

Paleodrenagem e estratigrafia dos sistemas deposicionais Pleistoceno Superior-Holoceno da plataforma norte fluminense, bacia de Campos

*Marcela Coronel Lopes¹; Antonio Tadeu dos Reis²; Clerverson Guizan Silva¹, ¹LAGEMAR, Universidade Federal Fluminense (UFF), ²Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Copyright 2016, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VII Simpósio Brasileiro de Geofísica, Ouro Preto, 25 a 27 de outubro de 2016. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VII SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

The analysis of seismic profiling of different levels of resolution has provided further details concerning the shallow stratigraphic succession (~150 ms) of the southern shelf of Campos basin, SE Brazilian margin. The upper shelf sequences Sq4 and Sq5 are composed of a series of depositional subunits which reflect different Depositional System Tracts and thus provide further information of how the successive cycles of construction of the shelf sedimentary systems took place during the last 140 ky. The seismic analysis also made it possible the recognition and mapping of a complex paleo drainage system represented by three different generations of fluvial shelf excavation, developed along different regression cycles. The identified paleo drainage was also correlated to the main present-day hydrographic basin of the Paraíba do Sul, Una, São João and Macaé rivers.

Introdução

O potencial exploratório da bacia de Campos ocasionou desde há muito, um grande interesse acerca do detalhamento e mapeamento de depósitos sedimentares marinhos tanto para indústria do petróleo como para a reconstrução de modelos deposicionais e estratigráficos da bacia. Contudo, no cenário da área de estudos, pesquisas abordando a evolução geológica e estratigráfica durante o Quaternário permanecem relativamente escassas. Somente alguns trabalhos, como Kowsmann et al. (1979), Marangoni et al. (2013) e Teixeira (2013), investigaram a arquitetura de depósitos sedimentares dessa janela temporal.

O período Quaternário é de grande importância para a evolução das margens continentais, visto que nos últimos 500-600 Ka, as margens estiveram sujeitas a ciclos glacio-eustáticos de ~100-120 ka de duração, acompanhados de amplitudes de variações eustáticas de ~±90-145 m (RABINEAU et al., 2006). Tais amplitudes do sinal eustático podem ocasionar a exposição completa ou quase completa das plataformas continentais, influenciando fortemente o padrão de transferência sedimentar continente-mar profundo, assim como o registro estratigráfico e a arquitetura deposicional das plataformas continentais.

Nessa conjuntura o presente estudo focaliza a reconstrução estratigráfica da porção sul da plataforma

continental da bacia de Campos ocorrida sob a influência de ciclos sucessivos de destruição e construção, parcial ou quase total, durante os últimos ~140 ka. Para tal finalidade foi utilizada uma malha de dados sísmicos de diferentes níveis de resolução (Sparker, Boomer e Chirp), que resulta em distintos níveis de detalhamento dos cerca de 100 m de espessura sedimentar superficial, o que contribuiu para evidenciar depósitos e processos sedimentares de várias escalas espaciais e temporais que atuaram no desenvolvimento deposicional das sequências Sq4 (130-20 ka) e Sq5 (últimos ~20 ka), anteriormente definidas por Marangoni et al. (2013) na área de estudos.

Metodologia

A base de dados sísmicos consiste em aproximadamente 3.500 km de linhas sísmicas coletadas na área de estudo (Figura 1). A maioria dos dados sísmicos, cerca de 2.400 km, foi adquirida simultaneamente com frequência *Chirp* de 0,5-5,5 kHz e com equipamento Sparker 700J, o que possibilitou apoio à correlação cronoestratigráfica e à interpretação sísmica. Além disso, 700 km de dados sísmicos monocanal e multicanal foram adquiridos simultaneamente com a fonte única *Boomer* 500 J. E cerca de 400 km de antigas linhas sísmicas, adquiridas com fonte *Boomer* 300J, foram integradas a base de dados sísmicos.

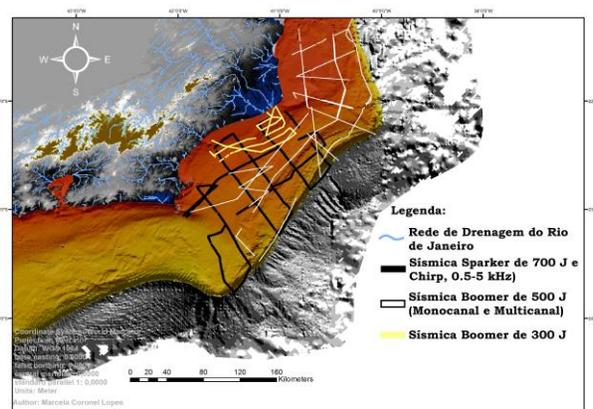


Figura 1: Posição geográfica da base de dados sísmicos na área de estudo.

A metodologia utilizada neste trabalho consiste no processamento dos dados sísmicos no programa Seismic Unix (COHEN & STOCKWELL, 2011), o qual permite suprimir e atenuar ruídos (Figura 2). Em seguida, os dados sísmicos processados juntamente com dados regionais, imprescindíveis para compor a compreensão da área de estudo, foram inseridos no programa PKS Kingdom Suite®. No referido software foi realizada a

interpretação sísmica baseada nos princípios de Estratigrafia de Sequências, apoiada nos elementos descritivos da Estratigrafia Sísmica (e.g., Catuneanu, 2006).

A interpretação e identificação da paleodrenagem foi fundamentada na identificação e associação dos paleocanais às suas respectivas idades, ou seja, superfícies estratigráficas, de exposição subárea, onde os mesmos se encontravam esculpidos. Posteriormente foram analisados os aspectos morfológicos como largura e espessura, a posição geográfica, e o preenchimento sedimentar dos principais paleocanais. A similaridade entre os parâmetros morfológicos (CHURCH, 1992; ROSEN, 1996) e tipo de preenchimentos sedimentar (FOYLE; OERTEL, 1997; CHAUMILLON *et al.*, 2008) possibilitou a classificação e união dos paleocanais numa mesma rede de paleodrenagem.

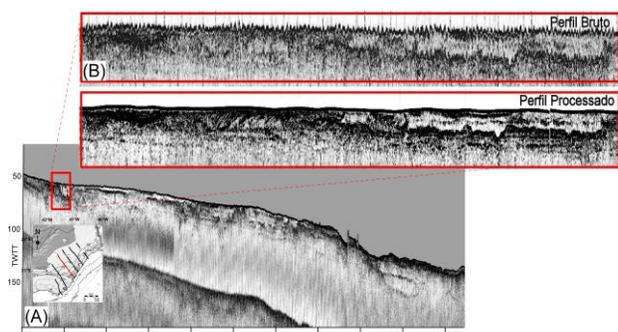


Figura 2: Perfil sísmico 10RC2 adquirido com frequência Chirp (A). Nos detalhes (B) são exibidos o formato pré e pós-processamento.

Resultados

A sequência Sq4 é encontrada em toda a plataforma continental da região e apresenta ~15m de espessura, porém a sequência se torna gradativamente mais espessa em direção à bacia podendo atingir ~30m. Essa sequência é composta por 4 subunidades sísmicas identificadas neste trabalho: Sq4_A1, Sq4_A2, Sq4_B1, Sq4_B2, limitadas pelas superfícies discordantes S4, S4' e S5. As subunidades Sq4_A1 e Sq4_B1 se assentam, respectivamente, sobre a superfície S4 e S4', e são configuradas por geometria de lençóis de cobertura sedimentar com fácies plano-paralela, subparalelas e transparentes. Já as subunidades Sq4_A2 e Sq4_B2, limitadas no topo pelas superfícies S4' e S5, se encontram, respectivamente, depositadas sobre a Sq4_A1 e Sq4_B1. A geometria de prismas progradantes e downlapantes configurados por refletores inclinados, oblíquos paralelos, oblíquos tangenciais e por clinofórmulas oblíquas e sigmoidais, que compõem a Sq4_A2 e Sq4_B2 reflete como tais prismas se espessam e progradam em direção à bacia (Figura 3).

A sequência Sq5 reflete a presença de dois processos sedimentares: sedimentação siliciclástica e carbonática. A subunidade siliciclástica (Sq5S) se assenta sobre a superfície S5 e seu pacote sedimentar exibe ~6m, podendo atingir ~18m em algumas regiões. A Sq5S é

caracterizada tanto por geometrias prismáticas, configuradas por clinofórmulas progradantes, como por geometrias lenticulares com reflexão interna transparente, ou difusa. A subunidade carbonática (Sq5C) se deposita sobre a Sq5S e se restringe à plataforma média e externa possuindo uma espessura de ~8m. Essa subunidade apresenta geometria externa em formato tabular com irregularidades e reflexão interna escura ou transparente, podendo ter a presença de um refletor descontínuo ou não; e uma geometria na forma de pináculos em forma de banco com ausência de reflexão interna (Figura 3).

Paleodrenagem

As superfícies erosivas S4, S4' e S5 identificadas são também marcadas pela presença de incisões fluviais que esculpem a plataforma interna e média. Na superfície S4 foram identificados 14 paleocanais (chamados de 1ª Geração de paleocanais); na superfície S4' foram identificados 37 paleocanais (2ª Geração); e por fim na superfície S5 foram identificados 43 paleocanais (3ª Geração). Os paleocanais da 1ª geração, com espessuras variando entre 10 m – 25 m e larguras oscilando entre 2.000 m e 20.000 m, são mais significativos que os paleocanais da 2ª Geração (Largura - entre 500 m e 6.000 m; Espessura – entre 4 m e 15 m), e da 3ª Geração (Largura – entre 1.000 m – 9.000 m, Espessura – entre 4 m e 19 m). Entretanto, os paleocanais da 2ª e 3ª Geração são bastante semelhantes, sendo apenas que os paleocanais da 3ª Geração são ligeiramente mais largos e espessos.

A análise gráfica do comportamento dos paleocanais indica para as três gerações que maiores larguras e espessuras são encontradas em locais de gradiente mais suave, ou seja, esses parâmetros tendem a aumentar em direção à quebra de plataforma. Outra observação pertinente reflete a relação natural de proporção entre a largura e espessura que foi observada na 1ª Geração. Entretanto, essa tendência não é clara na 2ª e 3ª Geração, o que sugere que os paleocanais identificados nessas superfícies estão associados a drenagens distintas (Figura 4).

As canalizações esculpidas na superfície S4, S4' e S5 foram preenchidas, respectivamente, pela subunidade Sq4_A1, Sq4_B1 e Sq5S. As fácies de preenchimento de paleocanais interpretadas somam 7: Fc1, Fc2, Fc2', Fc3, Fc4, Fc5 e Fc6. Essas fácies, normalmente, são encontradas superpostas, refletindo assim condições hidrodinâmicas distintas que favoreceram o preenchimento dos paleocanais (Figura 5).

Discussão e Conclusões

A correlação dos perfis interpretados na presente pesquisa com a interpretação realizada por Marangoni (2012) e as curvas de “variação eustáticas” globais compiladas por Rabineau *et al.* (2006), permitiu a compreensão dos possíveis significados glacio-eustáticos das subunidades que compõem as sequências Sq4 e Sq5. Tais correlações apontam para as subunidades citadas como representando *Tratos de Sistemas* da referida sequência Sq4 (construída entre o MIS 6 – MIS 2

/~130-140 e 30-20 ka A.P) durante o Pleistoceno Superior; e a sequência Sq5 ainda em formação (construída a partir do MIS 2 - 18 - 20 ka – até o recente), ou seja, do Pleistoceno Tardio – Holoceno. De forma que:

(1) a subsequência Sq4_A1, desenvolvida entre MIS 6 e MIS 5e, representa um trato de sistema transgressivo; a subunidade Sq4_A2, provavelmente teve seu ciclo de construção iniciado a partir do sub-estágio MIS 5d e finalizado no estágio MIS 4, inserindo esta subunidade num *Trato de sistema regressivo*, mais especificamente no trato de mar em queda (FSST Figura 3). Essas subunidades formam a subsequência Sq4A, que é sobreposta pela Sq4_B1. Assim a Sq4_B1, possivelmente, representa um ciclo construtivo compreendendo a transgressão ocorrida entre o MIS 4 e MIS 3, já a subunidade Sq4_B2 possui ciclo construcional inserido entre as idades MIS 3-MIS 2. Essas subunidades formam a subsequência Sq4B (Figura 3).

(2) a sequência Sq5 reflete depósitos transgressivos-subunidades Sq5S e Sq5C aqui inseridas em *Tratos de sistemas transgressivos* e *Trato de sistema mar alto*, desenvolvidos nos últimos ~20 ka (Figura 3).

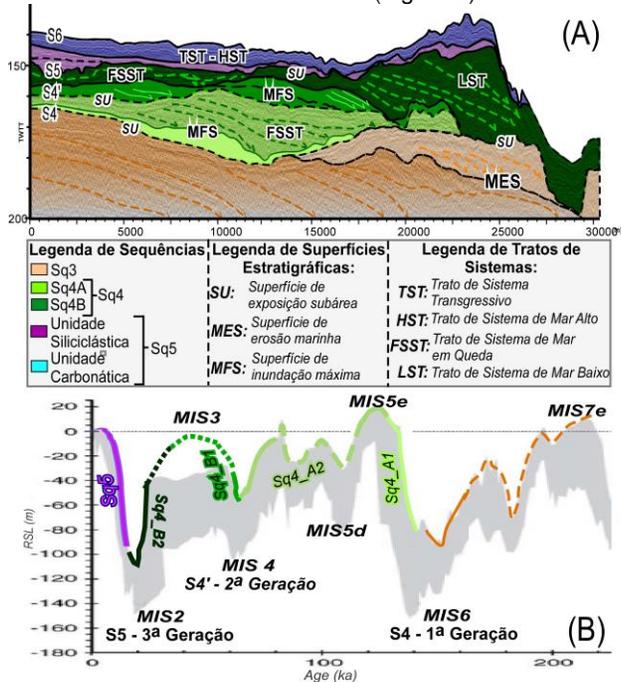


Figura 3: Demonstração da correlação de cada subunidade sísmica identificada (A), com o respectivo ciclo construcional de variação glacio-eustática (B). Observe que em (A) e (B) as cores das subunidades estão relacionadas para facilitar a associação das subunidades com suas respectivas posições na sucessão estratigráfica.

As maiores dimensões dos paleocanais esculpidos durante a 1ª Geração parecem corresponder ao longo período de duração do ciclo eustático correspondente (~115 ka), o qual também correspondeu a uma maior amplitude de descida eustática global, no qual a superfície topo (S4) encerra seu ciclo a ~-145 m (Figura 3). Nessa conjuntura, as diferenças entre os paleocanais

da 2ª e 3ª Geração podem estar conectadas aos mesmos aspectos mencionados: (a) regressão marinha entre MIS 5a e MIS 4 mais rápida que a taxa de regressão entre MIS 3 e MIS 2 (CUTTLE *et al.*, 2003); (b) a amplitude de descida eustática referente a MIS4 (~ -100), estágio isotópico no qual a S4' encerra seu ciclo, foi menor do que a amplitude no MIS2 (~ -140 m – S5). Esses fatores poderiam justificar menor ação fluvial durante o esculpimento que culminou em menores valores observados para os paleocanais da 2ª Geração (Figura 3 e Figura 4).

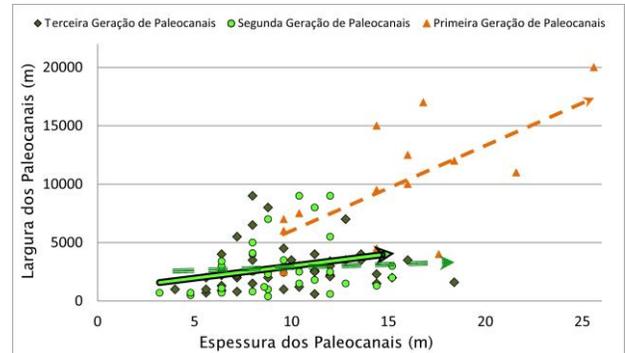


Figura 4: Gráfico demonstrando diferenças entre a largura e espessura encontradas em cada geração de paleocanais.

Além disso, o padrão de preenchimento dos paleocanais da área de estudo pode variar de uma geração para outra. Os paleocanais da 1ª e 2ª Geração exibem empilhamento de fácies de preenchimento na ordem Fc1, Fc2/Fc2', Fc3 e Fc4, mesmo que uma ou mais das fácies possa estar ausente (Figura 5; Figura 6E e F). No entanto na 3ª Geração as fácies fluviais Fc1 e Fc2 são raras e observa-se predominantemente uma única fácies de preenchimento fluvial denominada Fc5 depositada durante o início da transgressão e sobreposta pela fácies Fc6 (Figura 5; Figura 6E e F). Tais padrões de superposição podem ser justificados pela taxa de transgressão eustática. A transgressão compreendida entre 140 ka e 120 ka foi mais lenta, o que poderia ter possibilitado maior ação fluvial e registro de ambientes mais hidrodinâmicos nos paleocanais da 1ª Geração (Figura 3B; Figura 5). Já os paleocanais da 2ª Geração testemunharam a transgressão relacionada ao estágio isotópico 3, iniciada há ~60 ka, associada a oscilações eustáticas de menor amplitude e duração (cerca de ~ 6 ka) (SIDDAL *et al.* 2010), atestando assim um afogamento mais rápido do que o ocorrido durante o preenchimento dos canais da 1ª Geração, implantando condições ambientais de menor energia que favoreceram uma sedimentação mais uniforme configurada pela fácies Fc2' (Figura 3B; Figura 5). A transgressão que se iniciou a partir de ~18 ka favoreceu uma menor ação fluvial e registrou ambientes com hidrodinâmica mais suave nos paleocanais da 3ª Geração, indicando assim uma taxa de elevação eustática relativamente mais rápida do que a testemunhada pelos canais da 1ª Geração (Figura 3B; Figura 5).

Nesse contexto foi realizada a conexão de paleoredes de drenagem as drenagens atuais da costa adjacente,

composta por quatro drenagens principais: Rio Una, Rio São João, Rio Macaé e Rio Paraíba do Sul (Figura 6B): (i) a 1ª Geração de Paleocanais identificada está vinculada, quase que exclusivamente, à paleodrenagem do rio Paraíba do Sul. Já a 2ª e 3ª Geração de paleocanais apresentam diferentes características geomorfológicas que permitiram a individualização de diferentes redes de paleodrenagem associadas aos rios Una, São João, Macaé e Paraíba do Sul; (ii) os paleocanais da 2ª e 3ª gerações dos rios Una, São João e Macaé mostram que a 3ª geração é composta por paleocanais ligeiramente mais profundos e largos. A paleodrenagem do rio Una é composta por único talvegue e corresponde a uma paleodrenagem mais estreita, que não supera 3 km. A paleodrenagem do rio São João aparenta ser composta por três talvegues e atinge largura máxima de 5 km. Já a paleodrenagem do rio Macaé é formada, principalmente, por dois talvegues e corresponde ao mais largo dos três rios, alcançado largura máxima de 9 km; (iii) os paleocanais da 1ª Geração relacionados ao atual Rio Paraíba do Sul apresentam paleocanais expressivos (Figura 4 e Figura 6F), indicando maior transporte de sedimentos, e uma ampla zona de *by-pass* na plataforma continental exposta durante o Penúltimo Máximo Glacial. Tal característica aponta para significativo transporte de sedimentos para oceano profundo através do entalhamento de cânions no talude. E tal padrão de funcionamento sedimentar é sustentado pela ocorrência de uma notável paleodesembocadura preservada, assim como por sua aparente conexão a uma região de talude que apresenta uma forte progradação marcada por entalhamentos e feições de fluxo sedimentar continuado (Figura 1 e Figura 6A). Os paleocanais da 2ª e 3ª gerações da paleodrenagem do Rio Paraíba do Sul apresentam aspectos morfológicos similares ao que já foi mencionado para as gerações das demais paleodrenagens. Entretanto, para a 3ª geração, os valores de largura se apresentaram bem menores (não ultrapassando 7 km) e podem corresponder a menor capacidade de vazão fluvial. No contexto de uma bacia de drenagem importante como a do Paraíba do Sul estas características são explicadas por alta taxa de deposição sedimentar que força a constante migração do paleo-sistema fluvial. Nesse contexto, as paleodrenagens das três gerações são compostas basicamente por três paleocanais identificados (três “braços” de drenagem) que migraram gradativamente de sul para norte, favorecendo o deslocamento gradativo da paleodrenagem ao longo dos últimos 140 ka, até a atual posição da foz do rio a norte (Figura 6D)

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, FAPERJ, CAPES (Ciências do Mar) e LAGEMAR.

Referências

Catuneanu, O. 2006. Principles of Sequence Stratigraphy. Ed. Elsevier. 375p.

Chaumillon, E; Proust, J-N.; Menier, D.; Weber, N, 2008. Incised-valley morphologies and sedimentary-fills within

the inner shelf of the Bay of Biscay (France): A synthesis. Journal of Marine Systems. v. 72, p. 383–396.

Cohen, J.K.; Stockwell, J.J.W., 2001. CWP/SU: Seismic Unix: an open source software package for seismic research and processing. – Center for Wave Phenomena, Colorado School of Mines.

Cutler, K.B.; Edwards, R.L.; Taylor, F.W.; Cheng, H.; Adkins, J.; Gallup, C.D.; Cutler, P.M.; Burr, G.S.; Bloom, A.L. 2003. Rapid sea-level fall and deep-ocean temperature change since the last interglacial period. Earth and Planetary Science Letters, n 206, pp 253-271.

Foyle, A. M.; Oertel, G. F, 1997. Transgressive systems tract development and incised valley fills within a Quaternary estuary-shelf system: Virginia inner shelf, USA. *Marine Geology*, v. 137, p. 227-249

Kowsmann, R. O.; Vicalvi, M. A.; Costa, M. P. A., 1979. Considerações sobre a sedimentação quaternária na plataforma continental entre Cabo Frio e a foz do rio Itabapoana. Rio de Janeiro, CPRM, DEGEO, REMAC. Comunicação Técnica REMAC 001/78 – relatório interno CPRM, p. 34.

Marangoni, M. B., Reis, a. T., Silva, C. G., Maia, R., Guerra, J., Arantes-oliveira, r., Passos, m. Bernardo, G, 2013. Arcabouço estratigráfico e ciclicidade deposicional dos sistemas sedimentares Pleistoceno Médio-Holoceno da plataforma sul da bacia de Campos, Brasil. Revista Brasileira de Geociências, 9pp.

Rabineau, M.; Berne S.; Aslanian, D.; Olivet, J.L.; Joseph, P.; Guillocheau, F.; Bourillet, J.F.; Ledrezen, E.; Granjeon, D., 2006. Paleo sea levels reconsidered from direct observation of paleoshoreline position during Glacial Maxima (for the last 500,000 yr). Earth and Planetary Science Letters, v. 252: 119–137.

Siddall, M.; Kaplan, M. R.; Schaefer, J. M.; Putnam, A.; Kelly, M. A.; Goehring, B. Changing influence of Antarctic and Greenlandic temperature records on sea-level over the last glacial cycle. Quaternary Science Reviews 29, 410–423. 2010.

Teixeira, L. V. J. 2013. Arquitetura Sísmica de Borda de Plataforma como um Diagnóstico de Variações Eustáticas Pleistocênicas na Porção Sul da Bacia de Campos. Niterói, RJ. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) – Faculdade Federal Fluminense, Niterói

1ª, 2ª e 3ª Geração de Paleocanais								
Subunidade de Preenchimento	Sq4S, Sq4_B1 e Sq4_A1	Fácies	Fácies de Preenchimento	Significados Ambientais	Tratos de Sistema	Exemplo sísmico de algumas fácies de preenchimento		
		F _{C1}	Refletores plano-paralelos descontínuos e/ou caóticos com alta reflectividade onlapando feições de esculpimento e com feições de corte e preenchimentos	Preenchimento fluvial de canais com alto conteúdo de areia refletindo mais alta energia hidráulica do canal, num contexto de nível de base estável.	Trato de sistema de mar baixo			
		F _{C2}	Fácies geralmente superpostas a F _{C1} e com as mesmas características desta contudo com menor índice de reflectividade dos refletores.	Preenchimento fluvial de canais com menor razão areia/argilas refletindo diminuição de energia hidráulica e elevação do nível de base do canal.	Início do Trato de sistema transgressivo			
		F _{C2'}	Refletores plano-paralelos sub-paralelo, com pouca ou nenhuma feição de corte e preenchimento, preenchendo em onlap as feições erosivas dos paleocanais	Rápido preenchimento fluvial de canais, refletindo rápida diminuição de energia hidráulica e rápida elevação do nível de base do canal, tendo como consequência a colmatção do canal sem evidências notáveis de corte e preenchimento.	Início do Trato de sistema transgressivo			
		F _{C3}	Refletores inclinados com alto índice de reflectividade formando ampla unidade de migração lateral, normalmente recobrando a fácies Fc2 e ultrapassando a área da própria incisão.	Aumento de sinuosidade e migração lateral do canal fluvial, refletindo elevação do nível de base e a implantação de sistema fluvial meandrante e deposição de feições deltáicas.	Início do Trato de sistema transgressivo			
		F _{C4}	Refletores sub-horizontais contendo feições de microcanalizações, onlapando as feições suavizadas de canal formadas pelas fácies Fc2.	Fácies sedimentares de preenchimentos estuarino testemunhando o afogamento da desembocadura do sistema fluvial, podendo resultar em ambientes estuarinos de distribuição lateral variável (estuários estreitos ou abertos).	Trato de sistema transgressivo			
	F _{C5}	Refletores plano-paralelos inclinados com alta reflectividade downlapando a feição de esculpimento fluvial e refletindo migração lateral do talvegue, porém circunscritos ao vale inciso, com ou sem feições de corte e preenchimentos	Preenchimento fluvial de canais com alto conteúdo relativo de areia, refletindo alta energia hidráulica do fluxo e migração lateral restrita ao vale inciso. Não se observam fácies individuais de preenchimento fluvial refletindo nível de base estável seguida de elevação do nível de base	Início do Trato de sistema transgressivo				
Sq5S	F _{C6}	Unidade deposicional tabular variável entre fácies interna transparente (em perfil Chirp) e plano-paralelas (em perfil Sparker/Boomer)	Deposição sedimentar marinha.	Trato de sistema transgressivo				

Legenda: Superfície de Corte indicando mudança de ambiente deposicional

Figura 5: Fácies de preenchimento da 1ª, 2ª e 3ª Geração de paleocanais com seu respectivo significado ambiental, possível correspondência com a variação relativa do nível do mar, e exemplos sísmicos de algumas fácies de preenchimento.

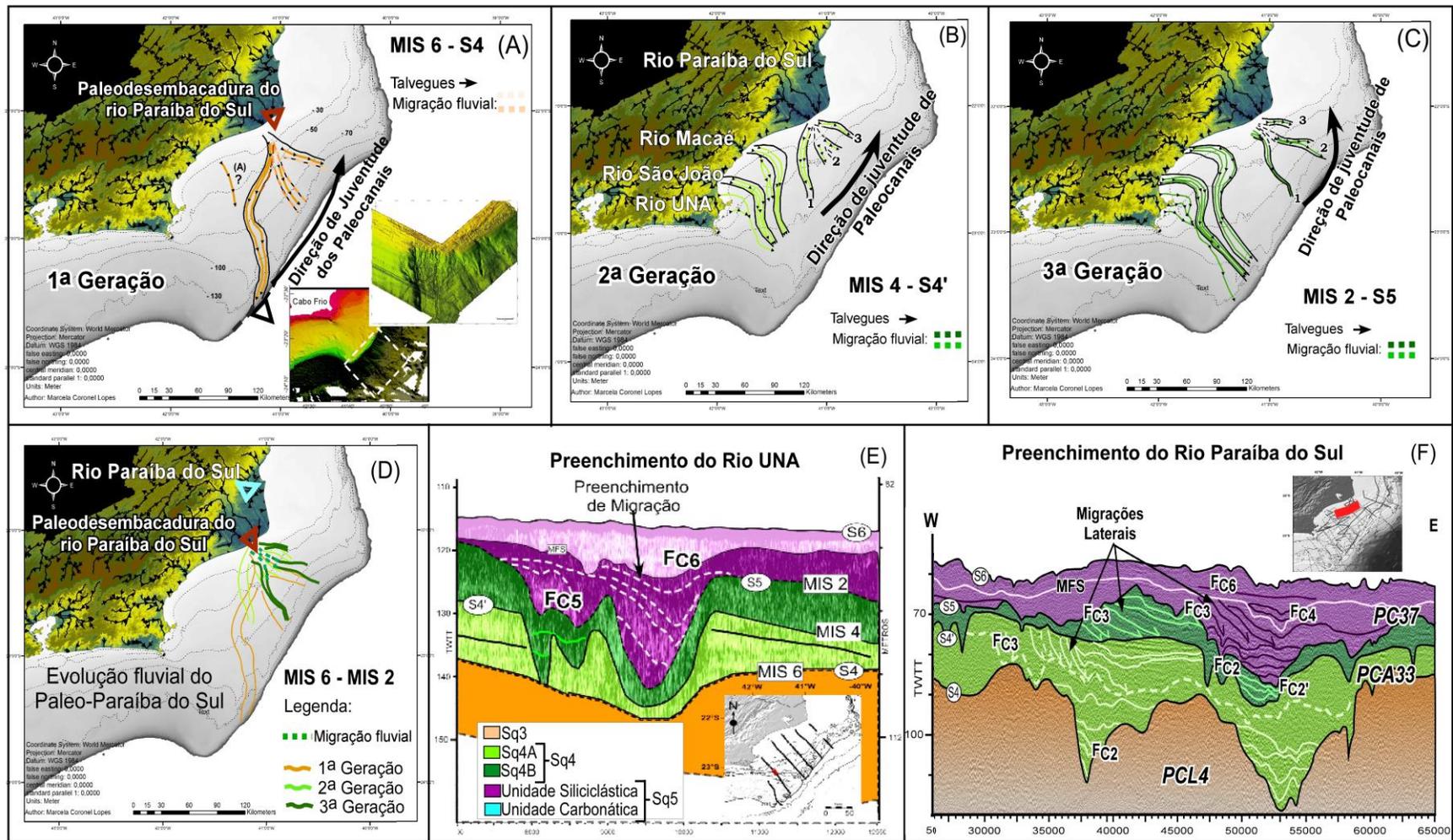


Figura 6: Interpretação das posições da paleodrenagem na 1ª, 2ª, e 3ª geração de paleocanais (A,B e C). Evolução fluvial do Paleo-Paraíba do Sul ao longo dos últimos desde o fim do Pleistoceno Médio até o Pleistoceno Tardio (D). Perfil sísmico de frequência Chirp exibindo o preenchimento sedimentar do rio Una (E). Perfil sísmico Boomer de 300 J exibindo o preenchimento sedimentar do rio Paraíba do Sul (F).