MN a partir da linha e base.

Entre o leque submarino do Congo e as montanhas submarinas Sumbe, desenvolve-se o complexo de leques submarinos do Kwanza, que é alimentado por dois cânions que atravessam a plataforma continental e o platô de Angola. Estes cânions estiveram provavelmente conectados com o rios Kwanza, Longa, Cuvo e Dande no continente adjacente em períodos de nível de mar baixo (Figura 5). Canais meandantes com diques marginais alimentam o complexo de leques submarinos que se desenvolvem imediatamente abaixo do platô de Angola, se estendendo para sudoeste por 400 km ultrapassando as passagens batimétricas entre os montes submarinos da cadeia Sumbe (Figura 5).

O complexo de leques submarinos de Benguela é alimentado por quatro canais submarinos ligados a cânions na borda de plataforma, que por sua vez estiveram conectados à drenagem continental em períodos de mar baixo. Os principais rios no continente neste setor da margem são, de norte para sul, Coporolo, Impulo, Canunjamba e Bero, que provavelmente foram os principais alimentadores de sedimentos para os leques submarinos de mesmo nome (Figura 5). Estes leques

submarinos são lateralmente coalescentes e se estendem por cerca de 650 km até profundidades em torno de 5400 m de lâmina d'água, perfazendo cerca de 320 mil km<sup>2</sup> de área.

Já no extremo sul da margem de Angola situa-se o complexo de leques submarinos do Namibe sendo alimentado por quatro canais meandantes igualmente conectados a cânions na plataforma continental. Os rios Matere, Curoca e Cunene foram provavelmente conectados a estes cânions e canais submarinos que se estendem em direção à planície abissal por cerca de 450 km, totalizando cerca de 60 mil km<sup>2</sup> de área (Figura 5).

Os leques submarinos da margem de Angola são lateralmente coalescentes praticamente em toda a margem continental ao norte e aos sul das montanhas Sumbe (Figura 6).

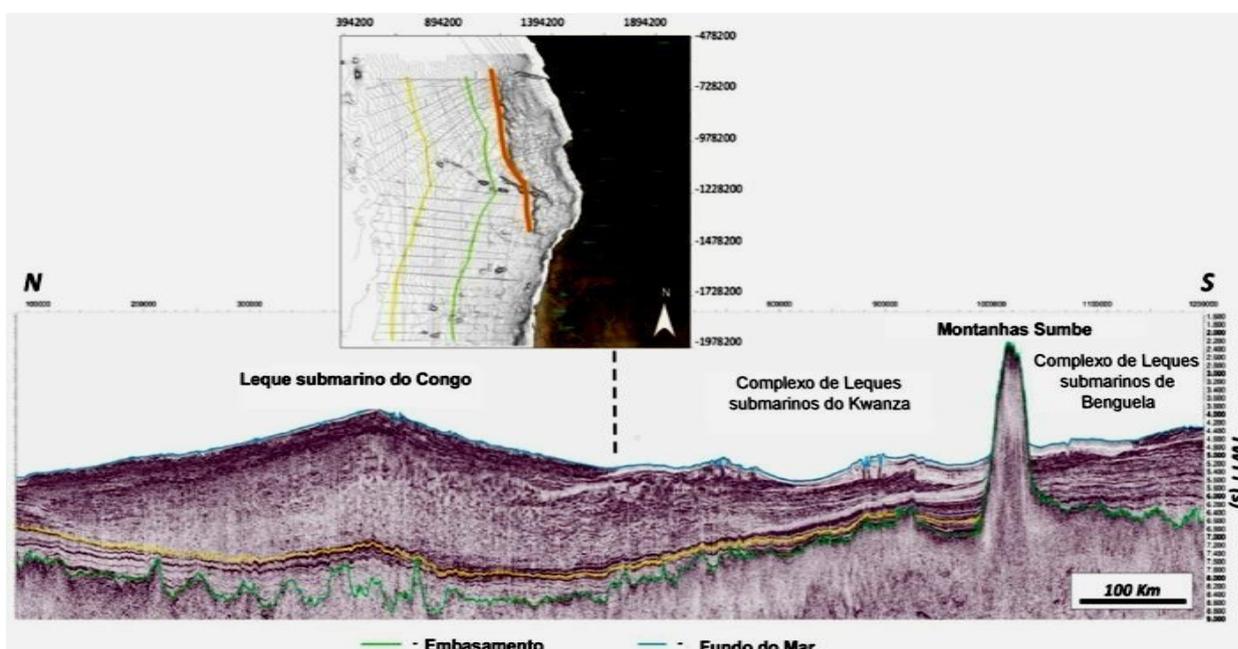


Figura 6 - Leques submarinos da margem continental de Angola lateralmente coalescentes. O mapa de localização indica a posição da linha sísmica paralela ao Platô de Angola (laranja). As linhas verde e amarela representam os limites de 200 MN e 350 MN a partir da linha de base respectivamente.

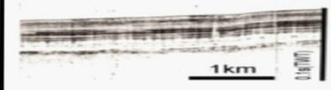
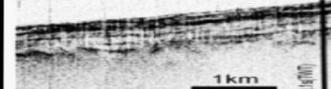
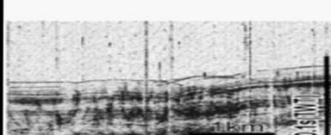
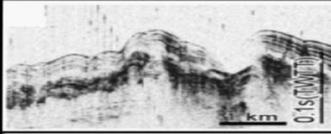
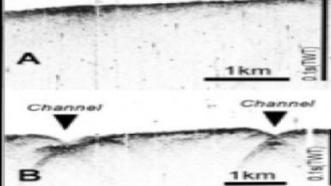
### Processos Sedimentares na Margem Continental Angolana

A análise dos processos sedimentares da margem continental de Angola foi conduzida com base na interpretação de dados de batimetria multifeixe e de perfilador de sub-fundo (3,5 kHz). Estes dados forneceram detalhes da morfologia do fundo e penetração das primeiras dezenas de metros abaixo do fundo submarino, permitindo determinar a natureza dos processos erosivos e deposicionais. Os leques submarinos são áreas onde predomina a deposição sedimentar através de fluxos turbidíticos canalizados que tendem a se espriar na porção distal dos canais turbidíticos quando os gradientes batimétricos são suavizados. Ao longo do percurso o extravasamento de

sedimentos finos, predominantemente lamosos a partir do eixo do canal submarino dá origem aos depósitos de diques marginais, enquanto que os sedimentos mais grossos, arenosos, se concentram no interior do talvegue do canal ou se depositam já na passagem para a planície abissal, formando os lobos distais.

As ecofácies dos dados de 3,5 kHz que caracterizam processos associados aos fluxos turbidíticos são investigadas com maior detalhe no presente trabalho e estão resumidas na tabela 1. Basicamente observa-se que os depósitos turbidíticos são representados por ecofácies plano-paralelas (B1 - tabela 1), uniformemente ou descontinuamente acamadadas (B2 - tabela 1), por vezes intercaladas com camadas transparentes que podem estar associadas a depósitos hemipelágicos (B1) ou a depósitos de transporte de massa (Bt). Os canais submarinos mostram reflexões de maior intensidade em seu eixo, caracterizando predomínio de sedimentos arenosos, enquanto que os diques marginais apresentam camadas plano-paralelas onduladas, revelando o predomínio de sedimentos lamosos (UB1). Estes tipos de ecofácies estão presentes nas porções superior e mediana dos complexos turbidíticos, onde os canais são predominantemente meandранtes, conforme se observa nos registros de batimetria multifeixe (Figura 6). Na porção distal dos canais turbidíticos ocorre a passagem para um padrão de ecofácies rugoso, com pouca penetração do sinal acústico, com pequenas hipérboles indicando os eixos de pequenos canais erosivos, sem diques marginais (tipo R, tabela 1). Este padrão de ecofácies indica a zona de deposição arenosa nos lobos turbidíticos distais que são lateralmente coalescentes.

Tabela 1 - Ecofácies de 3,5 kHz indicativas de processos associados predominantemente a fluxos turbidíticos.

	<b>Tipo de Eco</b>	<b>Ecofácies</b>	<b>Processo</b>
<b>Acamadados</b>		<b>B1</b> Uniformemente acamadada	Hemipelágicos e turbiditos de baixa densidade
		<b>B2</b> Descontinuamente acamadada	Hemipelágicos e turbiditos de baixa densidade
		<b>Bt</b> Uniformemente acamadada e transparente	Turbiditos intercalados com depósitos de transporte de massa
<b>Ondulado</b>		<b>UB1</b> Uniformemente ondulada	Canais e diques marginais
		<b>R</b> Irregular, sem penetração, hiperbólicos	Lobos turbidíticos distais

## Discussão

A margem continental de Angola é segmentada estruturalmente pela cadeia de montanhas submarinas Sumbe que separa dois grandes depocentros sedimentares (Séranne e Anka, 2005). Ao norte este depocentro foi alimentado em grande parte pelos sistemas turbidíticos do Congo e do Kwanza, enquanto que ao sul, os complexos turbidíticos de Benguela e Namibe tiveram papel preponderante no aporte sedimentar. De acordo com Anka (2004) o leque submarino do Congo começou a se desenvolver já no Albiano, na base da paleo-plataforma carbonática, onde hoje se localiza o Platô de Angola. A partir do Turoniano a produção carbonática entra em declínio em função do crescente aporte sedimentar terrígeno e do aumento da taxa de acomodação (Anka, 2004). Os mais expressivos volumes de aporte sedimentar para as bacias profundas da margem Angolana ocorrem a partir do Oligoceno (Séranne, 1999; Séranne, e Anka, 2005), quando há um soerguimento da margem, com profunda erosão na plataforma continental externa e incisão de cânions promovendo a passagem de sedimentos para oceano profundo. O maior leque submarino é representado pelo Congo (Anka e Séranne, 2004), onde as espessuras de sedimentos depositados na sequência pós-oligocênica até o presente chega a atingir 4,5 km (Séranne e Anka, 2005). Os complexos turbidíticos de Kwanza, Benguela e Namibe igualmente apresentam espessuras consideráveis de sedimentos depositados do Oligoceno ao presente, atingindo mais de 3 km (Séranne e Anka, 2005).

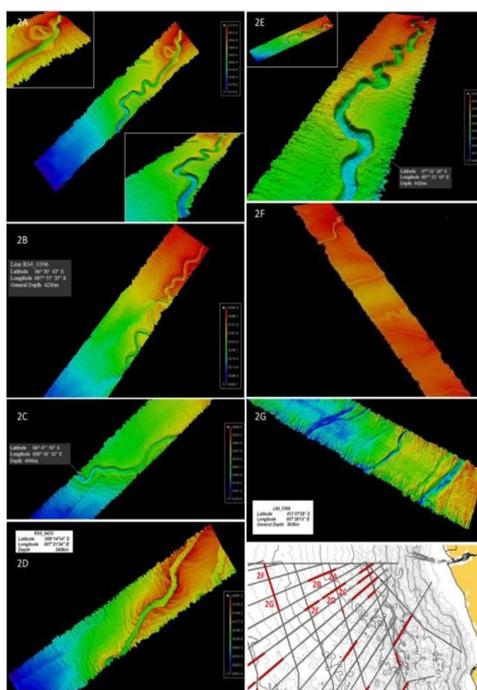


Figura 6 - Os canais meandrantes do leque submarino do Congo (2A a 2F) com meandros abandonados (2A) adquirem caráter mais retilíneo em profundidades maiores, em torno de 5000 m (2F), na transição entre o canais turbidíticos confinados e os lobos distais na zona de dispersão sedimentar.

A análise de ecofácies dos dados de perfilador de sub-fundo de 3,5 kHz em associação com os dados de ecobatimetria multifeixe permitiu definir o limite entre os depósitos turbidíticos canalizados e de diques marginais e os depósitos de lobos turbidíticos distais, onde a carga sedimentar predominantemente arenosa se dispersa em função da diminuição do gradiente batimétrico (Figura 7). Este limite situa-se entre as isóbatas de 4.700 m e 5.000 m onde os canais meandранtes com diques marginais desaparecem, dando lugar a pequenos canais erosivos que se distribuem em forma de leque (Figura 8). Esta mudança ocorre na passagem para gradientes inferiores a 0,3° (Figura 7). Observa-se no leque do Congo que os lobos terminais ocorrem entre profundidades de 3500 m a 5000 m (Droz et al., 2003), contudo deve-se considerar que o leque submarino do Congo tem características muito particulares, uma vez que é um leque submarino ativo mesmo em períodos interglaciais em virtude da conexão do leque de mar profundo com o estuário do rio Congo via cânion submarino (Droz et al., 2003).

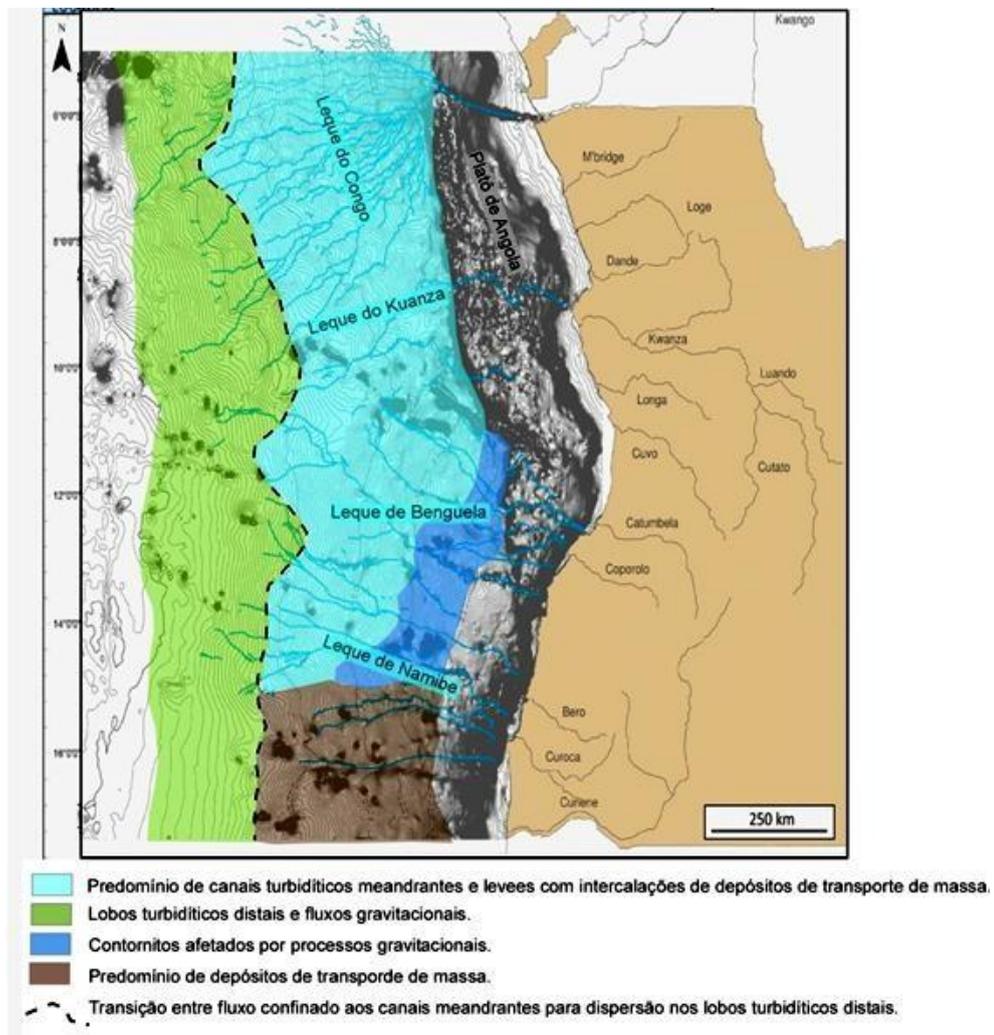


Figura 7 - Processos sedimentares predominantes na margem continental de Angola. A passagem dos canais meandранtes com diques marginais para os lobos turbidíticos distais ocorre em torno das profundidades de 4700 m a 5000 m.

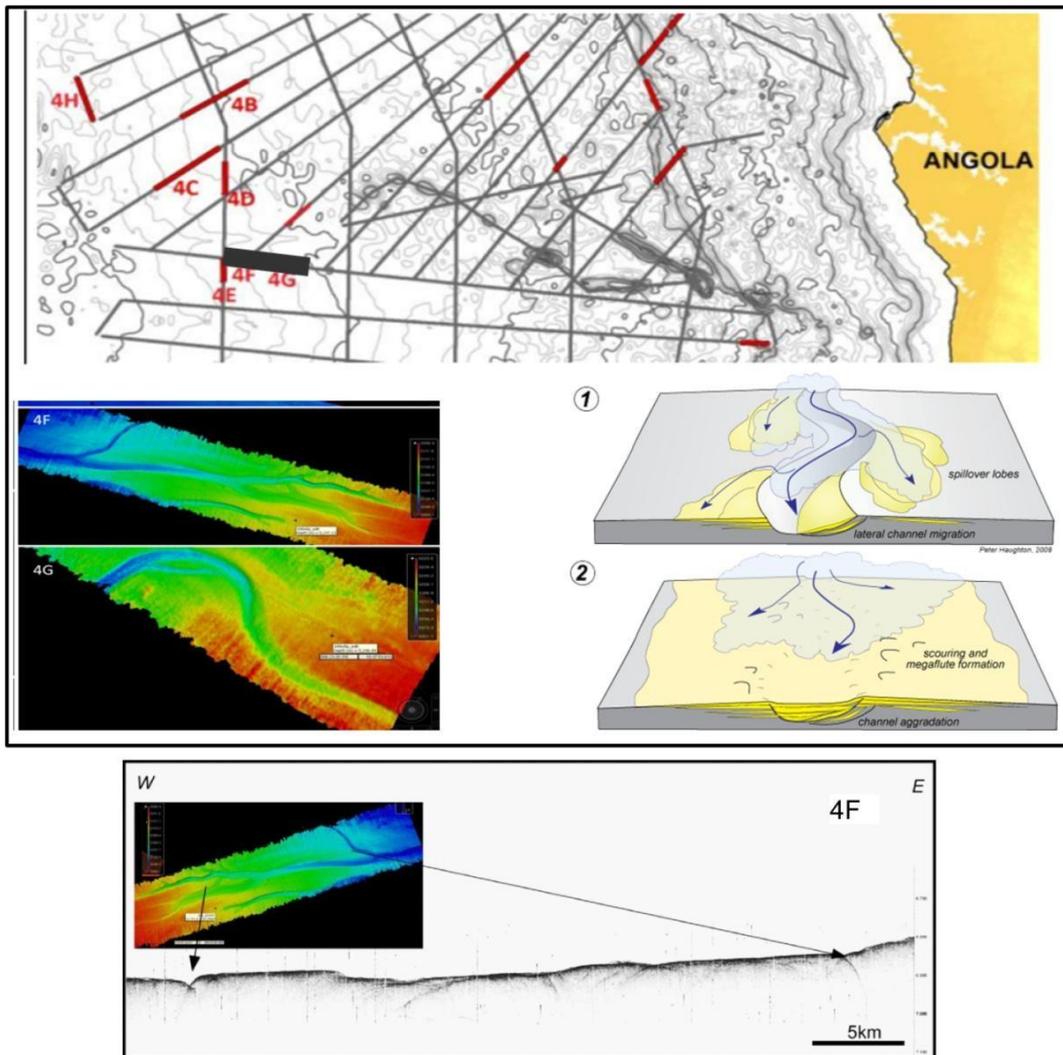


Figura 8 - Lobos distais ocorrem ao final dos canais meandantes, marcando a dispersão sedimentar em função da diminuição do gradiente batimétrico ao final do fluxo turbidítico confinado. A imagem de baixo mostra o registro de 3,5 kHz característico com baixa penetração do sinal acústico em função da natureza arenosa dos sedimentos que predominam nos lobos distais. Os pequenos canais erosivos com ausência de leques são indicados pelas hipérbolas no perfí de 3,5 kHz.

Os complexos de leques submarinos da margem continental de Angola tiveram fundamental influência na suavização do perfil morfológico do talude continental, principalmente na porção norte da margem onde se localiza o leque submarino do Congo. O platô de Angola interrompe localmente o talude na porção central e norte da margem, separando o talude superior do talude inferior, onde se desenvolvem os complexos turbidíticos do Kwanza e de Benguela. Igualmente na margem sul, o complexo turbidítico do Namibe também teve grande influência na modificação morfológica do talude. Desta forma, a determinação da base do talude continental segundo critérios morfológicos apenas não é trivial. Considerando-se a importância dos leques submarinos e a natureza dos processos sedimentares associados, a utilização destes critérios tem grande valia na delimitação dos espaços marítimos de

Angola, com respaldo nas Scientific and Technical Guidelines da Comissão sobre os Limites da Plataforma Continental (CLCS, 1999). O desenvolvimento e evolução morfosedimentar dos canais submarinos tem relação direta com o volume de sedimentos transportados, com a granulometria dominante e com as variações logitudinais do gradiente batimétrico entre a margem e a planície abissal (Hiscott et al., 1997). A história geológica peculiar da margem de Angola, que observou um soerguimento pronunciado a partir do Oligoceno teve particular importância na evolução dos sistemas turbidíticos de mar profundo onde se sobressai o leque do Congo, cuja atividade recente, mesmo em períodos de mar alto tem sido recorrentemente referenciado (Séranne e Anka, 2005). A localização da base do talude continental na região predominante de dejeção dos leques turbidíticos distais, seguindo-se os argumentos acima, apresenta-se como a melhor opção, considerando-se que o estado costeiro tem a prerrogativa de escolher o limite marítimo exterior que lhe seja mais favorável.

## **Conclusões**

Os leques submarinos em margens continentais passivas têm profunda influência na modificação morfológica do talude continental e constituem importantes depocentros sedimentares que encerram o registro da denudação de amplas regiões nos continentes adjacentes. Em consequência devem ser considerados como componentes naturais das margens continentais, de acordo com a Convenção das Nações Unidas Sobre o Direito do Mar.

A margem continental de Angola apresenta extensos complexos de leques submarinos em toda sua extensão, que distribuem os sedimentos derivados da drenagem continental, via cânions e canais submarinos, para a planície abissal de Angola. Variações longitudinais de gradiente em associação com o volume e granulometria dos sedimentos transportados determinam a natureza dos fluxos turbidíticos que se espraiam nos lobos distais no final dos canais submarinos meandranes. Esta zona de transição entre o fluxo turbidítico confinado para o espraiamento nos lobos terminais, pode ser utilizada como critério para localização da base do talude continental segundo os preceitos da Convenção.

## **Referências**

- ANKA, Z. E SÉRANNE, M., 2004, Reconnaissance study of the ancient Zaire (Congo) deep-sea fan (ZaiAngo Project). *Marine Geology* 209 (2004) 223–244
- CLCS, 1999, Scientific and Technical Guidelines of the Commission on the Limits of the Continental Shelf. [https://www.un.org/depts/los/clcs\\_new/commission\\_documents.htm](https://www.un.org/depts/los/clcs_new/commission_documents.htm). Acessado em 04/12/2019.

- UNCLOS, 1982, United Nations Convention on the Law of the Sea. [https://www.un.org/depts/los/convention\\_agreements/texts/unclos/UNCLOS-TOC.htm](https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/UNCLOS-TOC.htm). Acessado em 04/12/2019
- DAMUTH, J. E., HAYES, D. E., 1977, Echo-character of the east Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes. *Marine Geology*, v. 24, p. 73–95.
- DAMUTH, J.E., 1980, Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Marine Geology*, v. 38, p. 51-75.
- DROZ, L.; MARSSET, T.; ONDRÉAS, H.; LOPEZ, M.; SAVOYE, B.; SPY-ANDERSON, F.-L., 2003, Architecture of an active mud-rich turbidite system: The Zaire Fan (Congo–Angola margin southeast Atlantic): Results from Zai–Ango 1 and 2 cruises. *AAPG Bulletin*, v. 87, no. 7, p. 1145–1168.
- GAULLIER, V., BELLAICHE, G., 1998, Near-bottom sedimentation processes revealed by echo-character mapping studies, northwestern Mediterranean basin. *AAPG Bulletin*, v. 82, p.1140–1155.
- LONCKE, L.; DROZ, L.; GAULLIER, V.; BASILE, C. , PATRIAT, M.; ROEST, W., 2009, Slope instabilities from echo-character mapping along the French Guiana transform margin and Demerara abyssal plain. *Marine and Petroleum Geology*, v.26, 5, p. 711-723.
- MOSHER, D.C.; LABERG, J.S.; MURPHY, A., 2016, The role of submarine landslides in the Law of the Sea. In: LAMARCHE, G. et al. (Eds), *Submarine Mass Movements and Their Consequences*, 7<sup>th</sup> International Symposium, *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, Vol. 41, Springer, p. 15 – 26.
- HISCOTT, R.; HALL, F.; PIRMEZ, C., 1997, Turbidity-current overspill from the Amazon Channel: Texture of the silt/sand load, paleoflow from anisotropy of magnetic susceptibility, and implications for flow processes. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*. <http://155.10.2973/odp.proc.sr.155.202.1997>.
- SÉRANNE, M., 1999, Early Oligocene stratigraphic turnover on the west Africa continental margin: a signature of the Tertiary greenhouse-to-icehouse transition? *Terra Nova-Oxford*, v. 11, n. 4, p. 135-140.
- SÉRANNE, M.; ANKA, Z., 2005, South Atlantic Continental Margins of Africa: a Comparison of the Tectonic vs Climate Interplay on the Evolution of Equatorial West Africa and SW Africa Margins. *Journal of African Earth Sciences*, v. 43, p. 283-300.