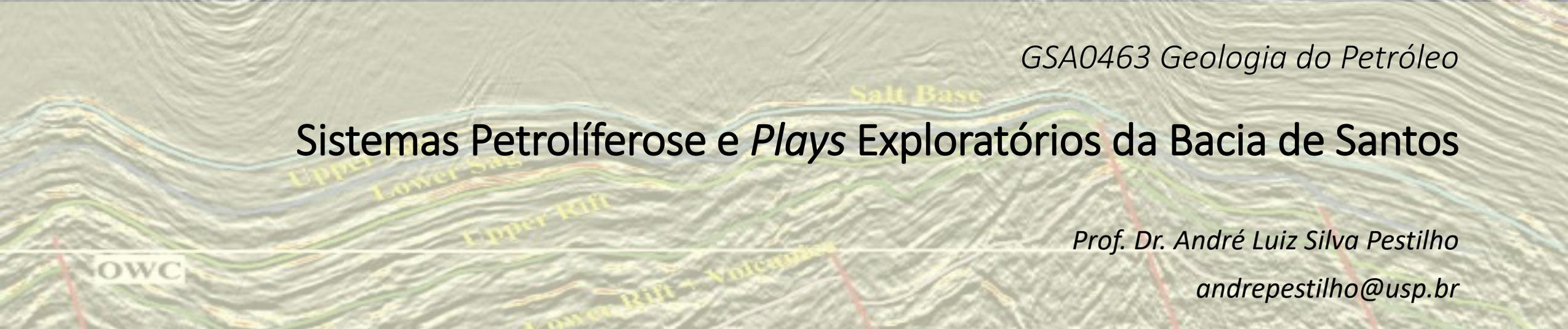
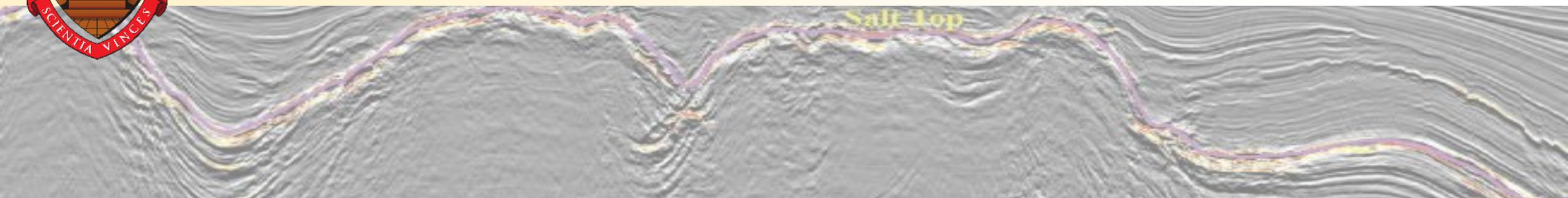




UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL



GSA0463 Geologia do Petróleo

Sistemas Petrolíferos e *Plays* Exploratórios da Bacia de Santos

Prof. Dr. André Luiz Silva Pestilho

andrepestilho@usp.br

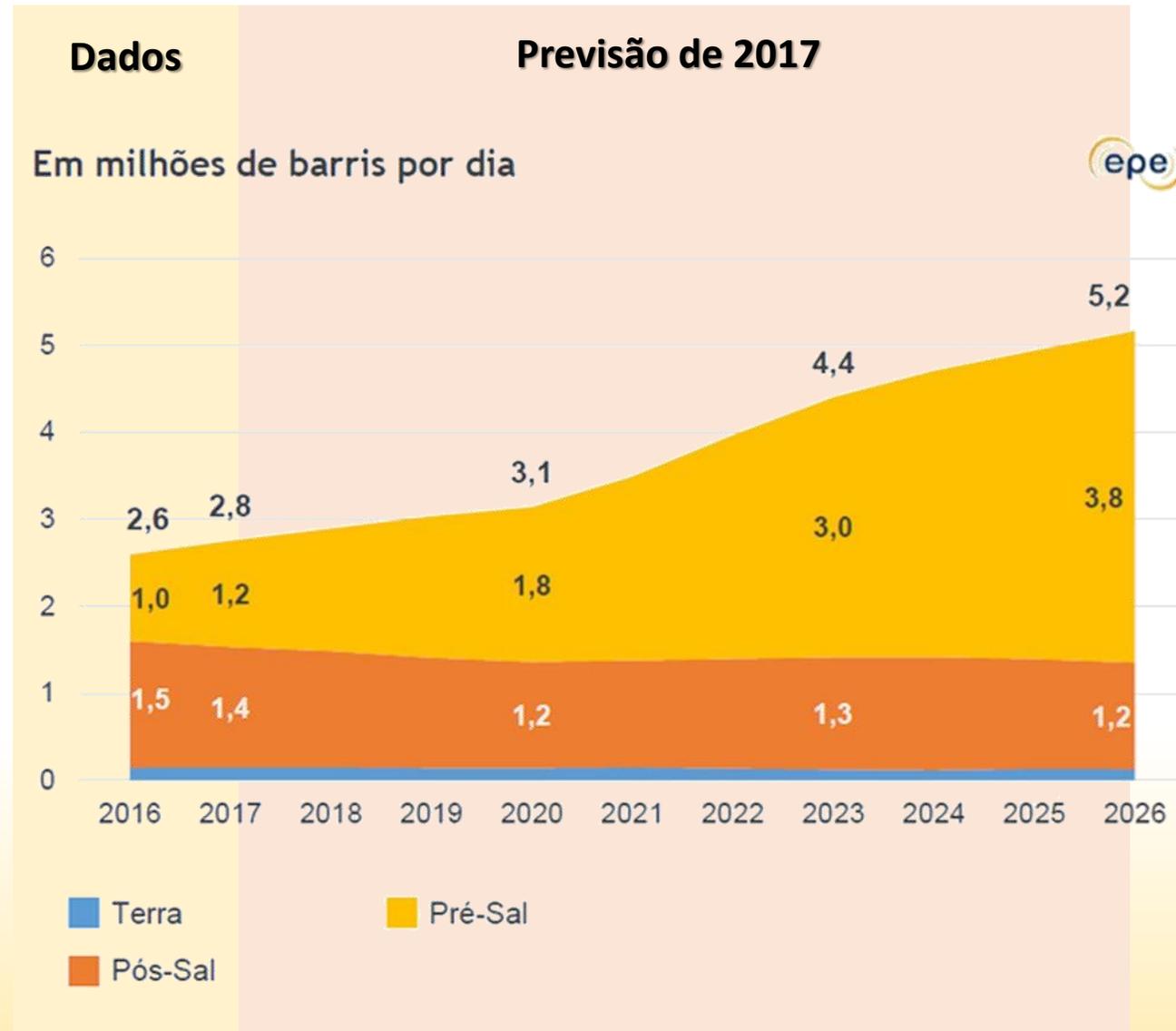
Sumário da Aula

1. Apresentando a Bacia de Santos
2. Contexto tectono-estratigráfico
3. Sistemas Petrolíferos (SPs) da Bacia de Santos
4. *Play* Petrolíferos
5. Resumo
6. Referências

1. Apresentando a Bacia de Santos

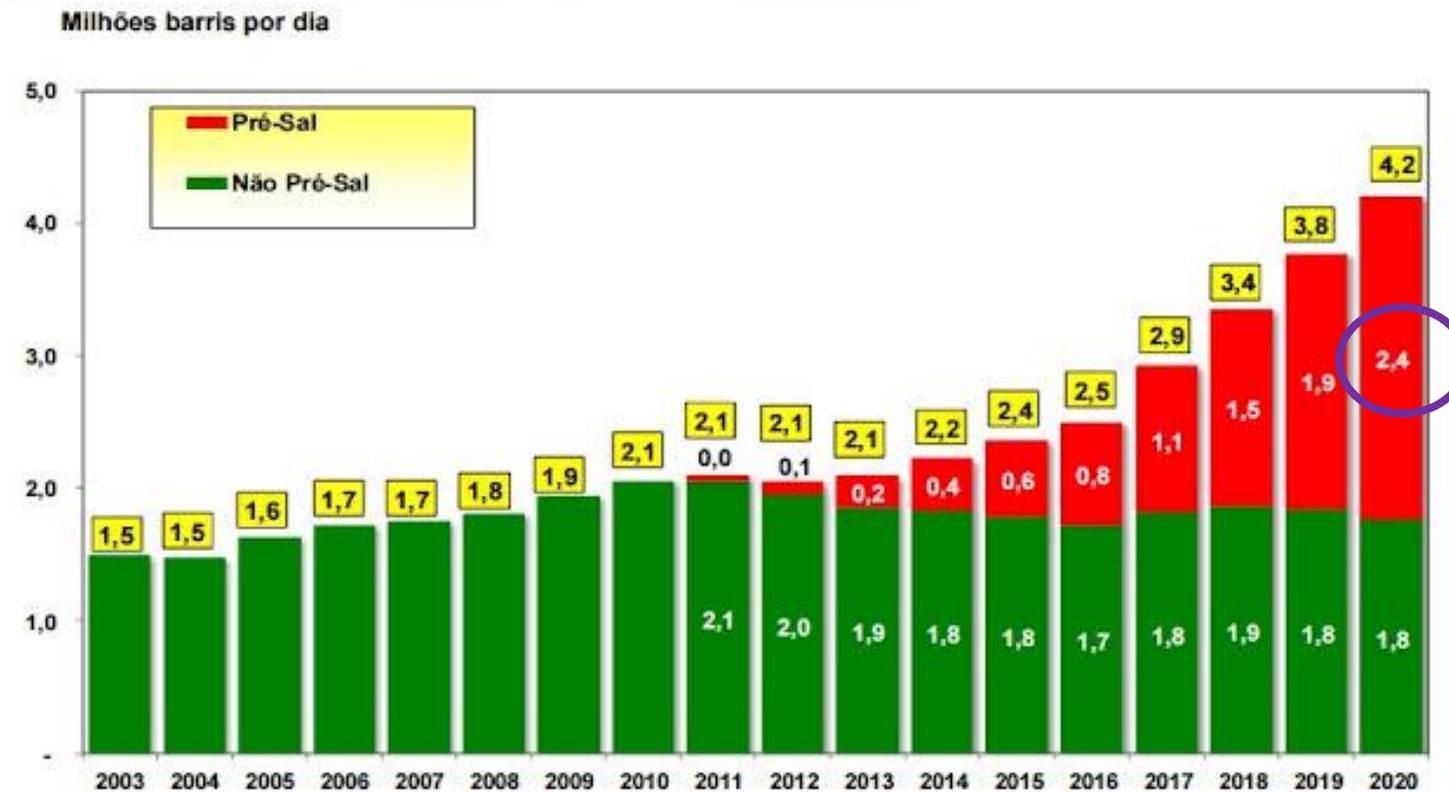
1. **Pré-Sal >> Principal província petrolífera brasileira**
2. **Bacia de Santos >> Principal área de produção do Pré-Sal, com produção secundária no intervalo Pós-Sal**

1. Apresentando a Bacia de Santos



1. Apresentando a Bacia de Santos

PRODUÇÃO DE PETRÓLEO – 2003 - 2020



Em 2017 em
estimados 1,8
(EPE)

1. Apresentando a Bacia de Santos

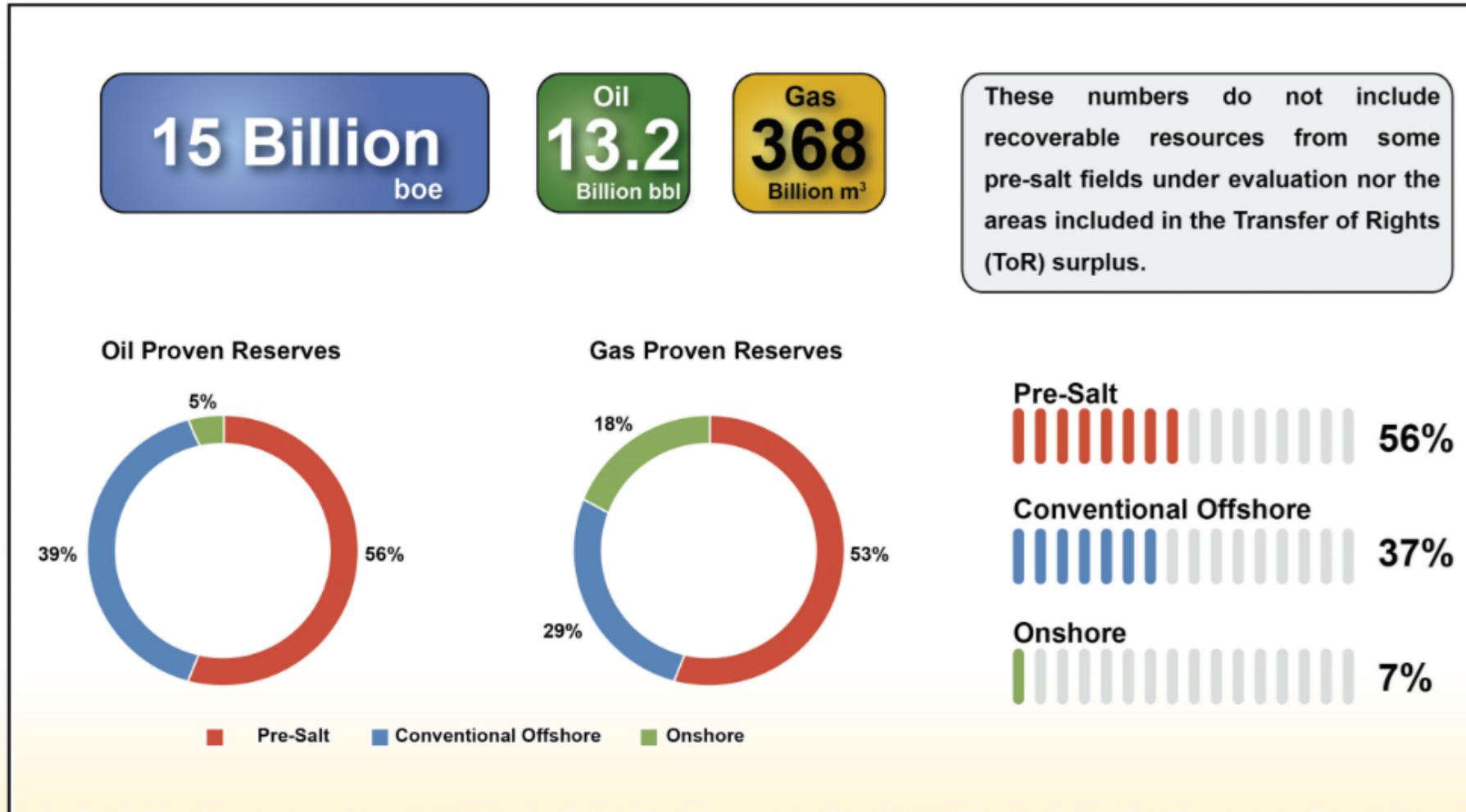
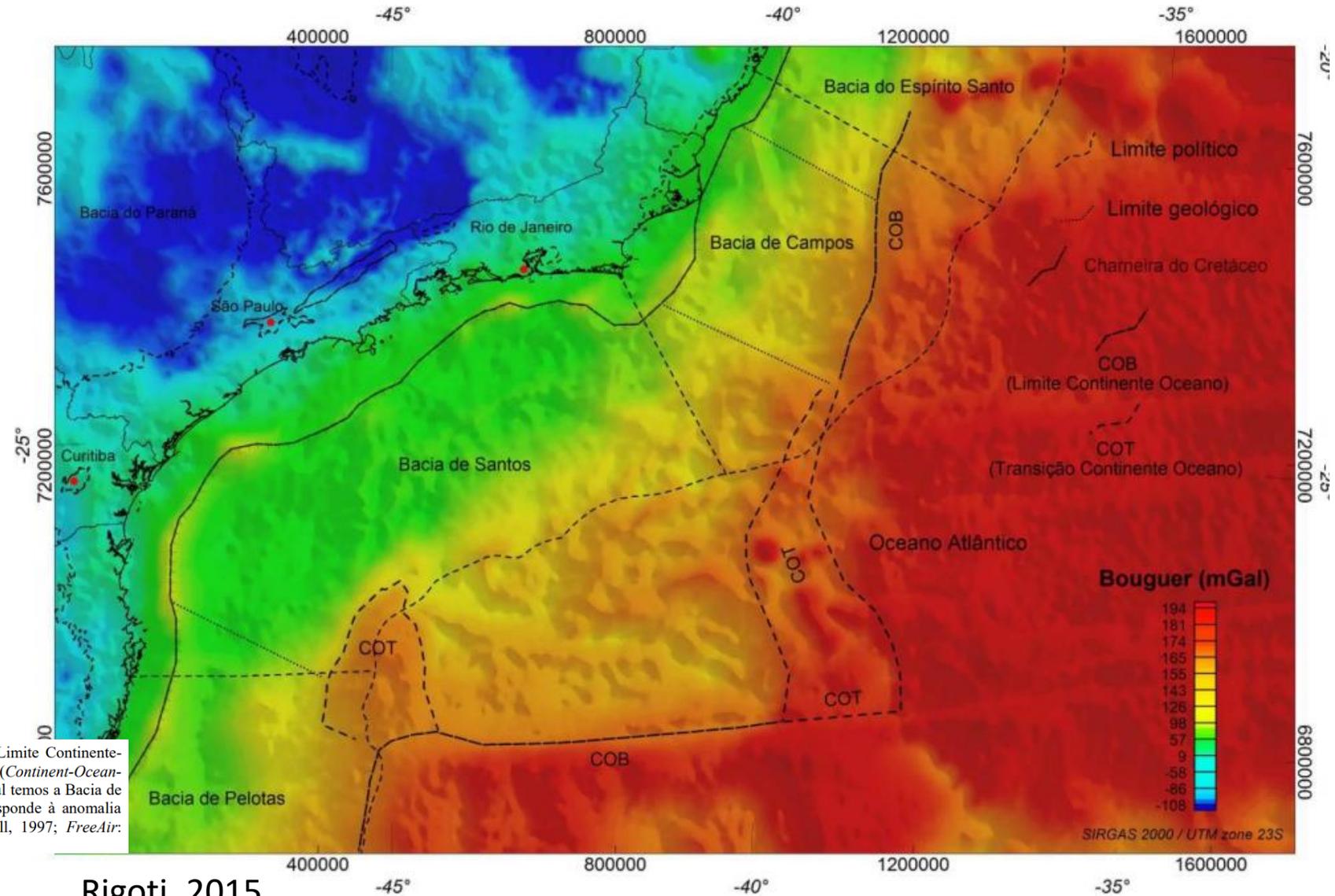


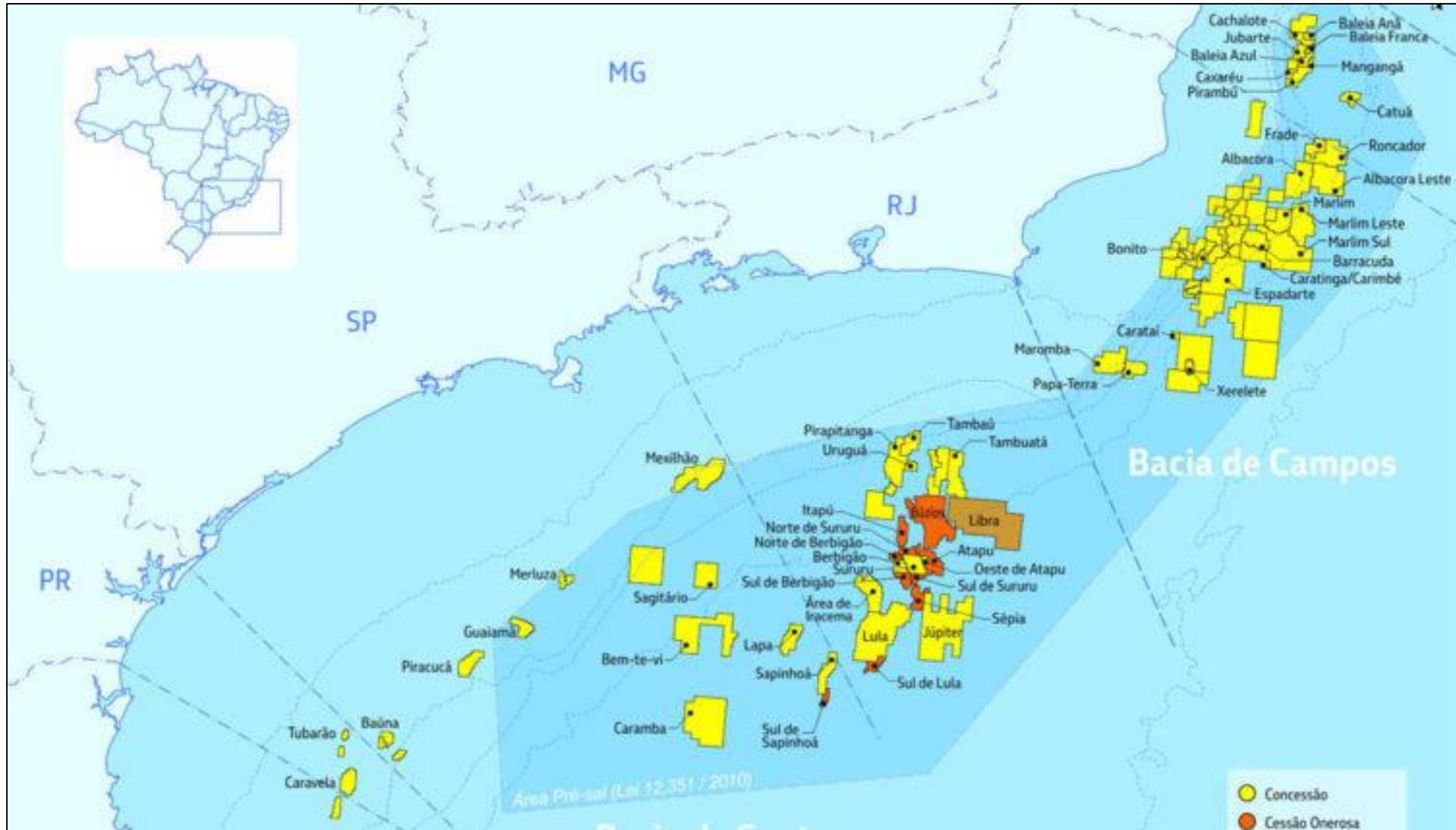
Figure 2. Oil and gas proven reserves in the pre-salt reservoirs in the Santos and Campos basins compared with conventional offshore and onshore in all Brazilian Basins (ANP Bulletin, 2019).

1. Apresentando a Bacia de Santos



Legenda: Estão representados a linha de costa; a linha de charneira do Cretáceo; COB – Limite Continente-Oceano (*Continent-Ocean-Boundary*); e COT – Transição Continente-Oceano (*Continent-Ocean-Transition*). Os limites entre bacias estão representados por linhas pontilhadas; a sul temos a Bacia de Pelotas e a norte a Bacia de Campos e Espírito Santo. O mapa de fundo corresponde à anomalia *Bouguer* calculada a partir de dados de satélite (Batimetria: Smith e Sandwell, 1997; *FreeAir*: Sandwell e Smith, 2009).

1. Apresentando a Bacia de Santos



1. Origem – A quebra do Gondwana Ocidental

0.00 Ma

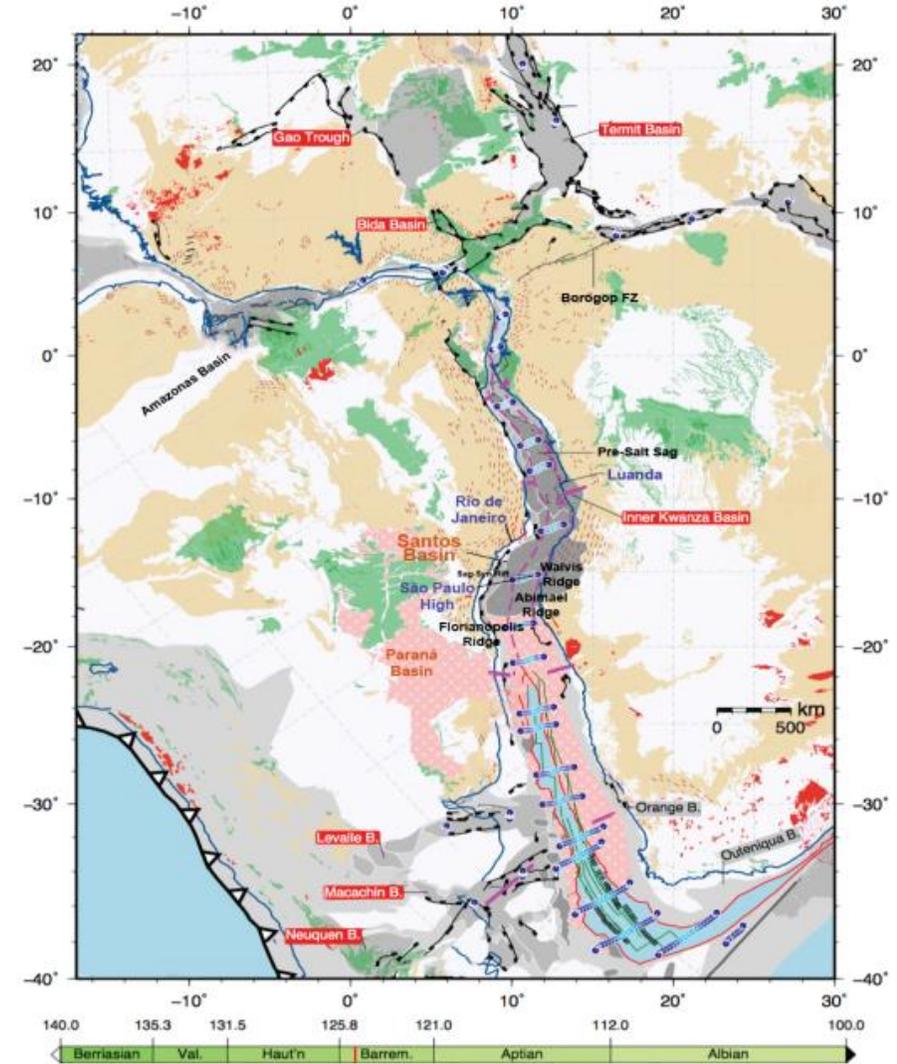
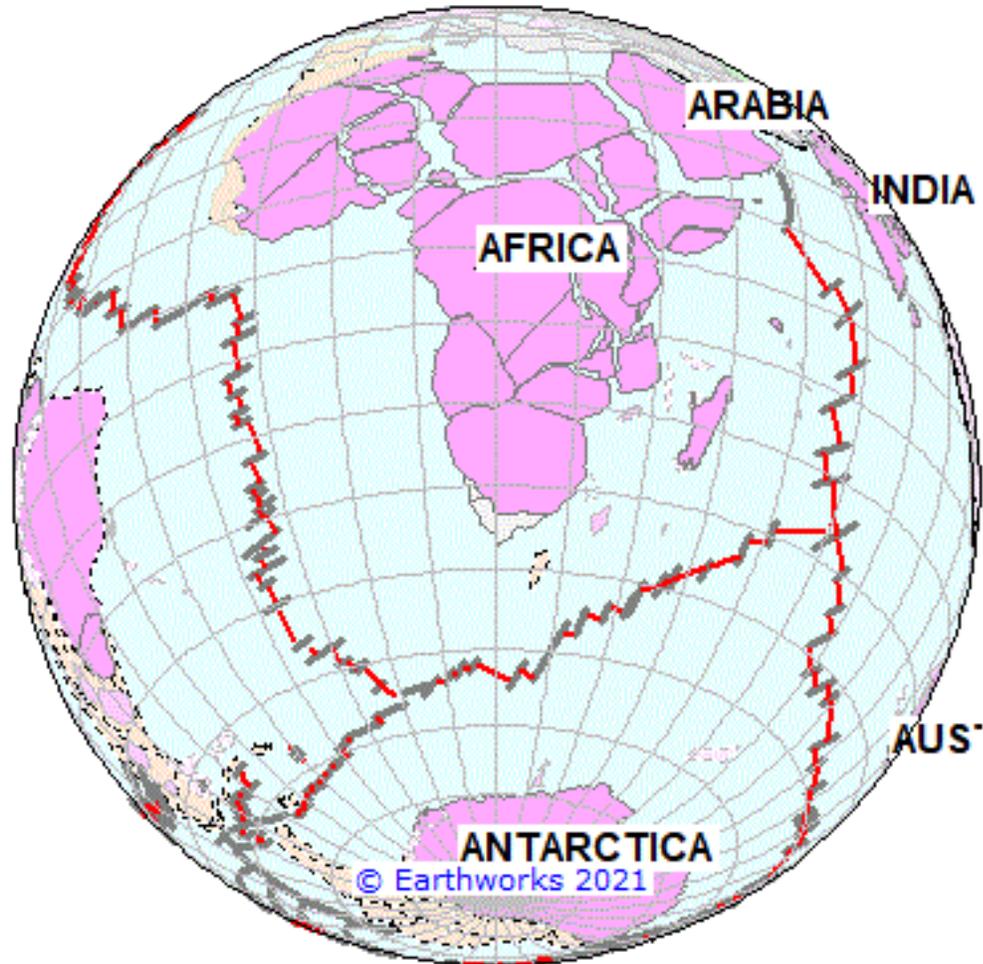
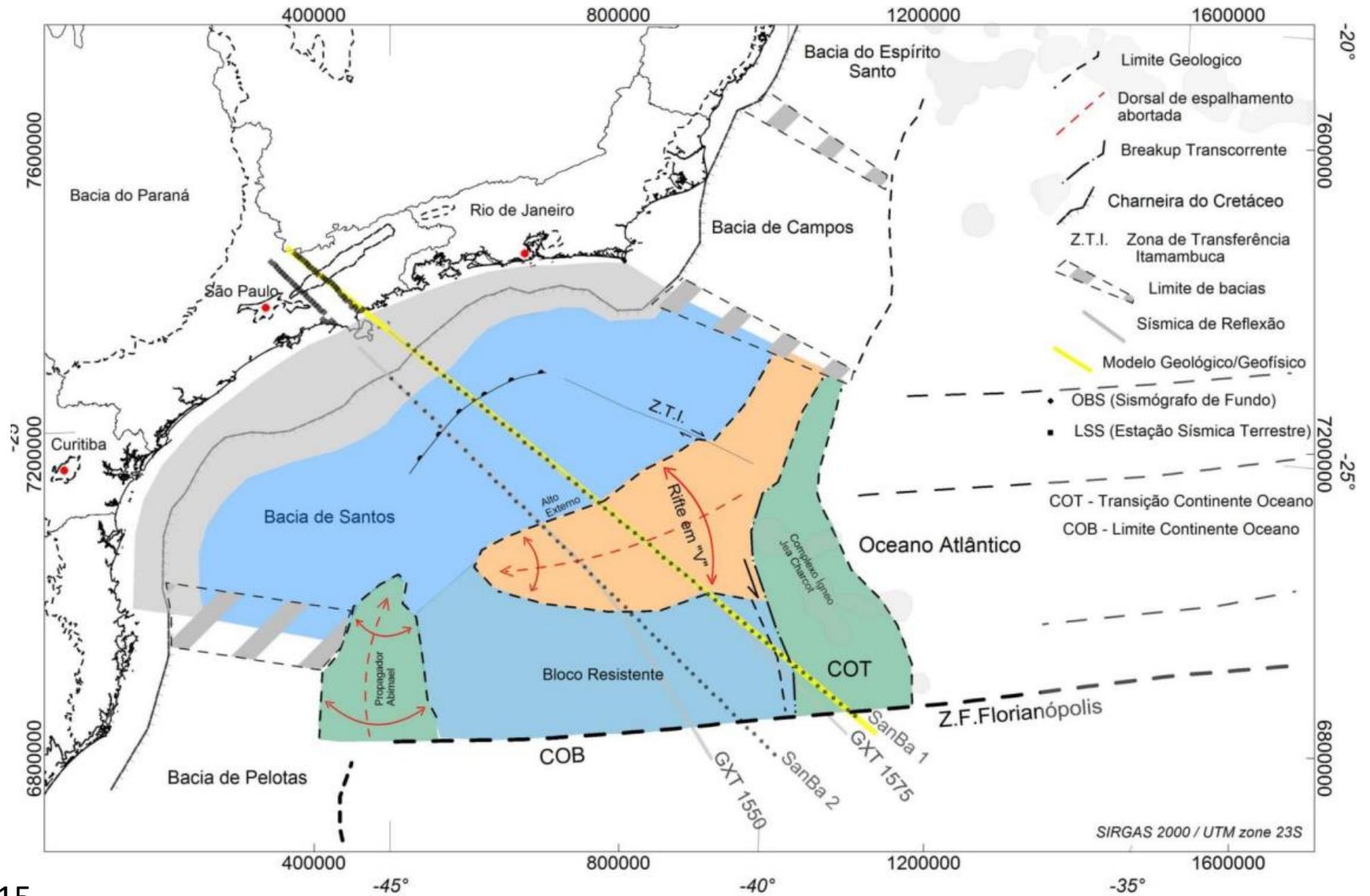


Figure 3. Plate tectonic map at 125 Ma, with Africa fixed in present day coordinates. Note that, at this time, the west African pre-salt basin generated by seafloor spreading is abutting against the Walvis Ridge/Florianopolis Ridge at the southern margin of the Santos Basin, with extension and possible rifting along the Abimael Ridge in the inner southwest part of the Santos Basin (modified from Heine et al., 2013).

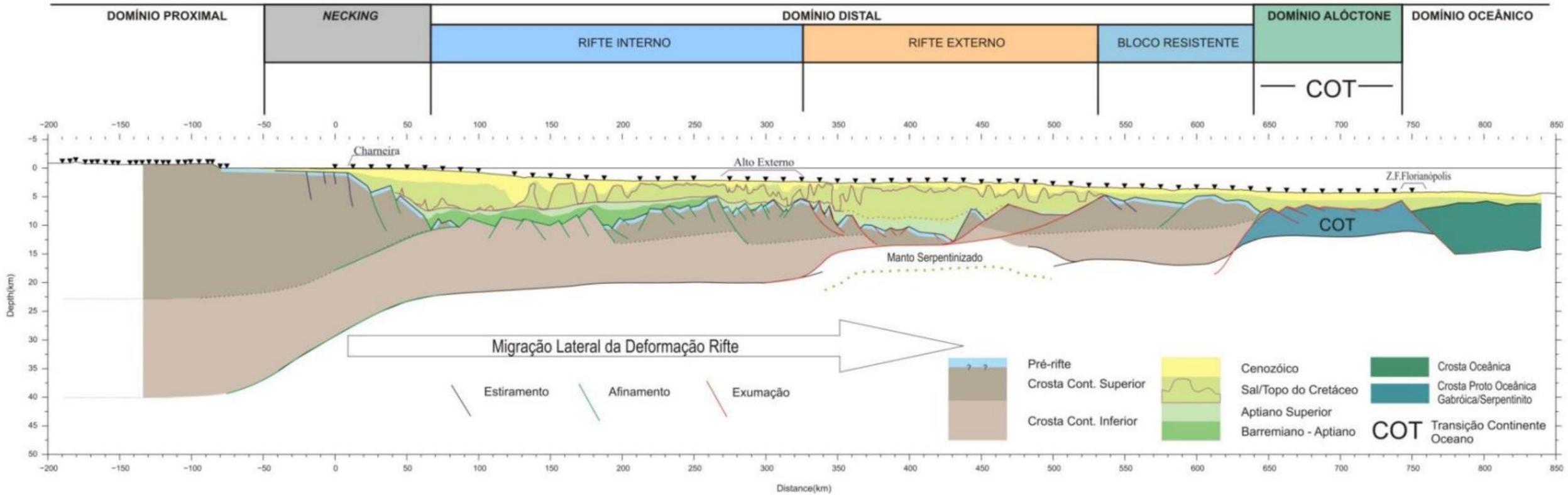
2. Contexto tectono-estratigrafico – Domínios tectono-estruturais

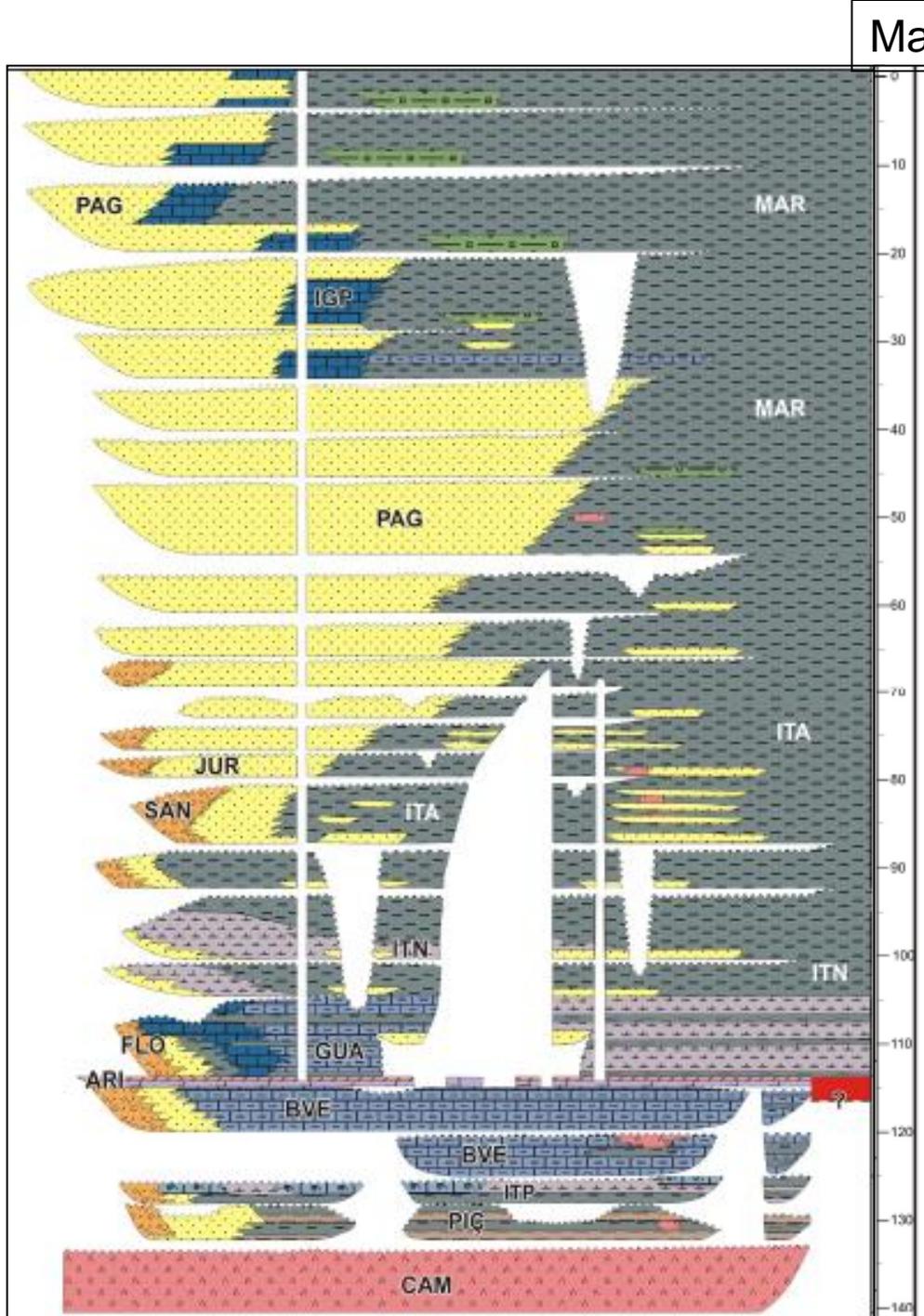


2. Contexto tectono-estratigrafico – Compartimentação

NW

SE





Ma

Drift (subsidência termal, mar aberto)

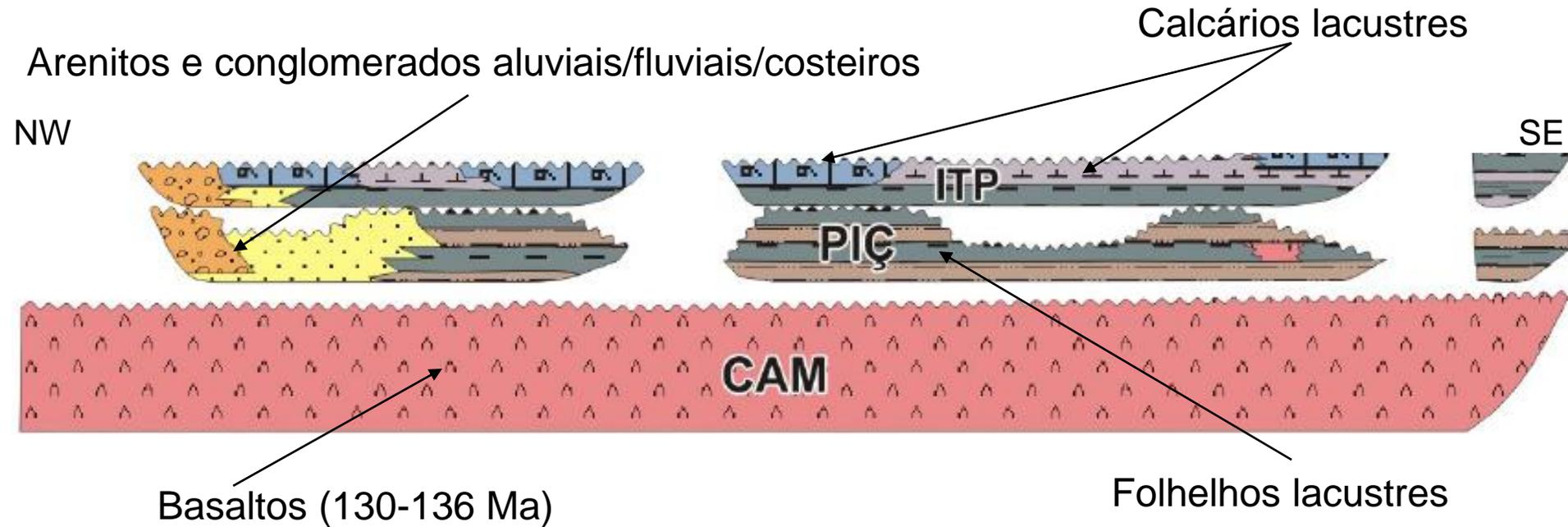
Pós-rift (subsidência termal, lacustre carbonático/ evaporítico)

Rift (subsidência mecânica, continental siliclástico)

Modificado de
Moreira et al., 2007;
Sawakuchi, 2022

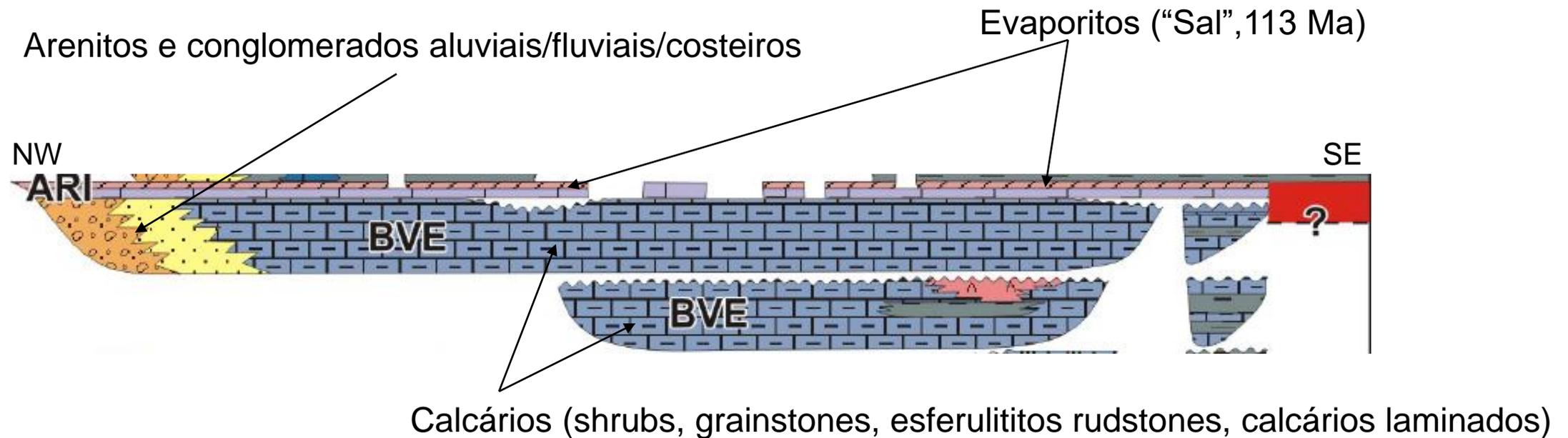
Fase *rift*

“Sistemas deposicionais continentais lacustres, fluviais e de leques aluviais”



Fase Pós-rifte (golfo)

“Sistemas deposicionais de mar restrito com bacia carbonática-evaporítica”



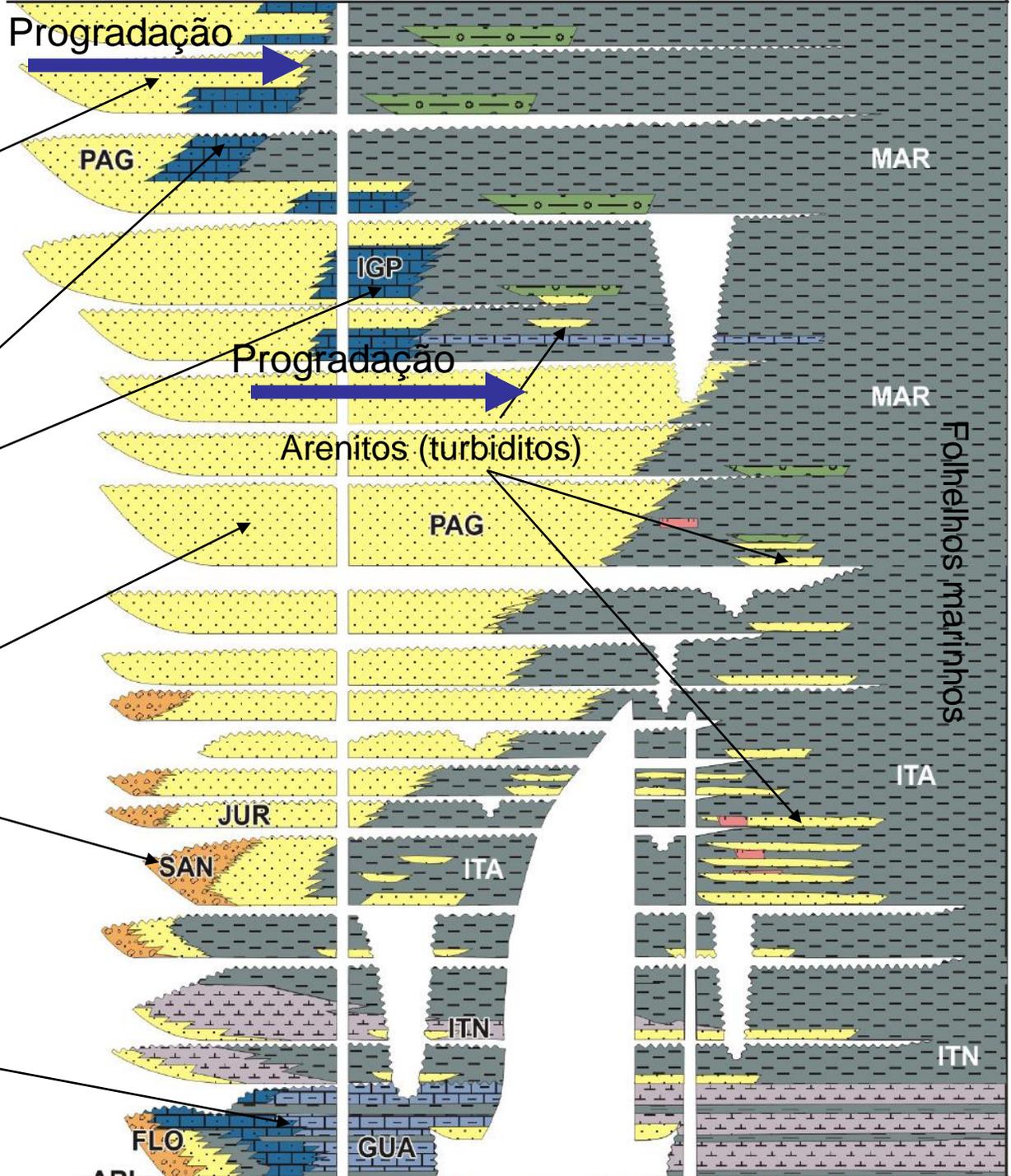
Fase *Drift* (mar aberto)

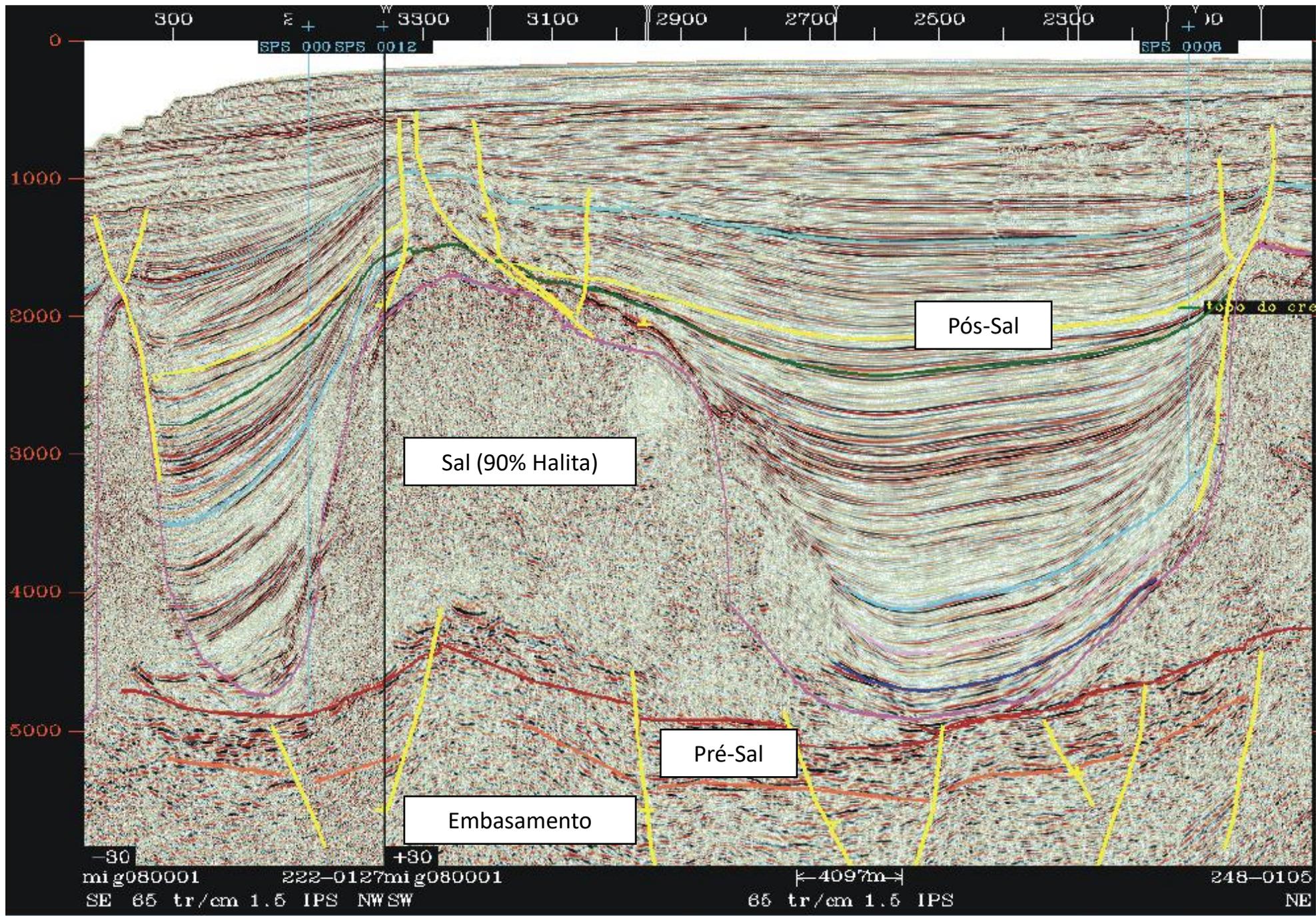
Arenitos e conglomerados
(aluviais, fluviais e costeiros)

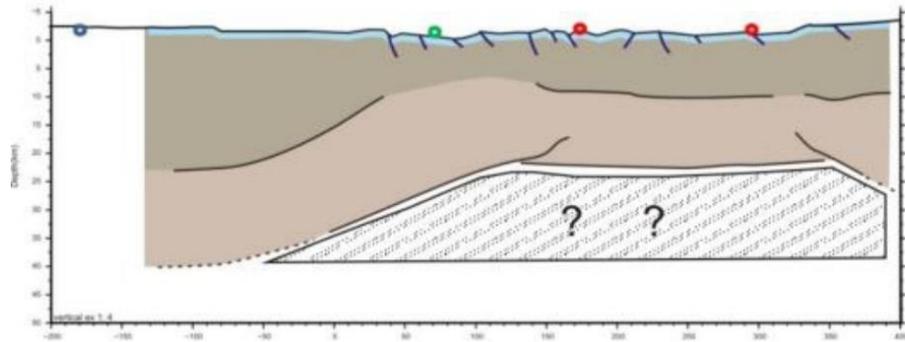
Calcários (plataforma carbonática)

Arenitos e conglomerados
(aluviais, fluviais e costeiros)

Calcários (plataforma carbonática)



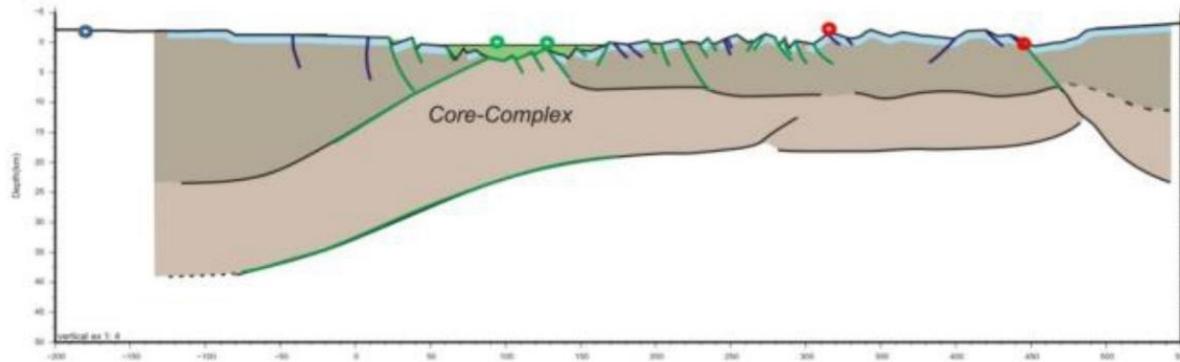




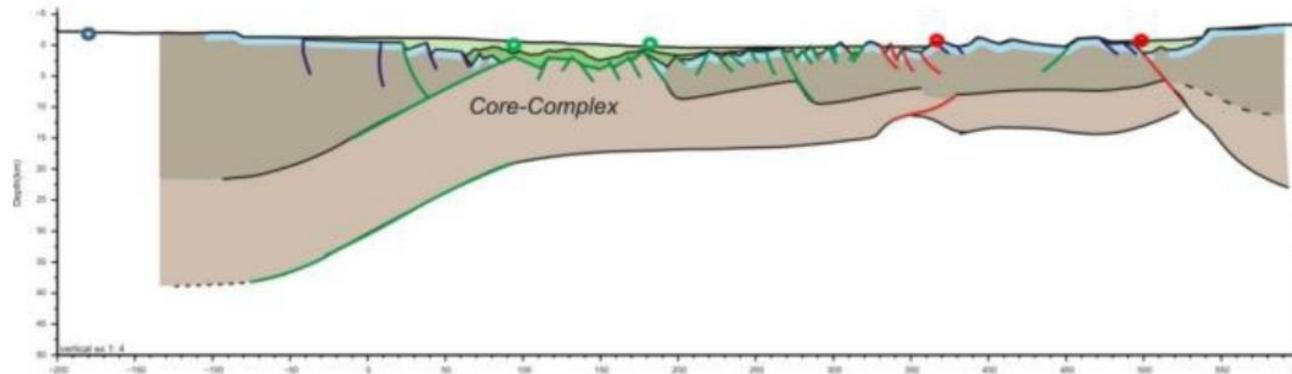
Fase de Estiramento
 Balanceamento por igual área
 Crosta inicial = Crosta final
 Modelo Conservativo

X

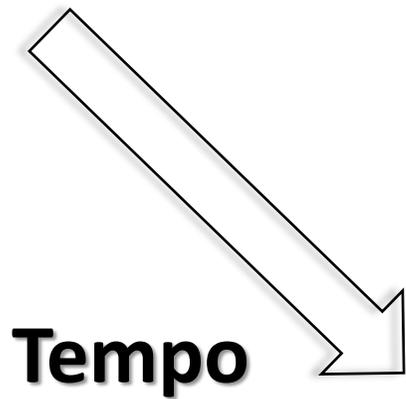
Modelo Não Conservativo ??



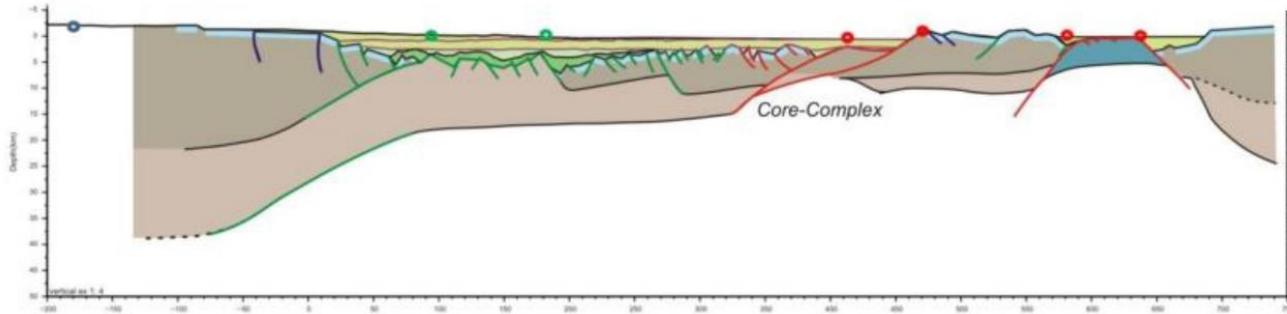
Fase de Afinamento (inicial)
 Formação do *Necking*
Core-Complex envolvendo
 crosta inferior



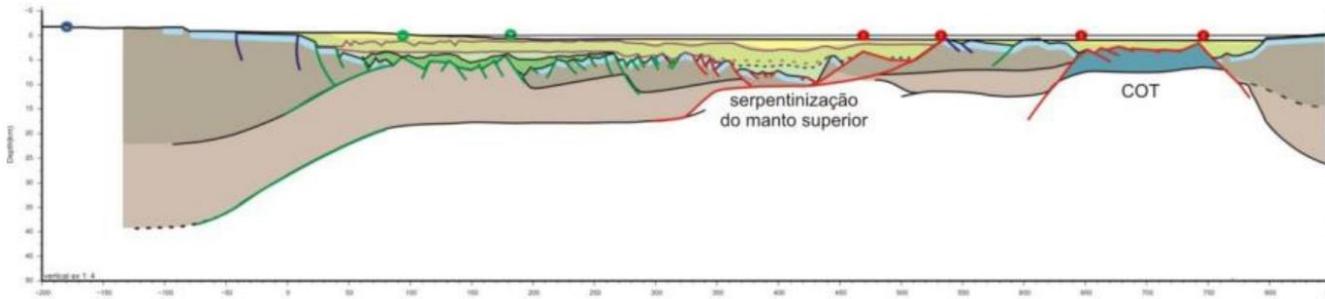
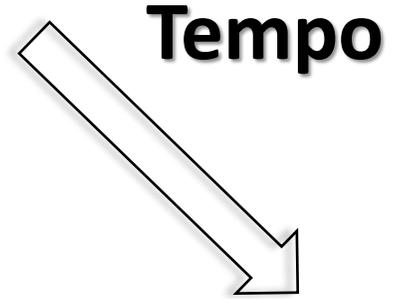
Fase de Afinamento (final)
Necking
Core-Complex envolvendo
 crosta inferior desenvolvido.
 Formação do Rifte Interno.
 Sedimento com geometria
 de preenchimento rifte na base,
 geometria de preenchimento
sag no topo.
 Sistema da falhas transcorrentes.



Tempo

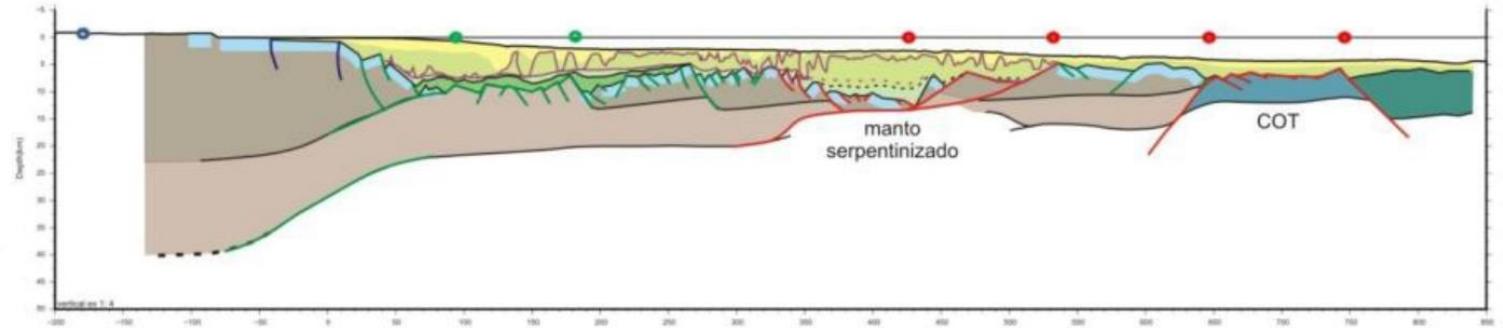
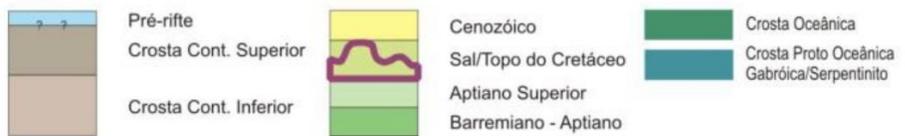


Fase de Exumação (inicial)
 individualização do Bloco Resistente.
 Rotação do Bloco Resistente.
 formação de crosta oceânica SSW ; NNE.
 formação do Alto Externo.
 Início da formação do Rifte Externo.
 deposição da camada de Sal.
 instalação do sistema de descolamento,
Core-Complex envolvendo manto superior.
 sistema transcorrente entre a placa
 Sul-americana e Africana.

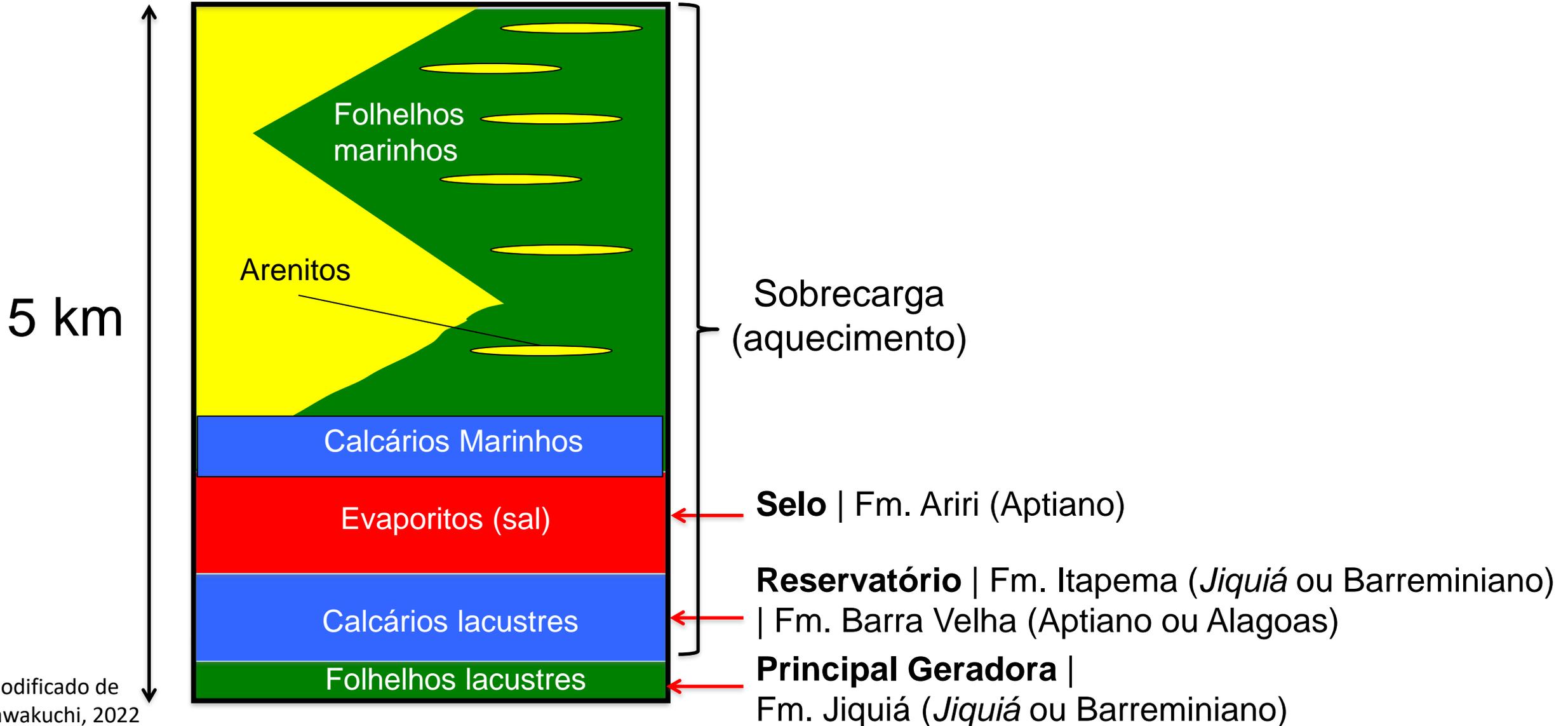


Fase de Exumação (final)
 formação do Rifte Externo.
 continuação da deposição da camada de Sal.
 serpentinização do manto superior.
 formação do Domínio Alóctone (COT),
 crosta proto oceânica de composição gabróica.
 deriva entre placas W-E.
breakup com componente transcorrente.

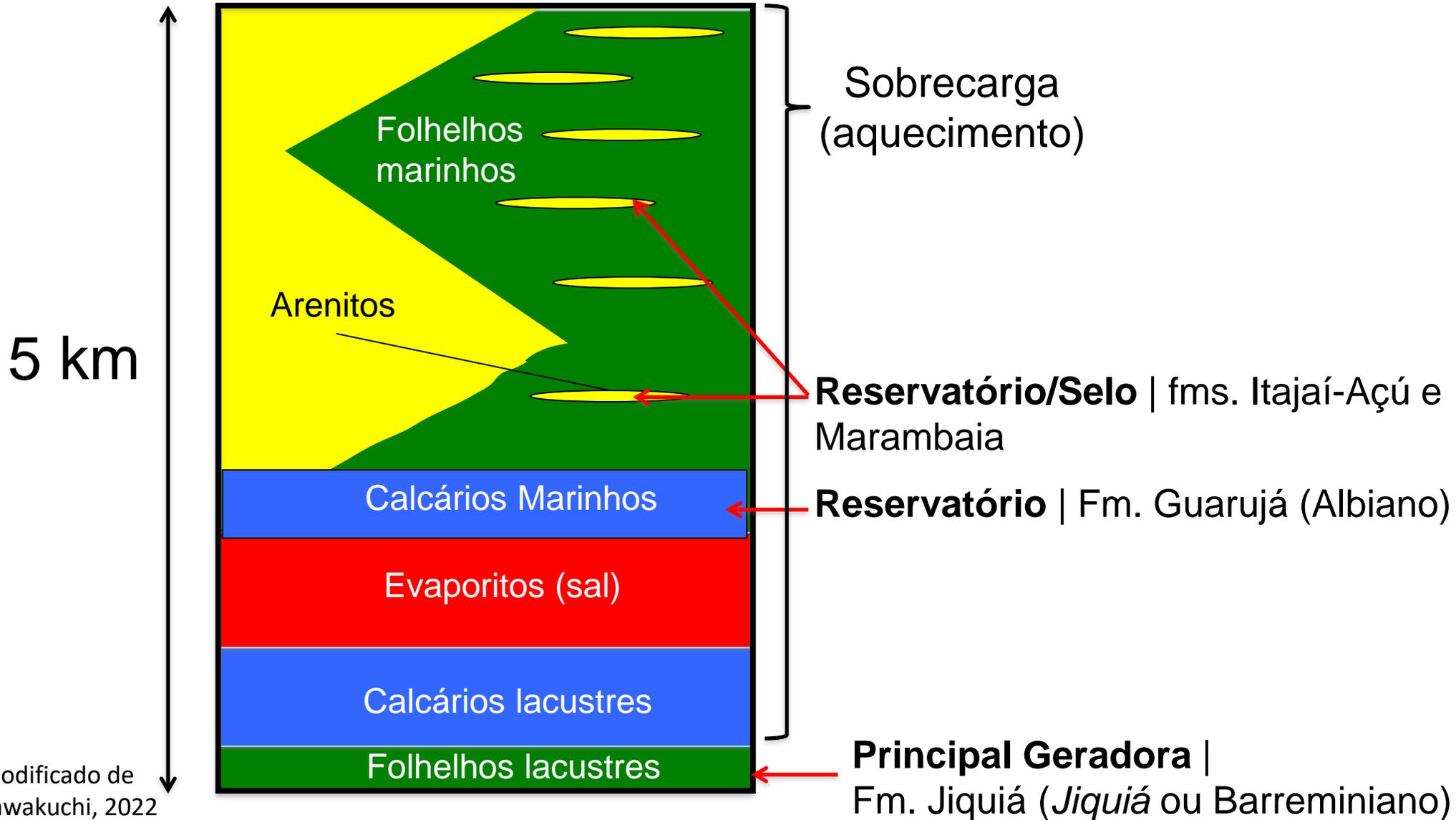
Tectônica Drifte
 instalação de crosta oceânica típica
 subsidência termal



3. SPs da Bacia de Santos – Pré-Sal

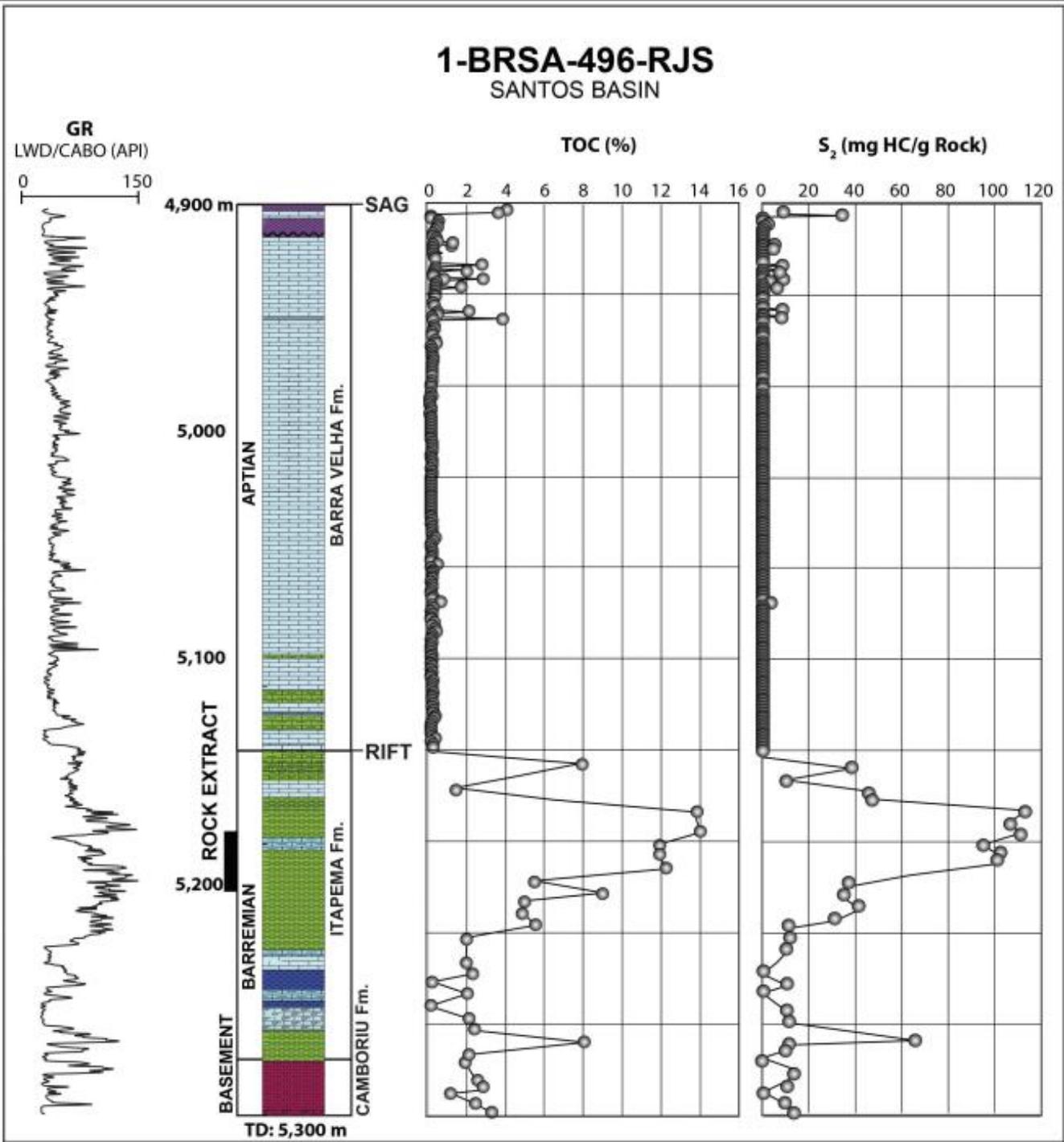


3. SPs da Bacia de Santos – Pós-Sal



3. SPs da Bacia de Santos – Geradoras

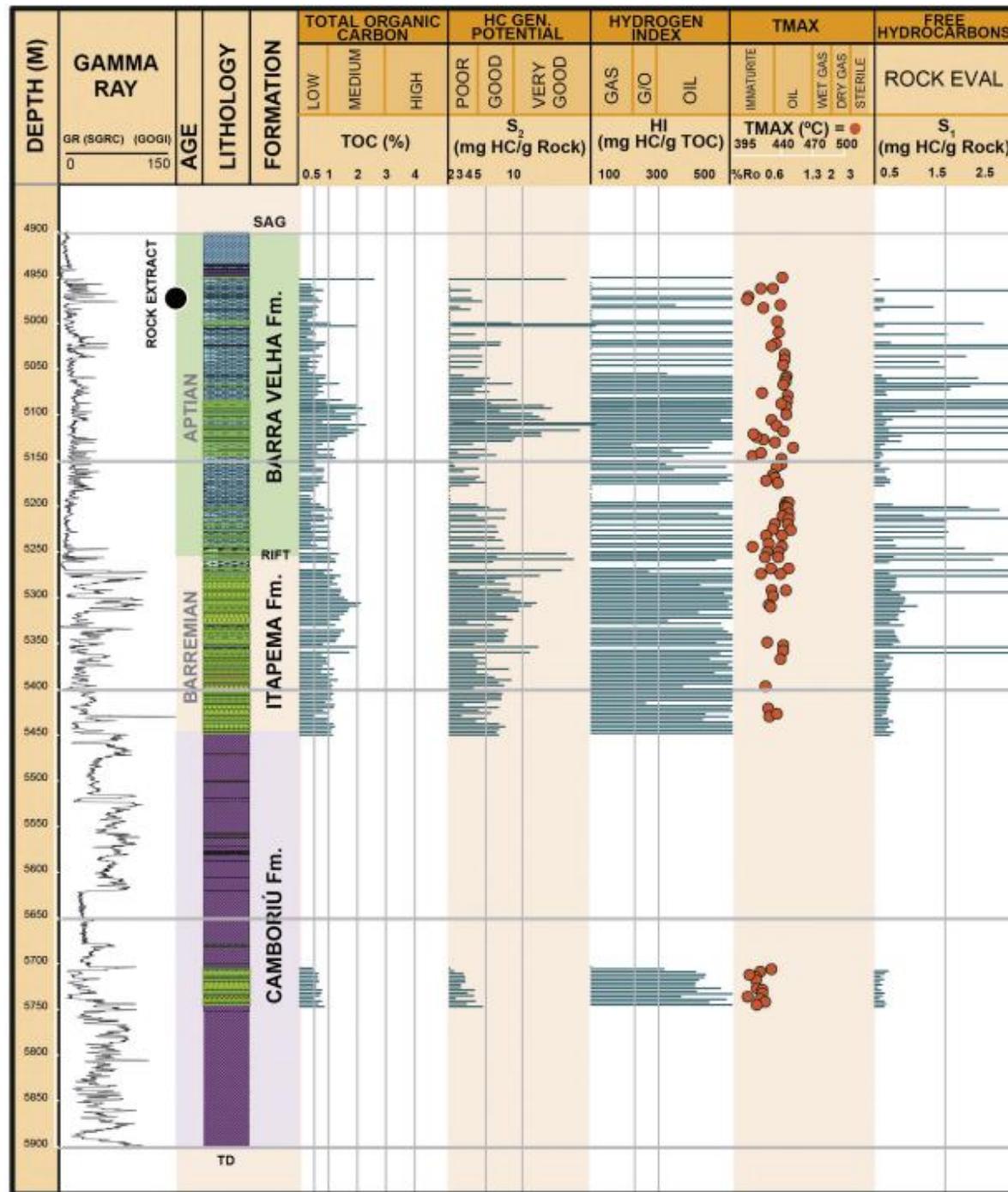
Qual o potencial gerador?



Mello et al. (2021b)

3. SPs da Bacia de Santos – Geradoras

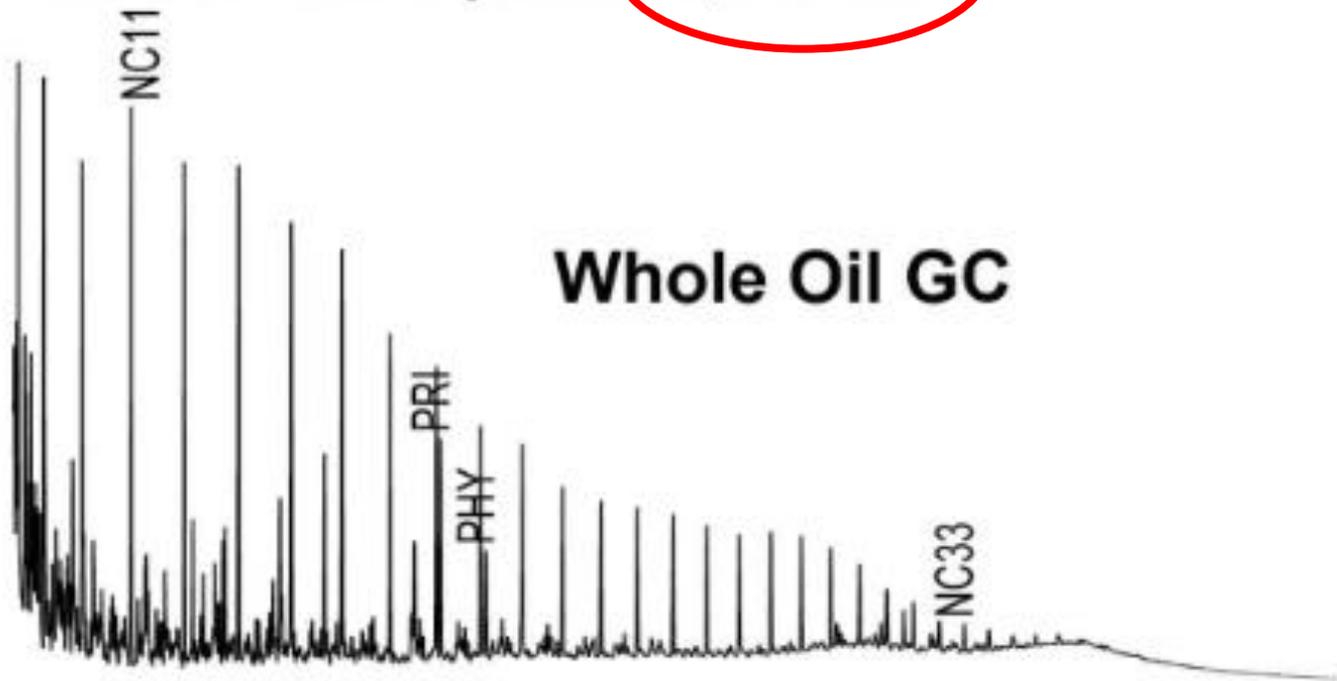
Qual tipo de querogênio?
Qual o nível de maturação informado?



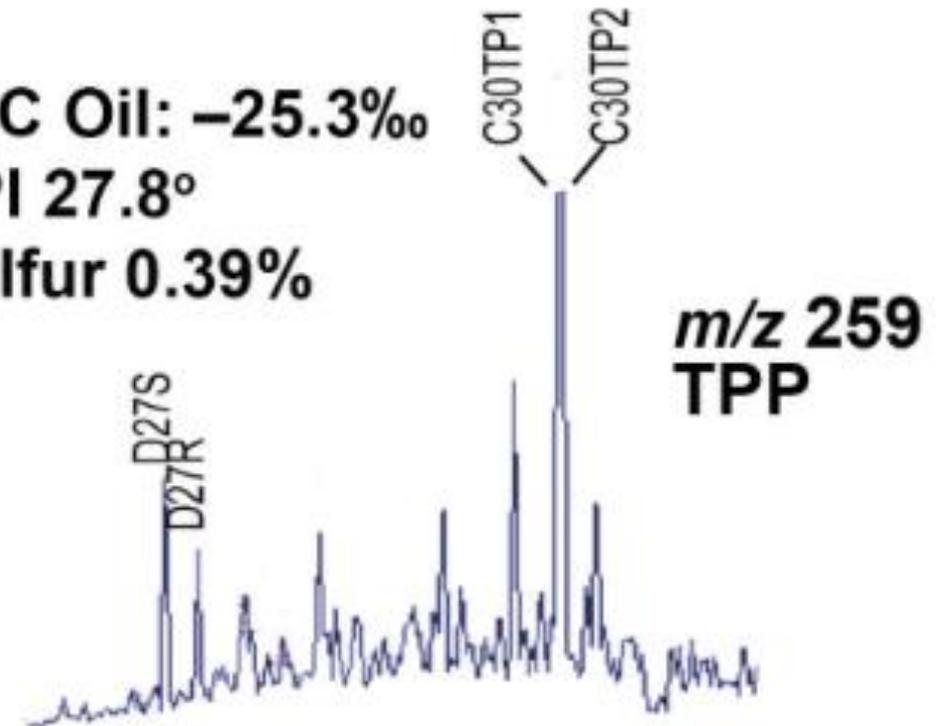
Níveis locais da Fm. Barra Velha também atuam como geradores.

3. SPs da Bacia de Santos – Pré-Sal: O óleo

2-ANP-2A-RJS (Oil from Mero Field, Santos Basin)
mid-to-late Aptian: **5,548 m**

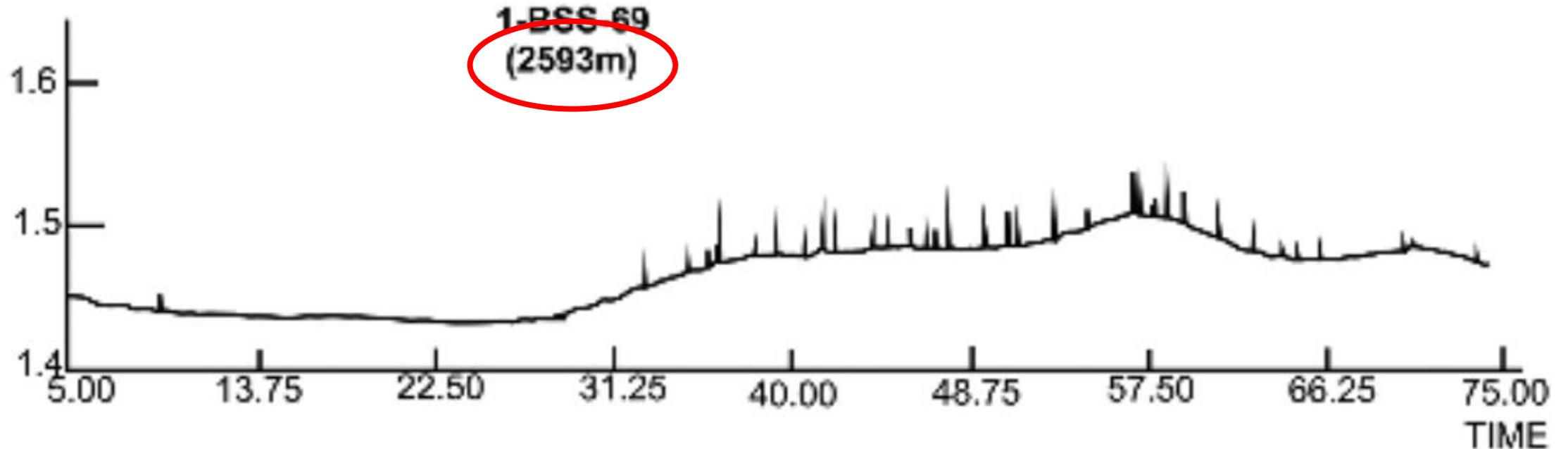


$\delta^{13}\text{C}$ Oil: -25.3‰
API 27.8°
Sulfur 0.39%



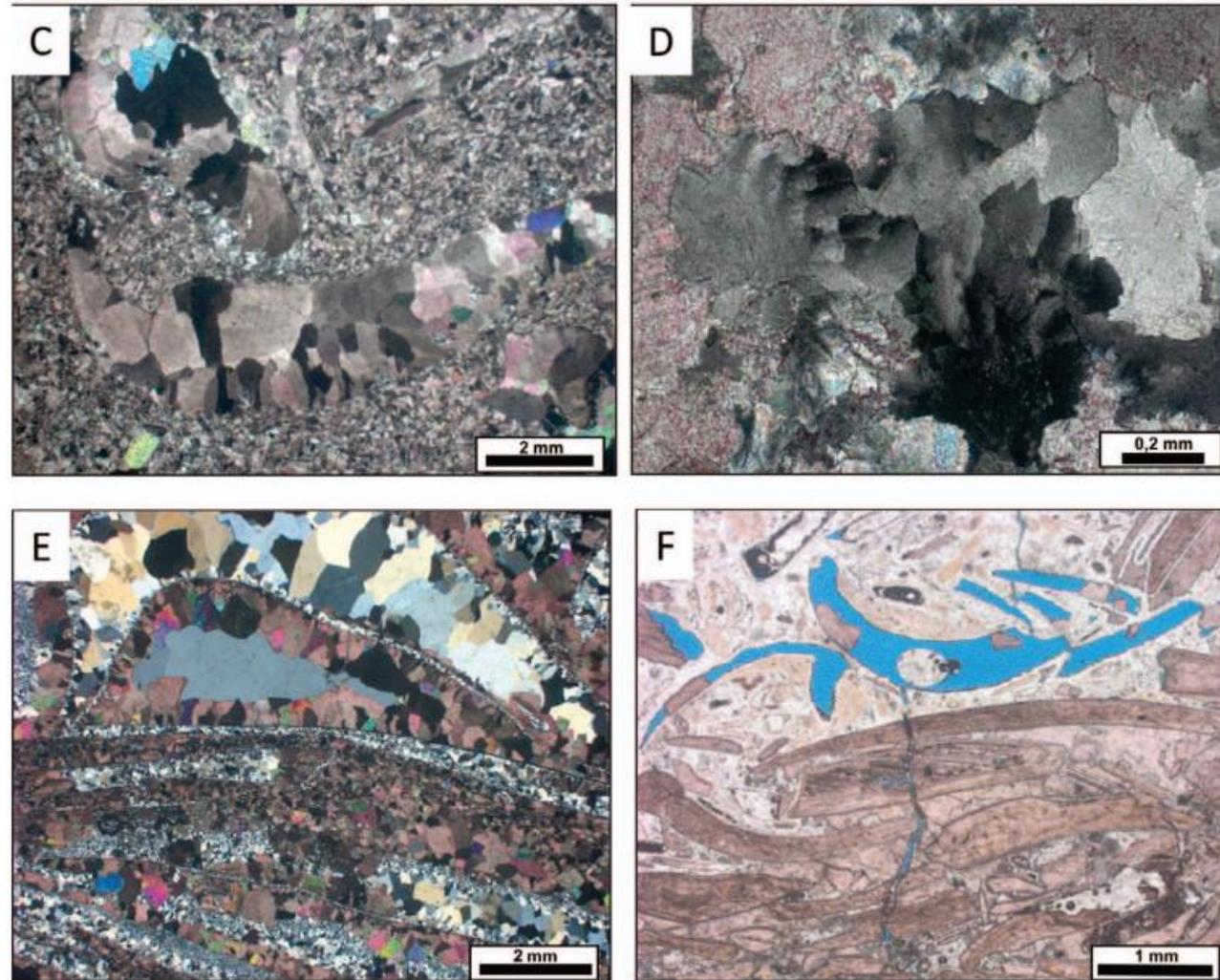
3. SPs da Bacia de Santos – Pós-Sal: O óleo

Exemplo de cromatograma de íons totais mostrando o **intervalo dos *n*-alcanos** da fração saturada (Bloco Oliva, Oligo-Mioceno) – API < 10



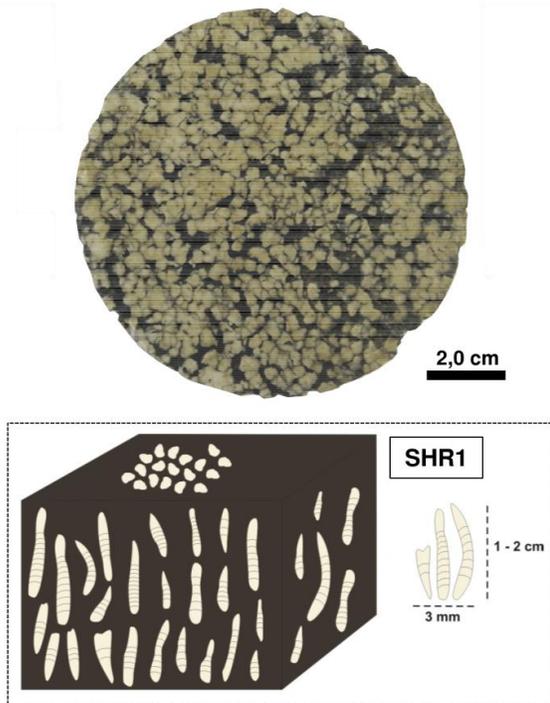
O que aconteceu com o óleo? Biodegradação!

3. SPs da Bacia de Santos – Pré-Sal (Reservatórios da Fm. Itapema – as coquinas)

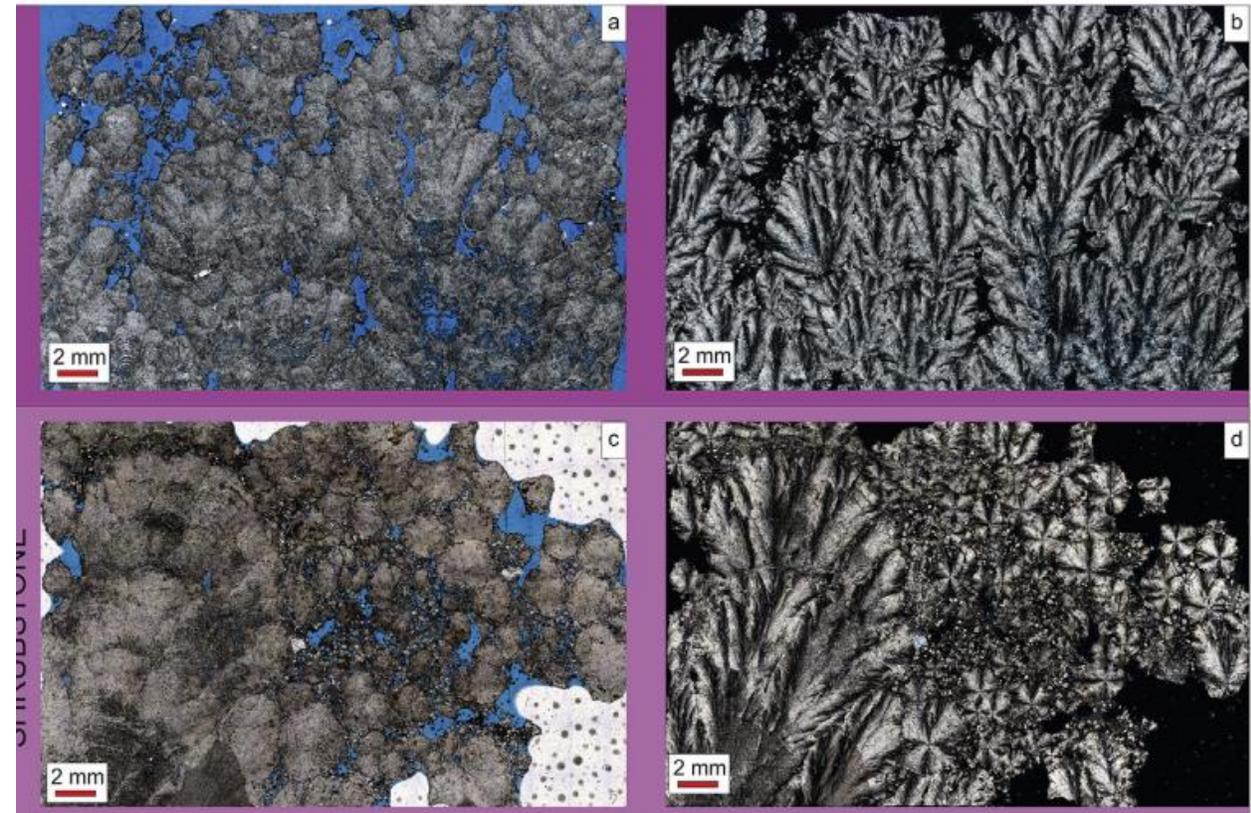


3. SPs da Bacia de Santos – Pré-Sal (Reservatórios da Fm. Barra Velha)

Shrubs (Arbustiformes e Arborescentes)



ANP (2013)

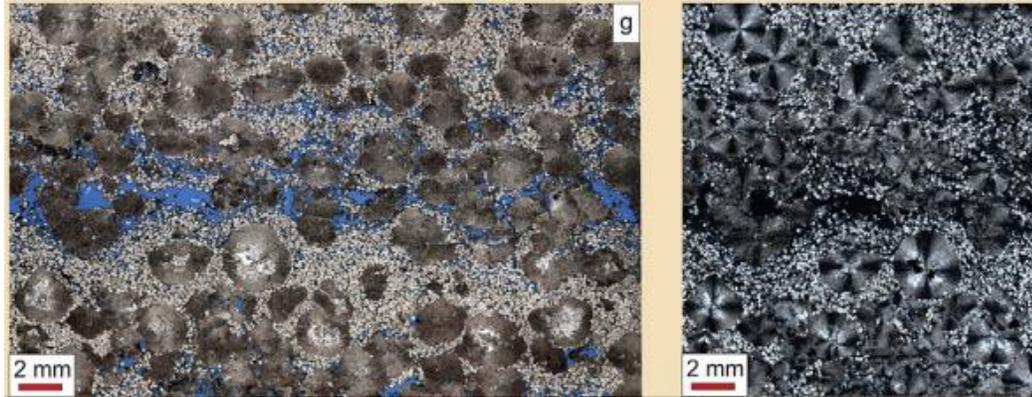


Gomes et al. (2019)

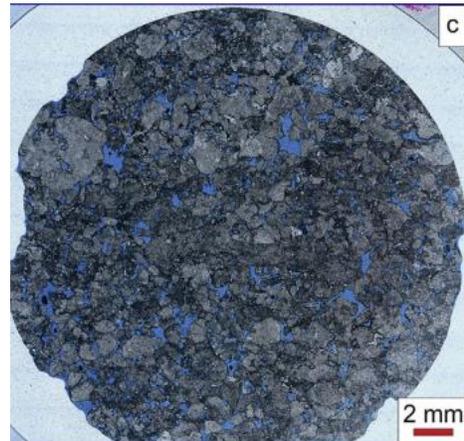
3. SPs da Bacia de Santos – Pré-Sal (Reservatórios da Fm. Barra Velha)

Esferulitos e Fácies Retrabalhadas

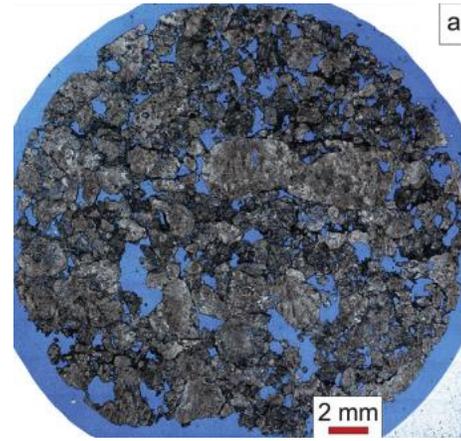
Esferulitos



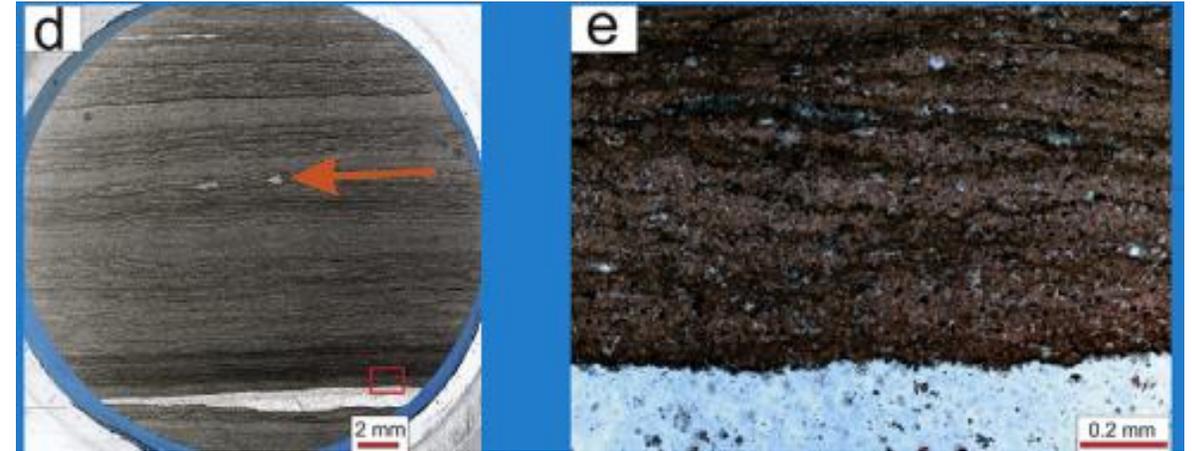
Grainstones



Rudstones

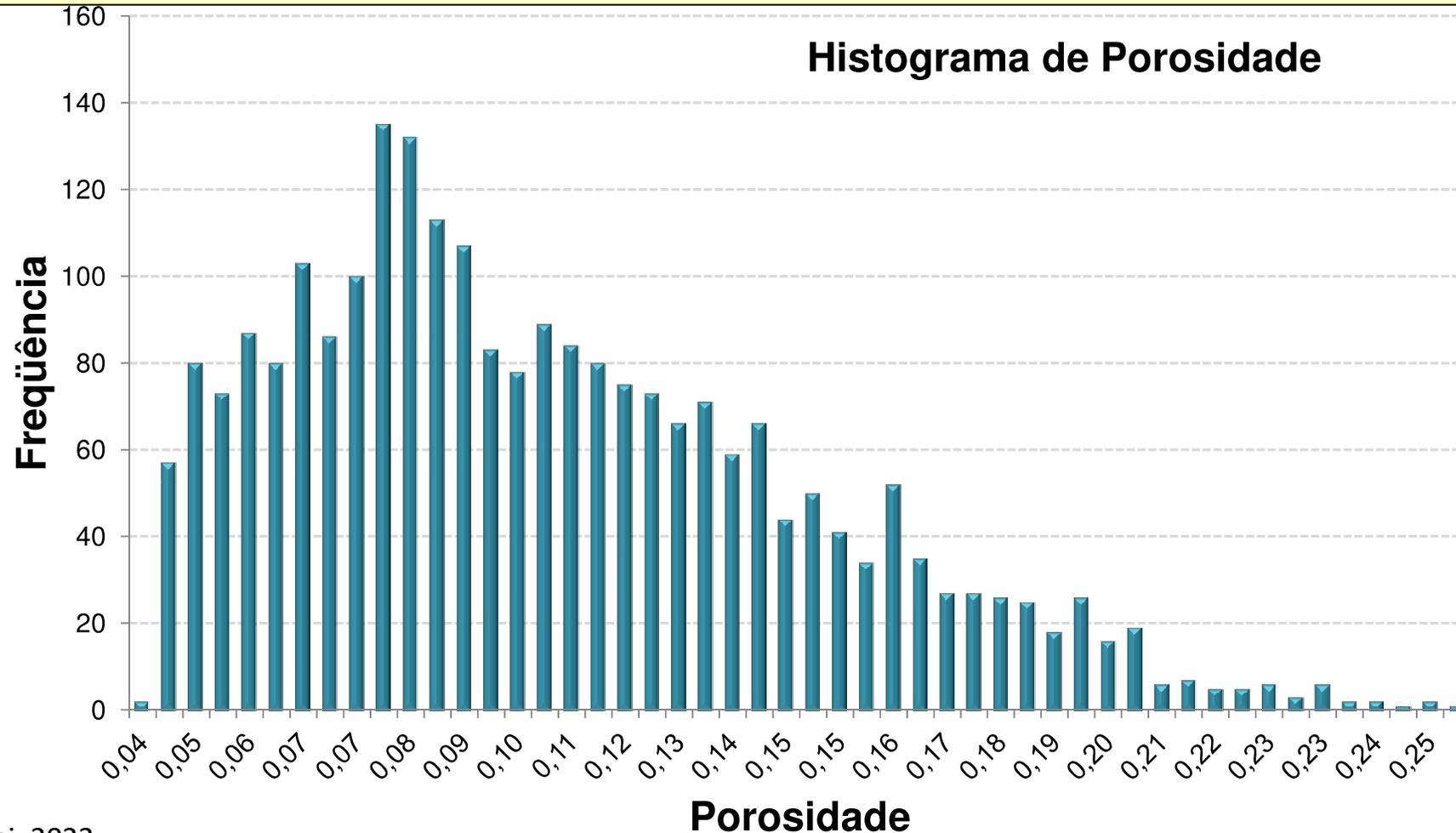


Lamitos e Laminitos

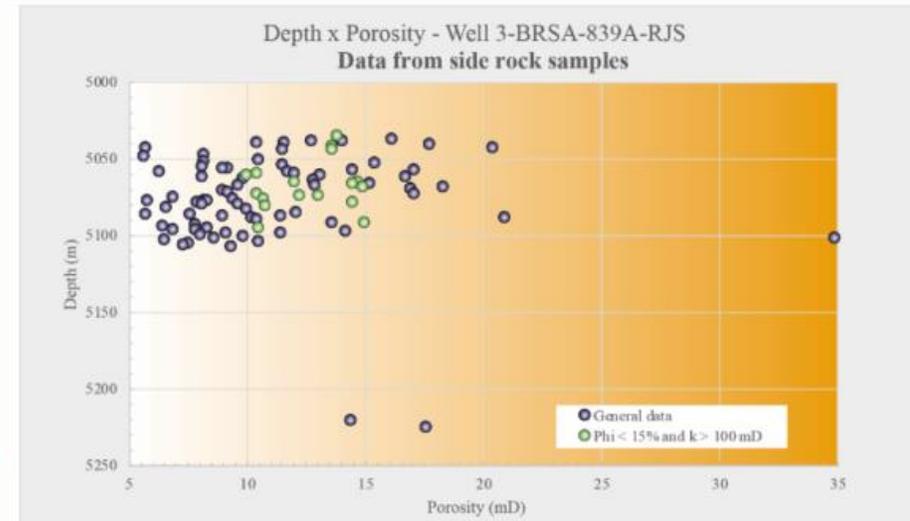
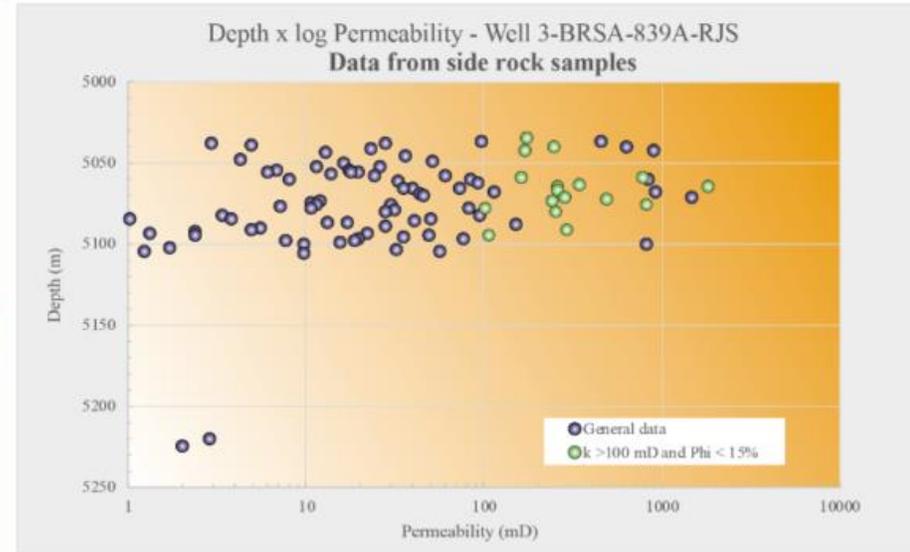
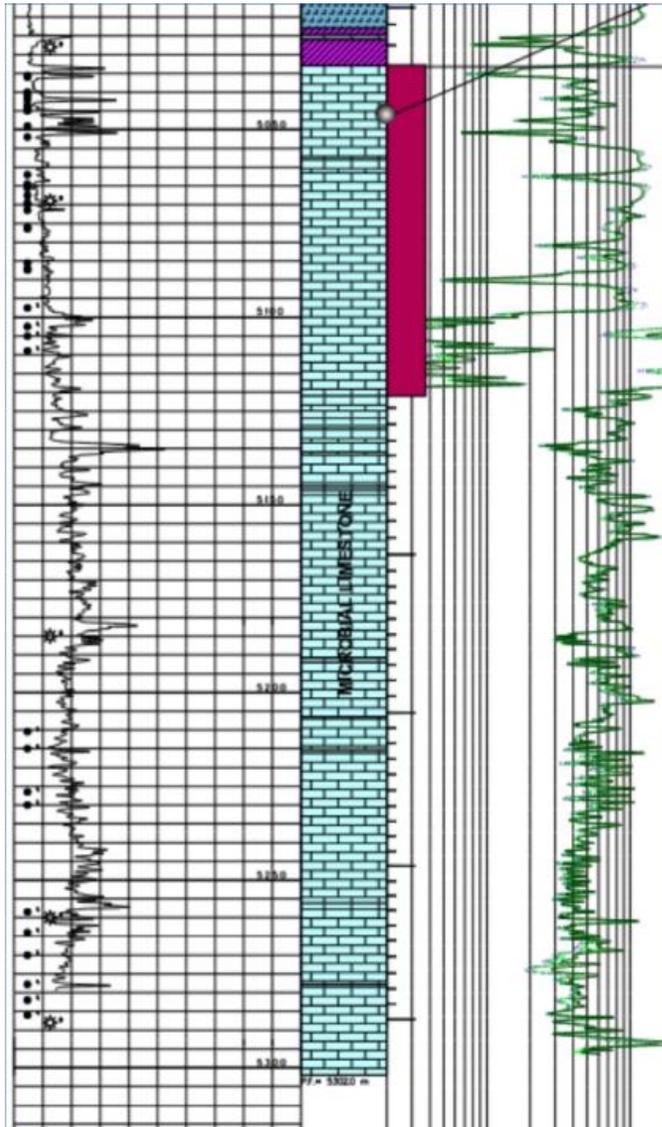


3. SPs da Bacia de Santos – Pré-Sal: Qualidade

Reservatórios (packstones/grainstones e arbustiformes)



3. SPs da Bacia de Santos – Pré-Sal: Qualidade



Fonte: Brazilian Petroleum Studies [Web](#) (acessado Jun/23)

4. *Plays* Exploratórios

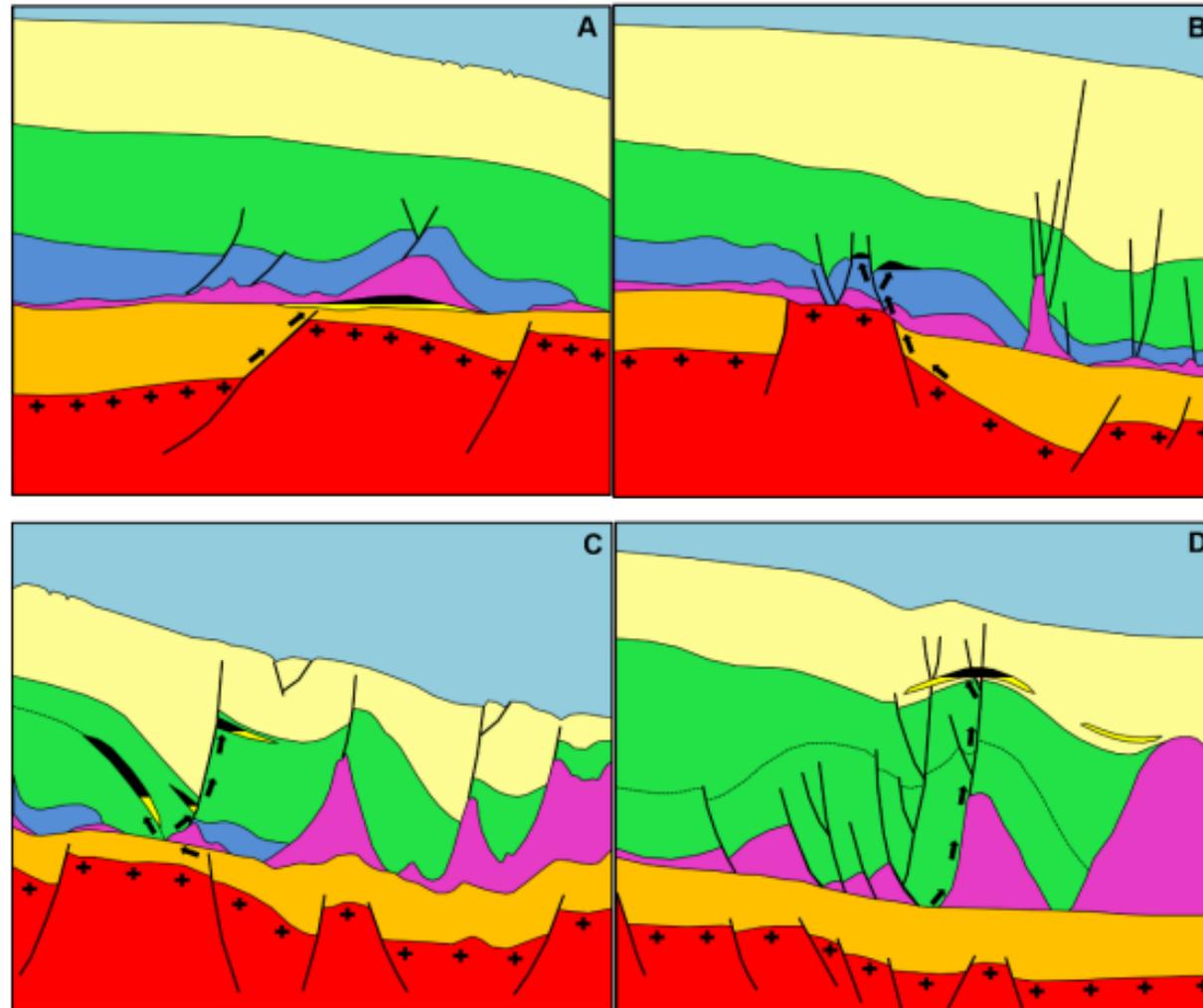
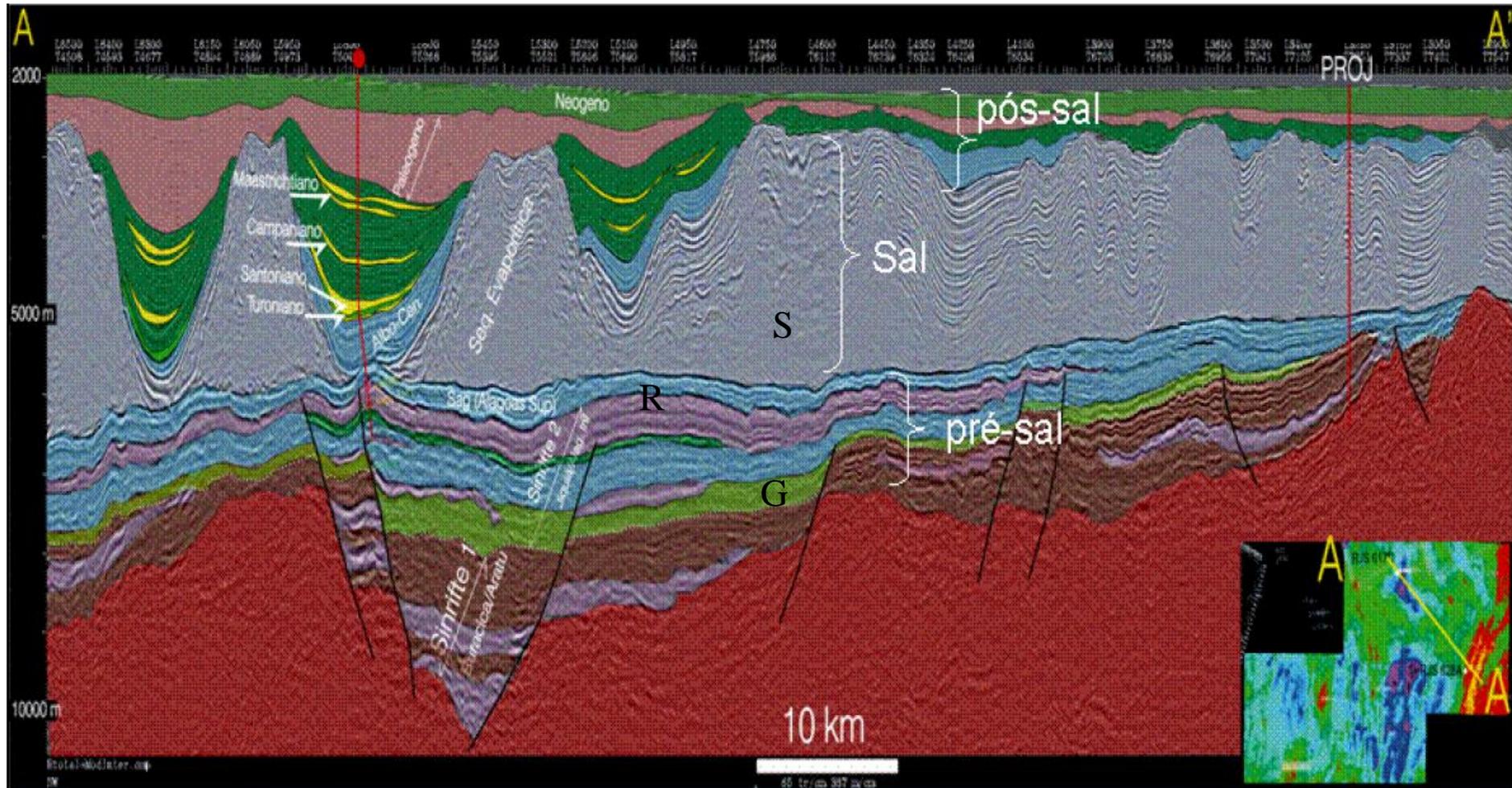


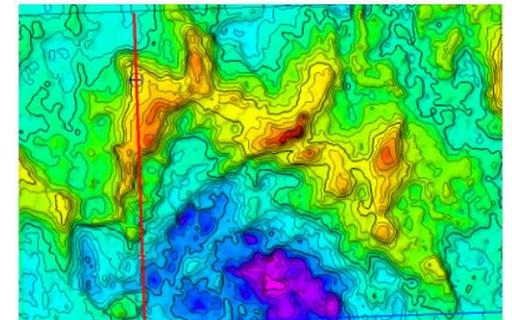
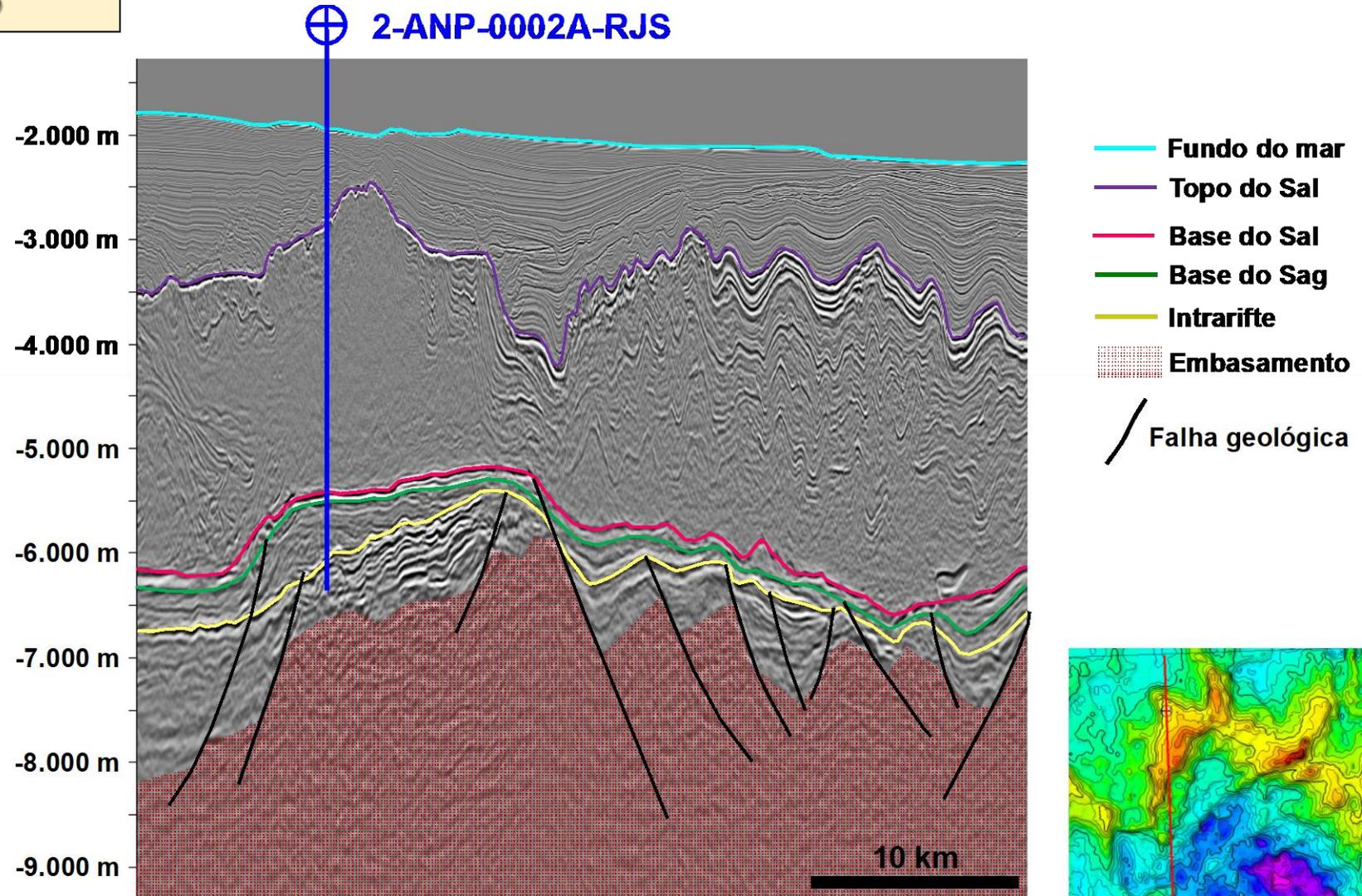
Figura 7: Principais modelos de acumulação da Bacia de Santos (Chang *et al.*, 2008);
A) *Play* Pré-Sal; B) *Play* carbonático albiano da Formação Guarujá; C) *Play* turbidítico do Membro Ilhabela; D) *Play* turbidítico da Formação Marambaia.

4. Plays do Pré-Sal



4. Plays do Pré-Sal

Campo de Mero



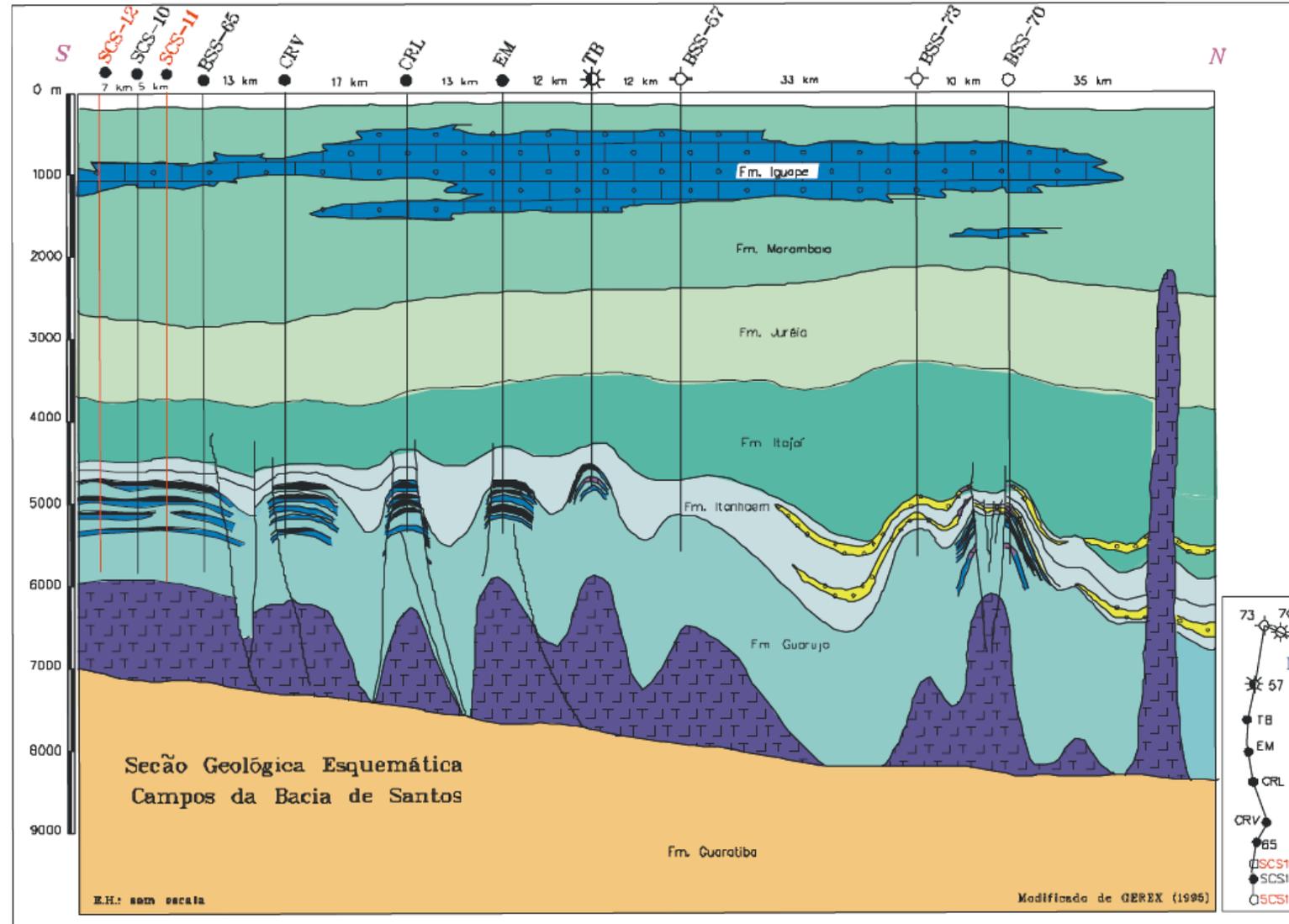
Sawakuchi, 2022

Inline 1664 – Cortesia CGG-Veritas

ANP (2013)

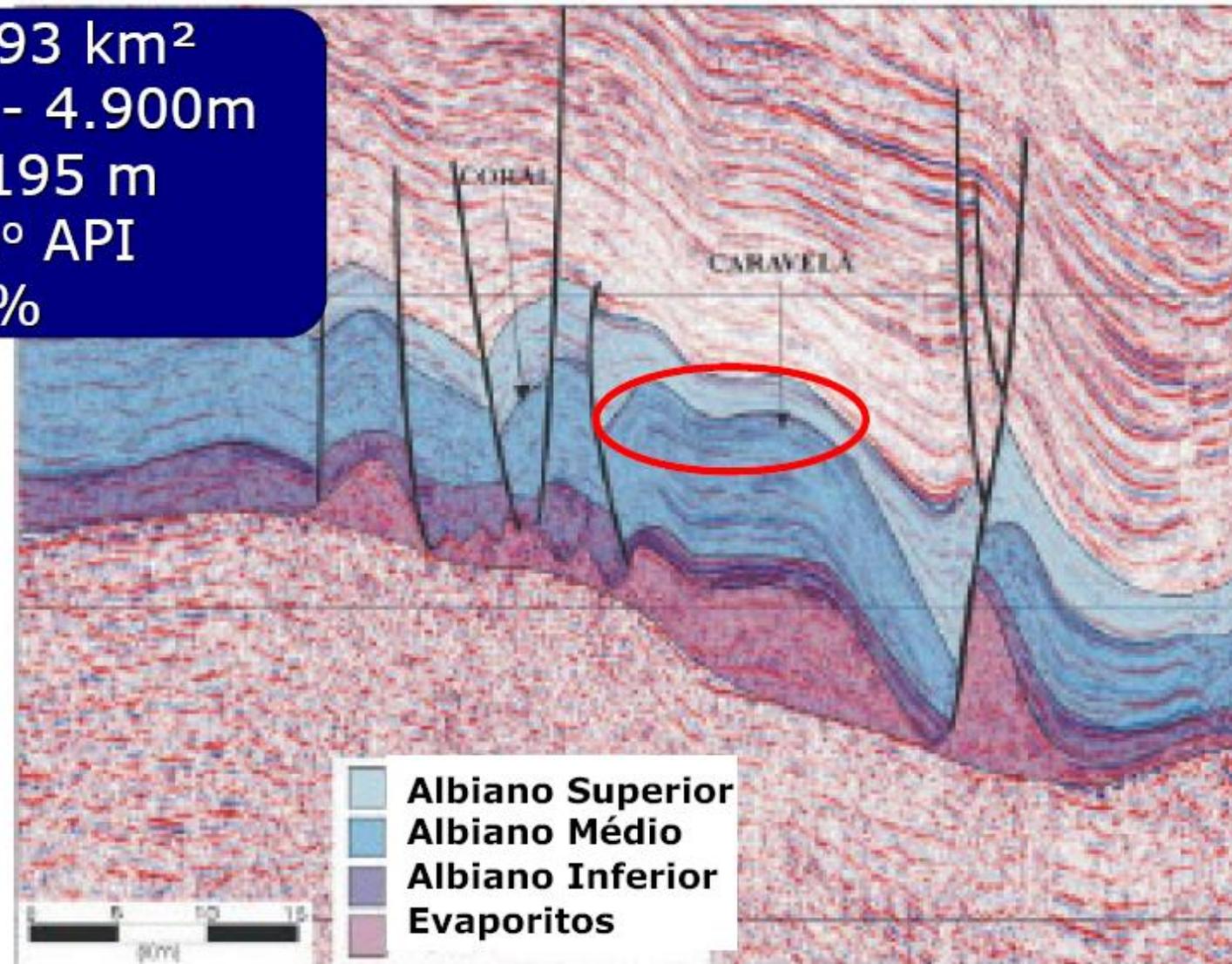
4. Plays do Pós-Sal - Calcários Albianos

Armadilhas em calcários do Albiano (Pós-sal)

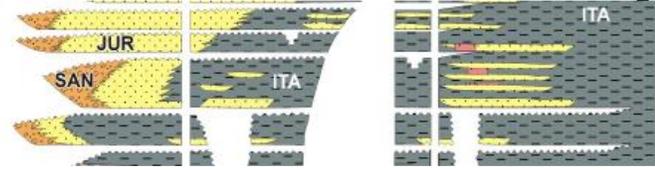


Campo de óleo em calcário albio (pós-sal) (Campo de Caravela)

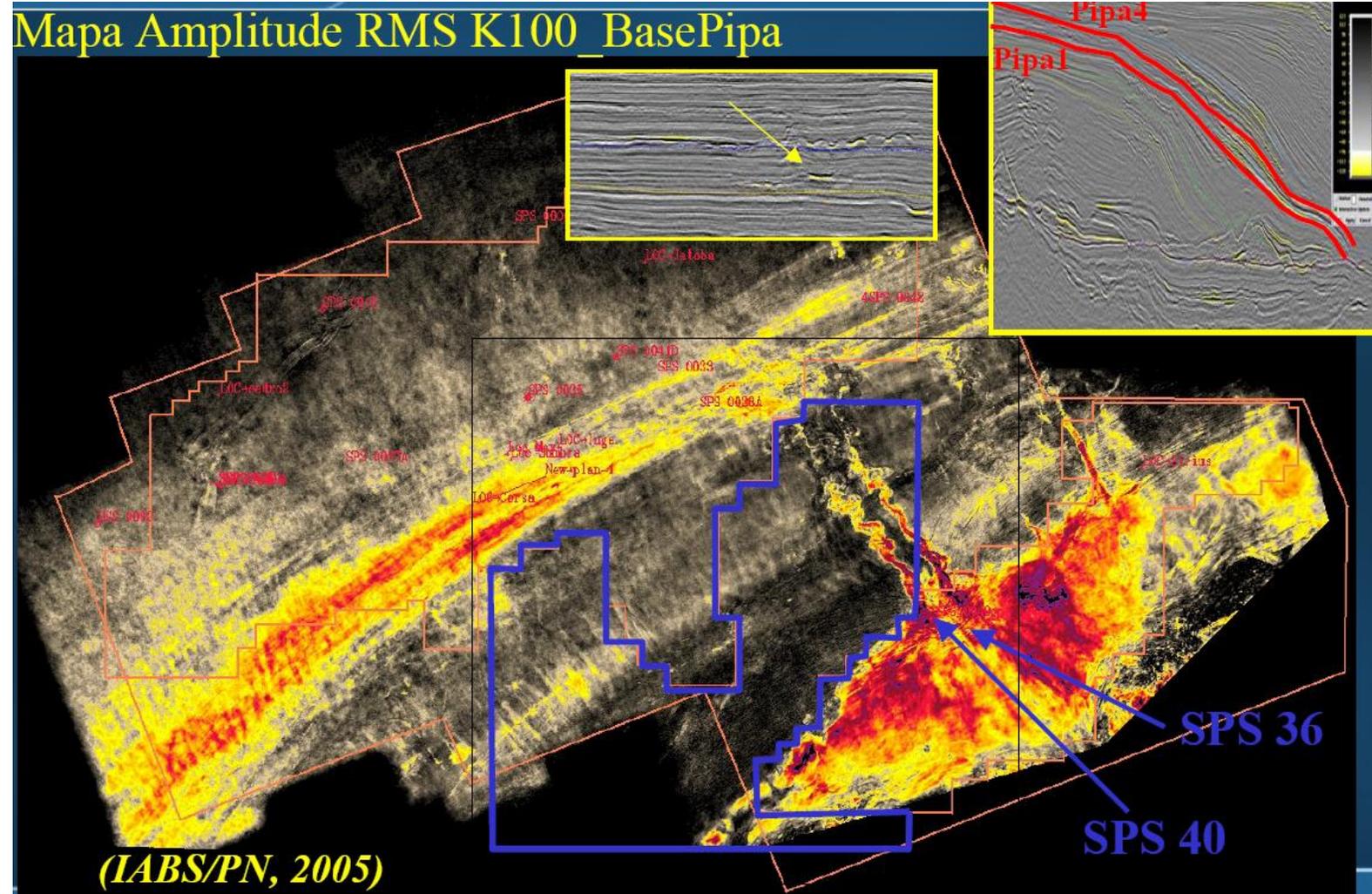
Área: 193 km²
Prof. ~ - 4.900m
LDA = 195 m
Óleo 40° API
Ø = 13%



4. Plays do Pós-Sal - Turbiditos

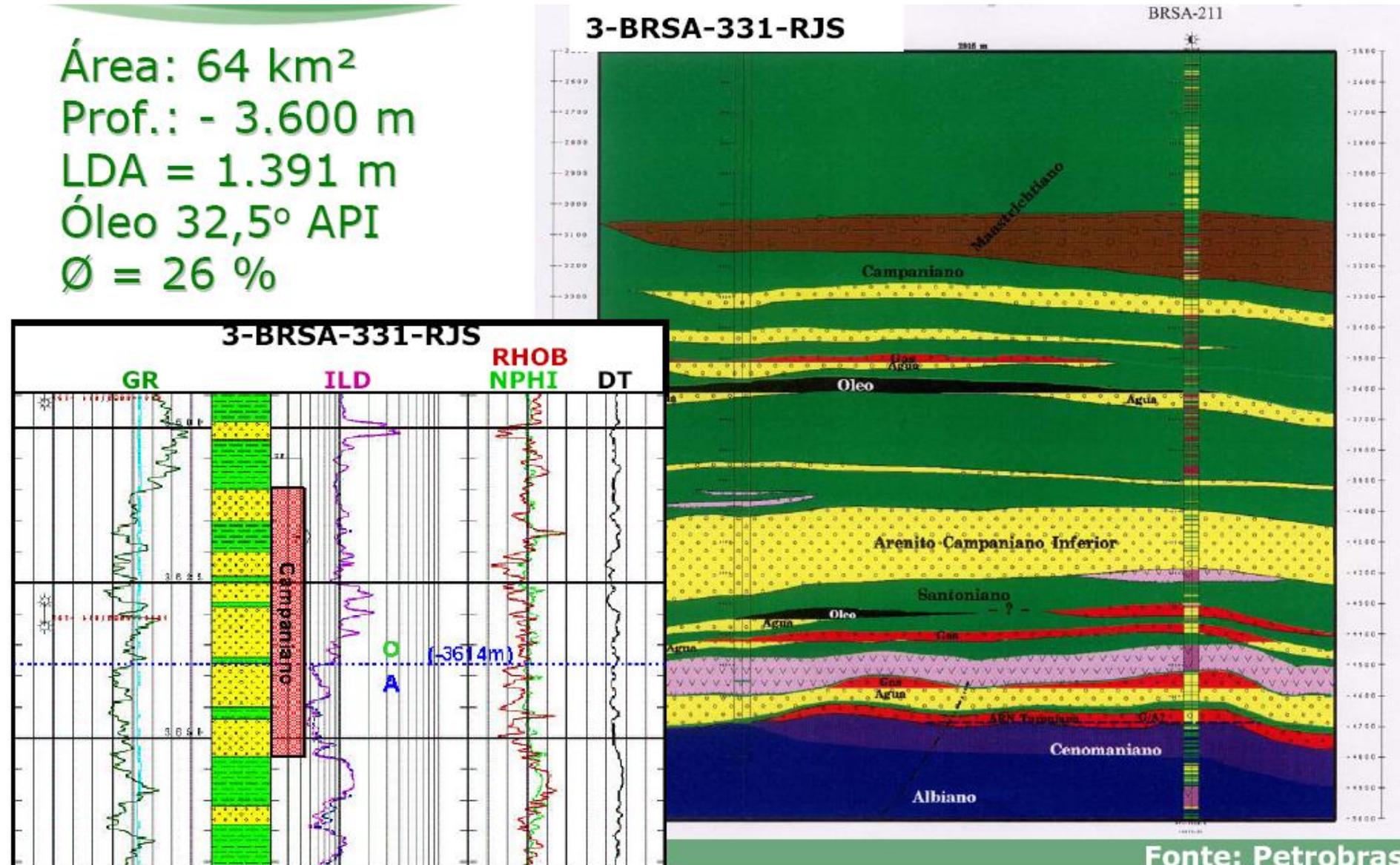


Seção
campaniana



Armadilha em turbiditos do Neocretáceo (Pós-sal) (Campo de Urunguá)

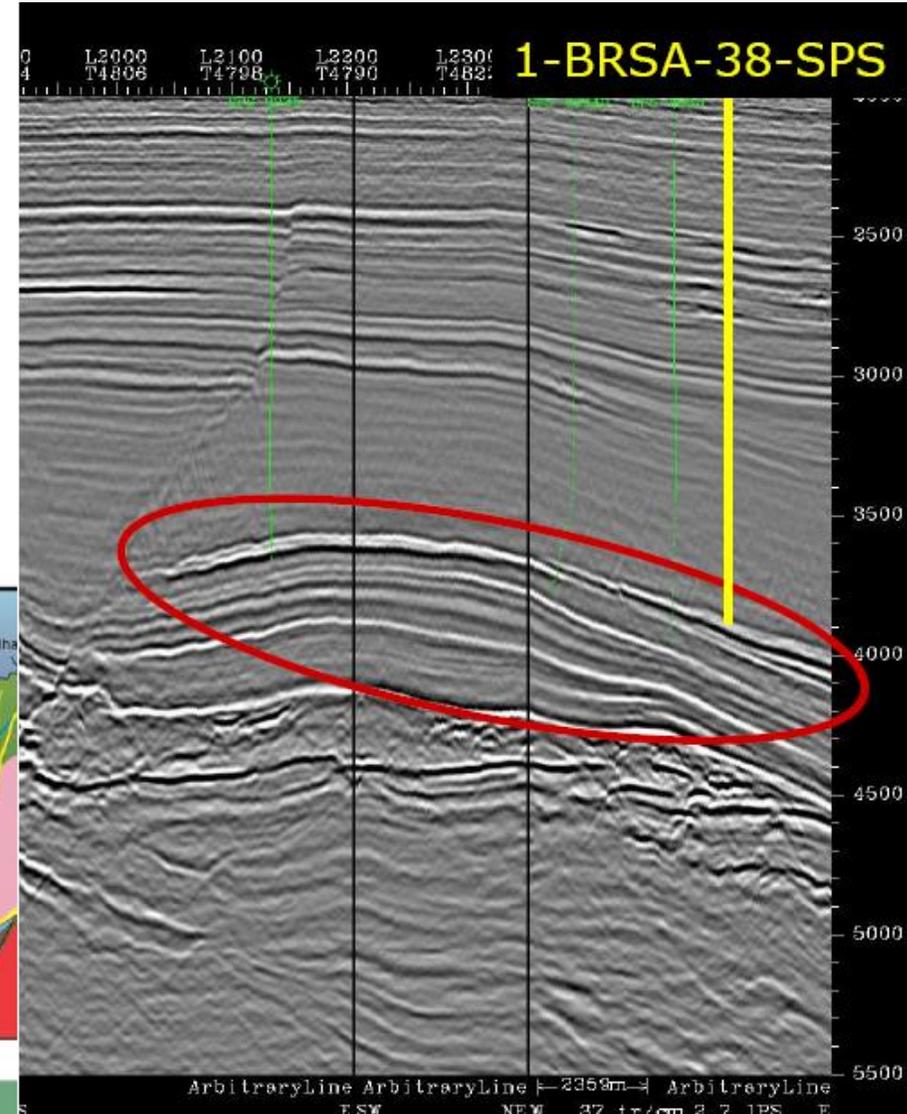
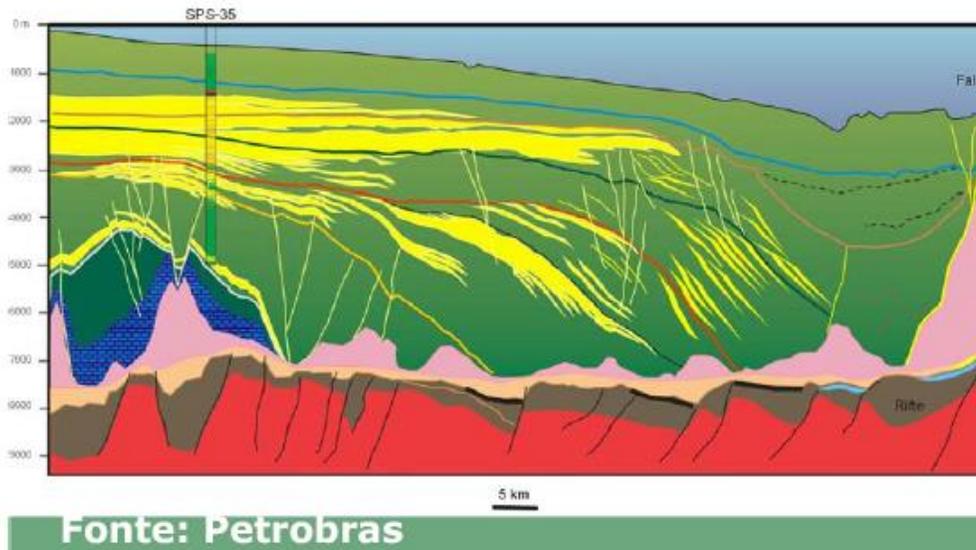
Área: 64 km²
Prof.: - 3.600 m
LDA = 1.391 m
Óleo 32,5° API
Ø = 26 %



Fonte: Petrobras

Armadilhas em arenitos costeiros e turbiditos do Neocretáceo (Pós-sal) (Campo de Mexilhão)

Área: 546 km²
LDA ~ 500 m
Prof. ~ -4.400 m
Ø = 13-19 %
k = 0.5 - 5 mD



5. Resumo da Aula

- Nessa aula foram abordados:

1. Introdução aos **sistemas petrolíferos do pré-sal e do pós-sal** através do **estudo de caso da Bacia de Santos**
2. **Origem e evolução tectonoestratigráfica da Bacia de Santos**
3. Qualidade do **principal gerador** e as **diferenças dos óleos do pré-sal e do pós-sal**
4. **Exemplos de reservatórios do Pré-Sal e sua qualidade!**
5. Exemplos de ***plays* exploratórios na Bacia de Santos**

6. Referências

- ANP (2017) BACIA DE SANTOS: Sumário Geológico e Setores em Oferta. Brazil 14 Round.
- Gomes et al. (2019) Facies classification and patterns of lacustrine carbonate deposition of the Barra Velha Formation, Santos Basin, Brazilian Pre-salt. *Marine and Petroleum Geology*.
- Mello, M. R. et al. (2021a) The Santos Basin pre-salt super giant petroleum system: An incredible journey from failure to success, in Marcio R. Mello, Pinar O. Yilmaz, and Barry J. Katz, eds., *The supergiant Lower Cretaceous pre-salt petroleum systems of the Santos Basin, Brazil: AAPG Memoir 124* p. 1–34.
- Mello, M. R., et al. (2021b) Lacustrine source rocks and oil systems present in the Lower Cretaceous pre-salt section of the Santos Basin, Brazil, in Marcio R. Mello, Pinar O. Yilmaz, and Barry J. Katz, eds., *The supergiant Lower Cretaceous pre-salt petroleum systems of the Santos Basin, Brazil: AAPG Memoir 124*, p. 35–76.
- Moreira, J. L. P., Madeira, C. V., Gil, J. A., Machado, M.A.P. (2007), *Bacia De Santos: Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, no. 2, p. 531–549.
- Nardi et al. (2020) Depositional And Diagenetic Processes In The Pre-salt Rift Section Of A Santos Basin Area, SE Brazil. *Journal of Sedimentary Research*.
- Nunes et al. (2017) Oil Biodegradation in Siliciclastic Reservoir: an Example from Paleogene, Oliva Block, North of Santos Basin, Brazil. *Anuário dos Instituto de Geociências da UFRJ*.
- Rigoti, C.A. (2015) *Evolução tectônica da Bacia de Santos com ênfase na geometria crustal: Interpretação integrada de dados de sísmica de reflexão e refração, gravimetria e magnetometria*. Dissertação de Mestrado – UERJ.
- Sawakuchi, A. O. (2022) Slides da disciplina GSA0463 Geologia do Petróleo. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Obrigado!!