



TIAGO MENEZES FREIRE

**CARACTERIZAÇÃO FACIOLÓGICA DE DEPÓSITOS FLÚVIO-EÓLICOS DO
ARENITO PEDREIRA, PERMO-MESOZOICO DA BACIA DO PARANÁ**

Porto Alegre

2018

TIAGO MENEZES FREIRE

**CARACTERIZAÇÃO FACIOLÓGICA DE DEPÓSITOS FLÚVIO-EÓLICOS DO
ARENITO PEDREIRA, PERMO-MESOZOICO DA BACIA DO PARANÁ**

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

Orientador: Prof. Dr. Claiton Marlon dos Santos Scherer

Supervisor: Me. Adriano Domingos dos Reis

Porto Alegre

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Freire, Tiago Menezes

Caracterização faciológica de depósitos flúvio-eólicos do Arenito Pedreira, Permo-mesozoico da Bacia do Paraná. / Tiago Menezes Freire. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2018.

[72 f.]

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

Orientador: Claiton Marlon dos Santos Scherer

1. Estratigrafia. 2. Sedimentologia. 3. Depósitos flúvio-eólicos. 4. Mesozoico. 5. Bacia do Paraná I. Título.

CDU 551.7

Catlogação na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira

CRB 10/2310

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

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

Agradecimentos

Primeiramente agradeço ao Claiton pela orientação, auxílio e paciência neste período de desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso. Também agradeço ao meu supervisor Adriano, que esteve presente em todas as etapas do trabalho e sempre se disponibilizou a esclarecer minhas dúvidas, me instruir, corrigir e me ajudar nos momentos de aperto. Ainda, agradeço ao pessoal da estratigrafia pelo convívio durante este ano, especialmente ao Zazá e ao João, que me acompanharam nas atividades de campo e também contribuíram para o meu aprendizado estratigráfico.

Agradeço à minha família, especialmente à minha mãe Chris, meu pai Ronald, meus irmãos Caroline e Lucas e meu sobrinho Breno, que sempre apoiaram minhas decisões, me deram carinho e suporte e estiveram presentes nos momentos difíceis.

Não posso deixar de agradecer a meus colegas do curso de geologia, pelos incontáveis momentos de aprendizado e companheirismo. O convívio com cada colega me engrandeceu como pessoa e como geólogo.

Finalmente agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelas oportunidades de ensino oferecidas e ao competente e qualificado corpo docente do Instituto de Geociências, responsável por minha formação profissional.

Resumo

O objetivo principal deste estudo é caracterizar os processos sedimentares, propor um modelo deposicional e a evolução estratigráfica para os depósitos flúvio-eólicos do Arenito Pedreira, unidade informal identificada sob os depósitos eólicos secos da Formação Botucatu (Eocretáceo) na região leste da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, Brasil. A análise de fácies foi realizada através da descrição e interpretação de seções colunares de um afloramento (60 m de espessura) localizado no município de Sapucaia do Sul e de um testemunho de sondagem (150 m de espessura), obtido no município de Novo Hamburgo. Foram reconhecidas nove litofácies, que compõem quatro associações de fácies: depósitos fluviais, lençóis de areia eólicos, dunas eólicas e interdunas eólicas úmidas. O Arenito Pedreira apresenta mudança temporal no estilo deposicional, registrada pela sucessão de depósitos fluviais seguidos de depósitos eólicos, que indica modificações para condições climáticas mais áridas. Os depósitos eólicos compreendem um sistema deposicional desértico em região de *erg*, composto pela alternância temporal entre sistemas eólicos secos e sistemas eólicos úmidos, que representam ciclos de variação da umidade da superfície deposicional, vinculados a oscilações regionais do nível freático como consequência de mudanças climáticas globais ou da tectônica da Bacia do Paraná. Esta ciclicidade deve ser controlada por processos alocíclicos relacionados a mudanças climáticas regionais de grande escala temporal (10^3 a 10^6 anos). Inundações periódicas provocadas por fluxos torrenciais em depósitos de lençol de areia eólico do Arenito Pedreira resultam de processos autocíclicos, resultantes de curtas interações (10^1 a 10^2 anos) entre processos sedimentares internos à bacia sedimentar.

Palavras-Chave: Estratigrafia, Sedimentologia, Depósitos flúvio-eólicos, Depósitos eólicos, Mesozoico, Gondwana, Bacia do Paraná

Abstract

The main objective of this study is to characterize the sedimentary processes, to propose a depositional model and the stratigraphic evolution for the fluvial-aeolian deposits of the Pedreira Sandstone, informal unit identified underlying the dry aeolian deposits of the Botucatu Formation (Early Cretaceous) in the eastern region of the Paraná Basin in Rio Grande do Sul, Brazil. The facies analysis was performed through the description and interpretation of columnar profiles of an outcrop (60 m of thickness) located in the city of Sapucaia do Sul and of a core log (150 m of thickness) obtained in the city of Novo Hamburgo. Nine sedimentary facies were identified, which compose four facies associations: fluvial deposits, aeolian sand-sheet, aeolian dunes and wet aeolian interdune. The Pedreira Sandstone presents a temporal change in the depositional style, registered by the succession of fluvial deposits followed by aeolian deposits, indicating changes to more arid climatic conditions. The aeolian deposits represent a desert depositional system in an erg region, composed by temporal alternations between dry aeolian systems and wet aeolian systems, that represent cycles of moisture variation on the depositional surface, related to regional oscillations of the water table as a consequence of global climate changes or the tectonics of the Paraná Basin. This cyclicity is likely controlled by allocyclic processes related to regional climatic changes of large temporal scale (10^3 to 10^6 years). Periodic flooding caused by sheetfloods in the aeolian sand-sheet deposits of the Pedreira Sandstone are a consequence of short-term interactions (10^1 to 10^2 years) between sedimentary processes within the sedimentary basin.

Keywords: Stratigraphy, Sedimentology, Fluvial-aeolian deposits, Aeolian deposits, Mesozoic, Gondwana, Paraná Basin

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa geológico simplificado das unidades Permo-Mesozoicas da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, com subdivisão dos blocos central, oeste e leste. O retângulo vermelho representa a área de estudo deste trabalho (Modificado de SCHERER et al. 2000).	10
Figura 2. Localização geográfica da área de estudo com a localização do afloramento Morro da Pedreira e do testemunho de sondagem CA-101	18
Figura 3. Mapa geológico da área de estudo com a localização do afloramento Morro da Pedreira (Modificado de NOWATZKI; KERN, 2000).	19
Figura 4. Mapa geológico da área de estudo com a localização do testemunho de sondagem CA-101 (Modificado de ROISENBERG <i>et al.</i> , 2008).	20
Figura 5. Folha modelo para a descrição de perfis colunares.	22
Figura 6. Perfil colunar do testemunho de sondagem CA-101.	26
Figura 7. Perfil colunar do afloramento Morro da Pedreira.	27
Figura 8. Afloramento Morro da Pedreira. A linha tracejada vermelha indica a discordância angular entre o Arenito Pedreira (sotoposto) e a Formação Botucatu (sobreposta).	28
Figura 9. Descrição, características principais e interpretação da fácies Sl.	31
Figura 10. Descrição, características principais e interpretação da fácies St.	32
Figura 11. Descrição, características principais e interpretação da fácies Sm.	33
Figura 12. Descrição, características principais e interpretação da fácies Sr.	34
Figura 13. Descrição, características principais e interpretação da fácies Sh(e).	35
Figura 14. Descrição, características principais e interpretação da fácies Sl(e).	36
Figura 15. Descrição, características principais e interpretação da fácies Sa(e).	37
Figura 16. Descrição, características principais e interpretação da fácies Sp(e).	38
Figura 17. Descrição, características principais e interpretação da fácies St(e).	39
Figura 18. Estruturas de deformação da laminação horizontal de lençol de areia eólico geradas por sobrecarga de fluxos fluviais efêmeros (A), fluidizações (B) e crescimento de sais (C). .	43
Figura 19. Ciclos de umidade reconhecidos nos depósitos eólicos do Arenito Pedreira no testemunho CA-101.	48
Figura 20. Ciclos de umidade identificados no afloramento Morro da Pedreira.	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Técnicas empregadas para a aquisição dos dados estratigráficos.	23
Quadro 2. Fácies do Arenito Pedreira, identificadas no afloramento Morro da Pedreira e no testemunho de sondagem CA-101.	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	7
1.2 OBJETIVOS	8
1.3 JUSTIFICATIVA	8
2. ESTADO DA ARTE	9
2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO	9
2.1.1 <i>Bacia do Paraná</i>	9
2.1.2 <i>O Permo-Mesozoico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul</i>	9
2.1.3 <i>Formação Rio do Rasto</i>	11
2.1.4 <i>Arenito Pedreira</i>	12
2.1.5 <i>Formação Botucatu</i>	12
2.2 REVISÃO SOBRE SISTEMAS FLÚVIO-EÓLICOS	13
2.2.1 <i>Sistemas Eólicos</i>	13
2.2.2 <i>Diferenças entre processos alocíclicos e autocíclicos</i>	16
3 LOCALIZAÇÃO	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.2 TRABALHO DE CAMPO	21
4.2.1 <i>Elaboração de perfis colunares e análise de fácies</i>	21
4.2.2 <i>Coleta de amostras</i>	23
4.3 PÓS-CAMPO	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 RELAÇÕES DE CONTATO	25
5.2 FÁCIES	28
5.3 ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES	40
5.3.1 <i>Depósitos fluviais</i>	40
5.3.2 <i>Lençol de areia eólico</i>	41
5.3.3 <i>Dunas eólicas</i>	44
5.3.4 <i>Interduna eólica úmida</i>	45
5.4 EVOLUÇÃO ESTRATIGRÁFICA E MODELO DEPOSICIONAL	45
5.5 CICLICIDADE SEDIMENTAR	47
7 CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 Caracterização do Problema

A Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul (Brasil) é dividida em três blocos com evoluções estratigráficas distintas, separados por sistemas de falhas regionais: bloco central, oeste e leste (SCHERER; LAVINA, 1997).

No bloco leste da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, diversos autores reconheceram a ocorrência de um intervalo deposicional eólico úmido sobreposto às formações Rio do Rasto e Sanga do Cabral e sotoposto à Formação Botucatu (NOWATZKI; KERN, 2000; DIAS; SCHERER, 2008; SCHERER *et al.*, 2015). Contudo, este intervalo ainda não foi caracterizado do ponto de vista da sedimentologia moderna, para se conhecer os ciclos de variação de umidade que são característicos de sistemas eólicos úmidos ou flúvio-eólicos, bem como construir um modelo deposicional.

Segundo Nowatzki e Kern (2000), este intervalo representa um pacote eólico úmido entre os depósitos flúvio-eólicos da Formação Sanga do Cabral (Eotriássico) e os eólicos secos da Formação Botucatu, o qual denominaram informalmente de Arenito Pedreira, que poderia ser parte da porção superior da Formação Sanga do Cabral ou tratar-se de uma unidade distinta.

Dias e Scherer (2008) identificam estratos de sistemas eólicos semelhantes, os quais reconheceram como pertencentes à Formação Pirambóia, de idade Neopermiana, entre os depósitos flúvio-deltaicos da Formação Rio do Rasto e eólicos secos da Formação Botucatu. Posteriormente, Scherer *et al.* (2015) reinterpretaram esse intervalo correlacionando-o ao *Mixed Unit*, unidade presente na Bacia de *Huab* na Namíbia, e que apresenta uma idade Neojurássica.

As diferentes propostas sobre o arcabouço estratigráfico dos depósitos eólicos úmidos sotopostos à Formação Botucatu no bloco leste da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul indicam que tais rochas podem representar: (1) A porção superior da Formação Sanga do Cabral e têm idade Eotriássica; (2) Uma unidade estratigráfica distinta, denominada de Arenito Pedreira; (3) A Formação Pirambóia no bloco leste, correlata à porção superior da Formação Sanga do Cabral nos blocos central e oeste, com idade Neopermiana a Eotriássica; (4) Ou depósitos correlatos ao *Mixed Unit* na Bacia de *Huab*, com idade Neojurássica. No presente trabalho, optou-se pela utilização do termo Arenito Pedreira para designar o referido intervalo estratigráfico. Isso se deve ao fato do intervalo apresentar características

faciológicas distintas das formações Sanga do Cabral e Piramboia, conforme ressaltado por Scherer *et al.* (2015). Existe a possibilidade de o Arenito Pedreira ser correlato a *Mixed Unit* da Bacia de *Huab*, hipótese que está sendo testada na tese de doutoramento que o Mestre Adriano Domingos dos Reis está desenvolvendo junto ao PPGGEO/ UFRGS.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é caracterizar as fácies sedimentares de depósitos referentes ao intervalo estratigráfico que compreende os pacotes eólicos úmidos sotopostos à Formação Botucatu, no bloco leste da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, denominados informalmente de Arenito Pedreira (NOWATZKI; KERN, 2000). Como objetivos específicos destacam-se:

- Reconhecer as associações de fácies que constituem os depósitos estudados;
- Definir modelos deposicionais para estes depósitos;
- Analisar a evolução estratigráfica e reconhecer ciclos de variação de umidade da sucessão sedimentar estudada.

1.3 Justificativa

A caracterização faciológica do Arenito Pedreira justifica-se ao contribuir com informações sobre o contexto deposicional e a evolução paleoambiental do intervalo deposicional flúvio-eólico sobre a Formação Botucatu, na região leste da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. Os resultados discutidos nesta monografia podem contribuir com futuras interpretações sobre o arcabouço estratigráfico do intervalo em questão.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Contexto Geológico

2.1.1 Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é uma bacia sedimentar intracratônica na placa sul-americana que compreende rochas do período Neo-ordoviciano ao Neocretáceo. Com área de cerca de 1,5 milhões de km², a bacia ocorre distribuída principalmente nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil, nordeste da Argentina, leste do Paraguai e norte do Uruguai (MILANI, 2000).

A gênese da Bacia do Paraná foi fortemente influenciada pela geodinâmica da porção sudoeste do Gondwana (MILANI, 2000). Milani (1997) caracteriza seis Supersequências deposicionais delimitadas por discordâncias regionais no registro estratigráfico da Bacia do Paraná: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo).

2.1.2 O Permo-Mesozoico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul

Scherer e Lavina (1997) subdividiram a Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul em três blocos tectônicos com sucessões estratigráficas distintas: central, oeste e leste (Figura 1). O bloco oeste é separado do bloco central por um sistema de falhas NW, enquanto o bloco leste limita-se do bloco central por um sistema de falhas NE, como um prolongamento da Dorsal de Canguçu.

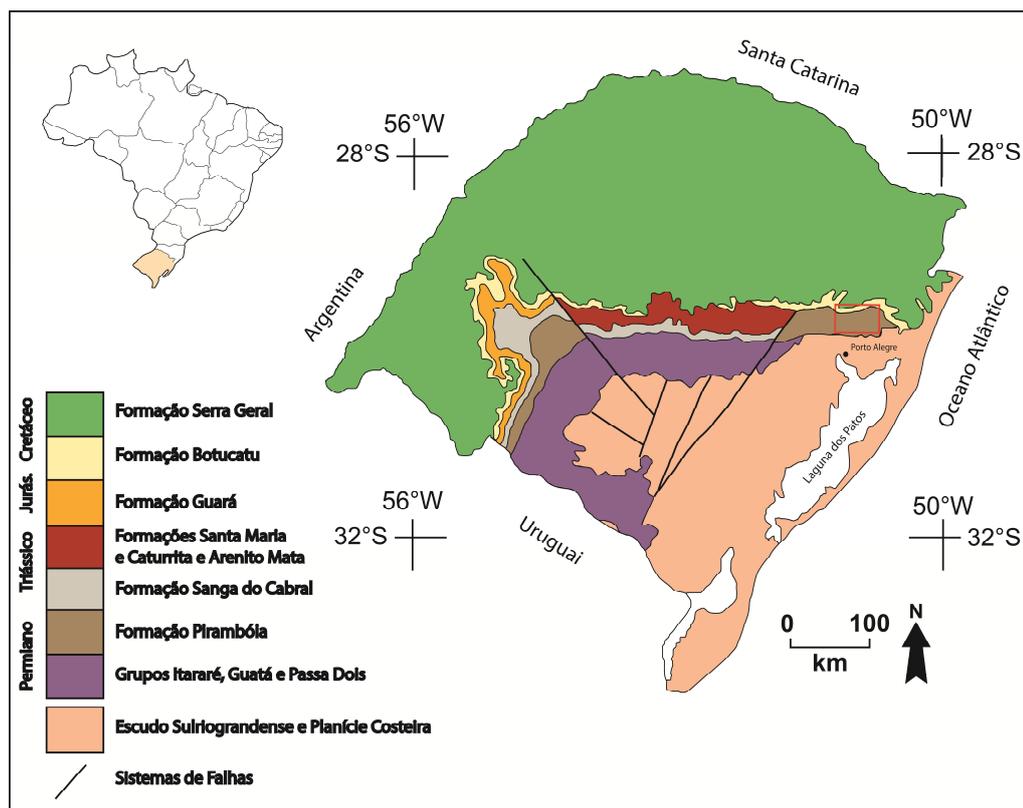


Figura 1. Mapa geológico simplificado das unidades Permo-Mesozoicas da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, com subdivisão dos blocos central, oeste e leste. O retângulo vermelho representa a área de estudo deste trabalho (Modificado de SCHERER et al. 2000).

No bloco central, a sedimentação Neopermiana é pouco expressiva, caracterizada por campos de dunas eólicas e sistemas fluviais efêmeros correlacionados à Formação Pirambóia dos estados de São Paulo e Paraná. A sedimentação triássica é caracterizada por: depósitos fluviais da Formação Sanga do Cabral discordantes sobre a Formação Rio do Rasto; arenitos e pelitos flúvio-lacustres da Formação Santa Maria, discordantes sobre a Formação Sanga do Cabral; Depósitos fluviais entrelaçados, podendo representar a Formação Caturrita ou a unidade informal Arenito Mata (LAVINA; SCHERER, 2003).

O bloco oeste apresenta a Formação Rio do Rasto recoberta por campos de dunas da Formação Pirambóia e depósitos fluviais da Formação Sanga do Cabral, sobrepostos por eólicos e fluviais da Formação Guarú, de idade Neojurássica a Eocretácea (SCHERER; LAVINA, 1997; LAVINA; SCHERER, 2003).

No bloco leste, a organização estratigráfica se assemelha aos afloramentos de Santa Catarina e São Paulo. Ocorrem somente campos de dunas eólicas da Formação Pirambóia discordantes com as formações Rio do Rasto e Botucatu. As unidades triássicas (Sanga do Cabral, Santa Maria e Guarú) são ausentes (LAVINA; SCHERER, 2003). Scherer *et al.*

(2000) realizam uma proposta de sequências deposicionais mesozoicas para a Bacia do Paraná diferente da proposta de Milani (1997). Com base em diversos trabalhos (FACCINI, 1989; LAVINA; SCHERER, 1997), os autores definiram a sucessão de cinco sequências deposicionais:

(1) *Sequência Eoscytiana*: corresponde à Formação Sanga do Cabral e aflora em uma faixa contínua nos blocos oeste e central do Rio Grande do Sul; (2) *Sequência Ladiniana-Eonoriana*: corresponde aos sistemas fluviais da Formação Santa Maria e porção inferior da Formação Caturrita, e aflora em na porção central; (3) *Sequência Rética*: corresponde aos sistemas fluviais do Arenito Mata definido por Faccini, (1989), que floram em uma faixa restrita à margem oeste da porção central; (4) *Sequência Neojurássica*: corresponde ao sistemas fluviais e flúvio-eólicos da Formação Guará, aflorando na porção oeste; (5) *Sequência Neocomiana*: corresponde às formações Botucatu e Serra Geral e ocorre nos blocos central, oeste e leste.

2.1.3 Formação Rio do Rasto

Definida por White (1908), a Formação Rio do Rasto pertence ao Grupo Passa Dois, e é composta pelos membros Serrinha, em sua porção basal, e Morro Pelado, na porção superior (Schneider *et al.*, 1974). O Membro Serrinha é constituído de siltitos e arenitos finos cinzentos e avermelhados, com acamamento *flaser*, laminação plano-paralela e marcas onduladas, representando ambientes de planície deltaica e planície de maré. O Membro Morro Pelado é composto de siltitos avermelhados alternados com arenitos avermelhados, finos a médios, maciços, com estratificação cruzada tangencial, laminação horizontal ou marcas onduladas e níveis com intraclastos lamosos e conglomerados intraformacionais marcando bases erosivas. Representa sistemas fluviais com planícies de inundação, deltaicos e lacustres (BARBARENA *et al.*, 1985).

Para Lavina (1991), o sistema lacustre Rio do Rasto apresenta dunas eólicas associadas, que aumentam de frequência para o topo até amalgamarem-se no contato com as formações Sanga do Cabral e Pirambóia. O Membro Serrinha representa lagos com sistemas fluviais e deltaicos associados, enquanto o Membro Morro Pelado representa um sistema de lagos e deltas fluviais com dunas eólicas associadas, indicando o início da aridização da Bacia do Paraná. A Formação Rio do Rasto apresenta idade Neopermiana (Tatariana) inferida por Barberena *et al.* (1985) a partir de fósseis de tetrápodes.

2.1.4 Arenito Pedreira

Em estudo realizado na região de São Leopoldo, Nowatzki e Kern (2000) denominaram informalmente de Arenito Pedreira os arenitos eólicos entre os arenitos fluvio-eólicos da Formação Sanga do Cabral e os arenitos eólicos da Formação Botucatu. Para os autores, o Arenito Pedreira apresenta características que os distinguem das duas unidades citadas, tais como mineralogia, padrão de paleocorrentes e a ocorrência de depósitos de interdunas úmidas com icnofósseis, gretas de contração e impressões salinas. Os autores assumem que o Arenito Pedreira pode ser a porção superior da Formação Sanga do Cabral, depositado em períodos úmidos, ou uma unidade diferente. O contato do Arenito Pedreira com Botucatu provavelmente seria uma desconformidade.

Existe a possibilidade de o Arenito Pedreira ser correlato ao *Mixed Unit*, unidade neojurássica presente na Bacia de *Huab*, na Namíbia, hipótese esta que está sendo testada na tese de doutorado que o Mestre Adriano Domingos dos Reis está desenvolvendo junto ao PPGGEO/ UFRGS.

2.1.5 Formação Botucatu

Pertencente ao Grupo São Bento (ANDREIS *et al.*, 1980), a Formação Botucatu equivale à Sequência Neocomiana (SCHERER *et al.*, 2000), e aflora em grande extensão na porção central da América do Sul. No Rio Grande do Sul, predomina na região centro-norte, ocorrendo nos blocos oeste, central e leste, com espessuras inferiores a 100 m.

Seu limite basal é uma discordância regional rastreável por toda a extensão da Bacia do Paraná, que representa uma erosão diferenciada que afetou a Plataforma Sul-Americana no Neojurássico durante a fragmentação do Gondwana, que provocou o movimento de blocos crustais (SCHERER *et al.*, 2003). Assim, a Formação Botucatu recobre diversas unidades da Bacia do Paraná conforme a região (MILANI *et al.*, 1998).

A Formação Botucatu representa a sedimentação do grande paleodeserto Botucatu no supercontinente Gondwana. Sua base é composta por lençóis de areia eólicos e fluxos torrenciais efêmeros representados por lentes de arenitos e conglomerados com espessuras inferiores a 1 m. Tais depósitos são recobertos pela porção principal da unidade, composta por extensos campos de dunas eólicas (SCHERER, 2002). A Formação Botucatu é classificada como um sistema eólico seco depositado em clima hiperárido, devido à ausência de depósitos

de interdunas aquosas ou demais evidências da proximidade do lençol freático com a superfície deposicional (SCHERER *et al.*, 2000). Os depósitos da unidade apresentam-se preservados sob os espessos derrames vulcânicos ácidos e básicos da Formação Serra Geral. Para Scherer (1998), a preservação de morfologias das dunas da Formação Botucatu, e interdigitação de seus depósitos com os derrames da Formação Serra Geral indicam que os derrames recobriram as dunas eólicas durante sua migração.

Renne *et al.* (1996) realizaram datações dos basaltos da Formação Serra Geral através do método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ e obtiveram idades aproximadas de 132 Ma, indicando o limite superior da Formação Botucatu. Apesar da escassez fossilífera da unidade, Bonaparte (1996) realizou estudos de icnofauna de tetrápodes que indicaram idade Neojurássica para a base da unidade. Dessa forma, Scherer *et al.* (2000) consideram o intervalo de deposição da Formação Botucatu entre o Jurássico Superior e o Neocomiano. Além disso, a Formação Botucatu é correlata à unidade originalmente chamada de Arenito Etjo (MOUNTNEY *et al.*, 1998) agora reconhecida como Formação Twyfelfontein (STANISTREET; STOLLHOFEN, 1999), na região de *Huab*, na Namíbia

2.2 REVISÃO SOBRE SISTEMAS FLÚVIO-EÓLICOS

2.2.1 Sistemas Eólicos

Sistemas deposicionais eólicos são aqueles cujo principal agente de transporte é o vento. São sistemas característicos por abundante suprimento sedimentar, regimes de ventos favoráveis, baixa umidade e ausência de vegetação. Os sistemas eólicos podem ser costeiros, de planície aluvial ou desérticos. Os principais sistemas eólicos são os desérticos, que ocorrem em regiões de clima árido e hiperárido. As principais formas de leito de sistemas eólicos são marcas onduladas eólicas, dunas e draas, e têm gêneses controladas por regimes de ventos, taxas de acumulação e tamanho de grão (WILSON, 1972).

As marcas onduladas se formam por saltação e rastejamento sobre a superfície e são comuns em ambientes de lençol de areia, interdunas e dunas eólicas (BAGNOLD, 1941; FRYBERGER; SCHENK, 1981). As marcas onduladas podem cavalgar sobre a superfície deposicional em ângulo subcrítico, crítico ou supercrítico, conforme sua inclinação em relação à forma de leito subjacente (RUBIN; HUNTER, 1982).

Dunas eólicas são formadas por estratos cruzados compostos por diversos tipos de estratos (HUNTER, 1977), sendo os mais comuns: estratos de fluxo de grãos (formados pelo escorregamento de areia na face frontal de dunas), estratos transladantes cavalgantes (gerados pela migração de marcas onduladas eólicas) e estratos de queda livre de grãos. Um *set* de estratos cruzados de duna é geralmente composto por diferentes estratos eólicos e é separado de um set subjacente por superfícies de truncamento. Dois ou mais sets adjacentes são denominados *cosets* (MCKEE; WEIR, 1953). Já os *draas* são grandes formas de leito, compostas pelo cavalgamento de dunas superpostas em seus dorsos ou faces frontais (KOCUREK, 1981).

O índice de saturação em areia do ambiente controla o tipo de depósito eólico predominante. Áreas saturadas em areia são completamente cobertas por campos de dunas em migração. Zonas metassaturadas apresentam dunas esparsas separadas por depressões denominadas interdunas. Zonas subsaturadas não apresentam areia suficiente para o embrionamento de dunas eólicas (WILSON, 1972).

Regiões de interduna podem ser secas, úmidas ou encharcadas. Interdunas secas apresentam lençol freático distante da superfície deposicional e apresentam duas formas de leito principais: estratos transladantes cavalgantes e marcas onduladas de grânulos (KOCUREK; HAVHOLM, 1993). Interdunas úmidas formam-se quando o lençol freático ou sua franja capilar encontram-se próximos à superfície deposicional, e suas principais feições são estruturas geradas por adesão de grãos de areia em superfície úmida (KOCUREK; FIELDER, 1982). Interdunas encharcadas ocorrem quando o nível freático está elevado ou ocorrem inundações periódicas em períodos de altas taxas de precipitação, gerando fácies fluviais efêmeras como arenitos maciços, com estratificação cruzada ou horizontal (AHLBRANDT; FRYBERGER, 1981).

Lençóis de areia eólicos secos são áreas de baixa declividade, geralmente às margens de campos de dunas, que se desenvolvem quando as condições deposicionais não são favoráveis para a formação de dunas eólicas com faces frontais desenvolvidas. Tais condições podem ser consequência de granulometria grossa dos sedimentos, cimentações superficiais, cobertura vegetal, enchentes periódicas ou nível freático alto, que aumenta a velocidade do vento necessária para o transporte e restringe a quantidade de areia disponível para o transporte (KOCUREK; NIELSON, 1986). Os lençóis de areia podem ocorrer em margens de ergs, ambientes costeiros ou planícies aluviais (FRYBERGER *et al.*, 1979). As estruturas sedimentares são as mesmas que ocorrem em depósitos de interdunas.

A acumulação eólica ocorre quando há disponibilidade de areia seca e balanço sedimentar positivo. Com base nos processos envolvidos na acumulação eólica, Kocurek e Havholm (1993) definem sistemas eólicos secos e úmidos:

- **Sistemas eólicos secos** se desenvolvem em ambientes saturados em areia, como consequência de um nível freático abaixo da superfície deposicional, que aumenta a disponibilidade de areia seca para o transporte eólico. Nestes sistemas ocorrem dunas sem interdunas, e os processos de deposição, *bypass* e erosão são controlados apenas pela configuração aerodinâmica;
- **Sistemas eólicos úmidos** ocorrem em ambientes metasaturados, com um nível freático próximo à superfície deposicional, que restringe a disponibilidade de areia seca para o transporte eólico. Apresentam depósitos de interdunas úmidas, encharcadas e secas, e os processos sedimentares são controlados pelas configurações aerodinâmicas e pela umidade do substrato.

Regiões desérticas dominadas por dunas eólicas são denominadas *ergs* e são caracterizadas pela alternância entre deposição e hiatos erosivos. De acordo com Porter (1986), os *ergs* podem ser subdivididos em centro de *erg* e margem de *erg*, conforme as associações de fácies presentes. É comum a alternância de depósitos eólicos com depósitos subaquosos nas margens de *ergs*, onde ocorre correlação lateral e intercalação vertical entre depósitos fluviais e eólicos.

Tal interação entre sistemas fluviais e eólicos pode ser consequência de processos alocíclicos ou autocíclicos. Os processos alocíclicos relacionam-se a alterações climáticas regionais, externas à bacia. Os mecanismos autocíclicos originam-se da interação de curta duração entre processos deposicionais coexistentes (FRANK; KOCUREK, 1996). A interação entre sistemas flúvio-eólicos pode, então, ser resultante da interação de curto prazo entre a margem de *erg* e sistemas fluviais adjacentes e da contração e retração do *erg* a longo prazo, em resposta a efeitos tectônicos, climáticos e eustáticos (HERRIES, 1993).

Eventos climáticos de curta duração, como aumento súbito em taxas de precipitação pluvial podem gerar o avanço de rios em direção aos *ergs*, que são canalizados nos corredores de interdunas, retrabalham depósitos eólicos e depositam sedimentos fluviais em porções proximais do sistema (FRYBERGER, 1979; LANGFORD, 1989).

Os processos autocíclicos exercem o principal controle na acumulação de sedimentos de dunas e interdunas em porções centrais de *ergs*, enquanto nas zonas marginais dos *ergs* os

processos envolvidos são mais complexos, com interações entre processos fluviais e eólicos, geralmente alocíclicos. Os processos alocíclicos em margens de *ergs* costumam gerar sucessões verticais de fácies com substituição de fácies eólicas por fácies fluviais em direção ao topo, e vice-versa (SCHERER; LAVINA 2005).

Herries (1993) resume bem as possíveis interpretações sobre a intercalação entre depósitos fluviais e depósitos de dunas eólicas. Para o autor, ou significam a deposição fluvial restrita a interdunas úmidas, com interdigitação e contemporaneidade à acumulação eólica das dunas (autocíclico) ou a deposição fluvial relacionada à interrupção da sedimentação eólica e estabelecimento de uma planície aluvial (alocíclico).

2.2.2 *Diferenças entre processos alocíclicos e autocíclicos*

O término da acumulação eólica em uma região é marcado por superfícies limítrofes denominadas supersuperfícies (KOCUREK, 1988). Segundo Scherer (2004), a origem da supersuperfícies possui controles alocíclicos, devido a mudanças na disponibilidade de sedimentos ou flutuações do lençol freático, ocasionadas por soerguimento, variação no nível relativo do mar ou fatores climáticos. Existem três tipos de supersuperfícies: superfícies de deflação, de inundação e de estabilização. As superfícies de deflação são planas e extensas lateralmente e derivam da erosão eólica de arenitos (LOOPE, 1984). As superfícies de inundação são superfícies erosivas regionais, planas a onduladas, originadas de inundações fluviais ou lacustres (LANGFORD; CHAN, 1988). Superfícies de estabilização são associadas à fixação das dunas pela vegetação.

Um critério para diferenciar processos alocíclicos de autocíclicos é o tipo de contato entre o canal fluvial e as dunas eólicas. Processos alocíclicos geralmente produzem uma alternância entre sucessões fluviais e eólicas limitadas por superfícies erosivas regionais que indicam modificação do estilo deposicional na bacia (HERRIES, 1993; VEIGA *et al.*, 2002). Superfícies de deflação eólicas regionais representam quebras na acumulação eólica, indicando que houve erosão em grande extensão da bacia. Porém, mecanismos autocíclicos também podem apresentar contatos abruptos locais, porque superfícies de inundação fluvial de interdunas podem produzir contatos abruptos entre depósitos fluviais e eólicos contemporâneos (LANGFORD; CHAN, 1989).

Conforme Scherer e Lavina (2005), diversos estudos apontam características sedimentológicas que podem ser utilizadas para diferenciar depósitos fluviais relacionados a

interdunas (autocíclicos) de depósitos fluviais referentes ao desenvolvimento generalizado de sistemas aluviais (alocíclicos) (LANGFORD, 1989; HERRIES, 1993; NEWELL, 2001). As principais diferenças são:

(1) Arenitos fluviais de interdunas tendem a ser bem selecionados devido ao retrabalhamento local de dunas eólicas.

(2) Estratos fluviais de interdunas apresentam raros clastos de pelitos e não apresentam evidências de desenvolvimento de formas de leito. Assim, são compostos principalmente por arenitos maciços.

(3) O contato entre os depósitos fluviais de interdunas e as unidades eólicas é caracterizado por areias de dunas com retrabalhamento homogêneo, indicando ausência de cimentação anterior à erosão.

(4) Paleocorrentes indicam fluxos fluviais controlados pelos corredores da interduna, quase paralelos às cristas das dunas eólicas. Assim, a estratificação cruzada fluvial em interdunas tende a apresentar uma média de paleocorrentes ortogonal à migração das dunas eólicas.

3 LOCALIZAÇÃO

O trabalho desenvolvido envolveu a análise de dois pontos de estudo, situados no bloco leste da Bacia do Paraná no estado do Rio Grande do Sul (SCHERER & LAVINA, 1997). Os pontos estudados foram: (1) afloramento Morro da Pedreira, localizado no município de Sapucaia do Sul (Figuras 2 e 3) e (2) Testemunho de sondagem CA-101, obtido pela CPRM no município de Novo Hamburgo (Figuras 2 e 4).

Foi definido analisar o afloramento Morro da Pedreira porque a presença do pacote eólico úmido foi atestada por Nowatzki & Kern (2000). Já o testemunho CA-101 foi escolhido por dois critérios: (1) Proximidade com o afloramento Morro da Pedreira (cerca de 16 km) e (2) presença de um intervalo descrito pela CPRM como transição entre as formações Rio do Rasto e Botucatu, cujas características indicam a possibilidade de tratar-se do intervalo eólico úmido de interesse.

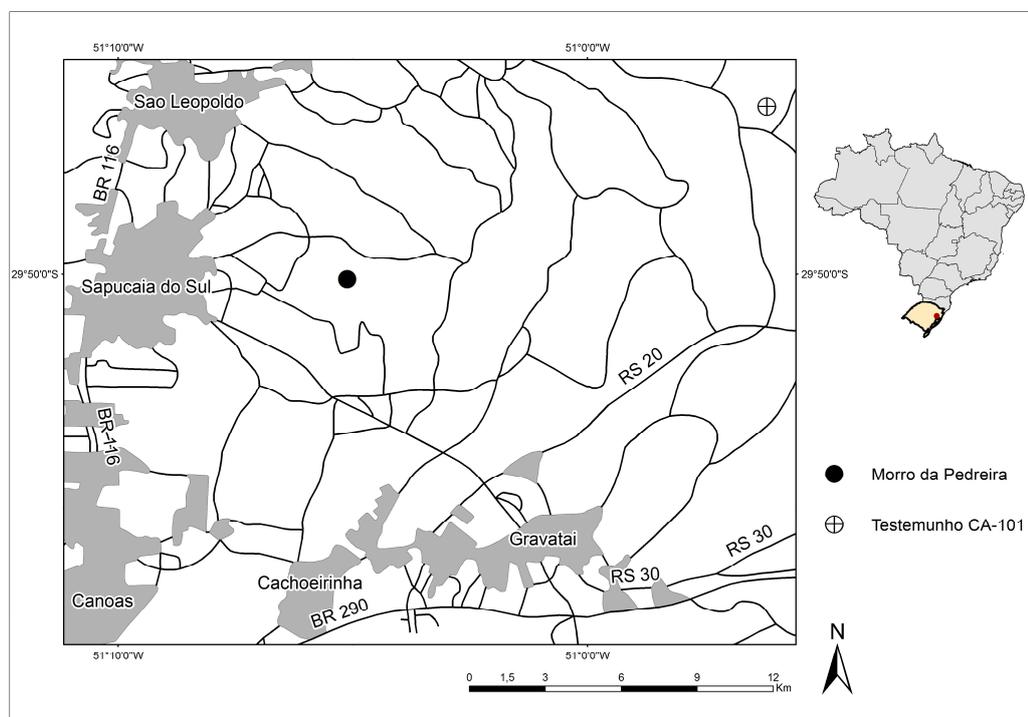


Figura 2. Localização geográfica da área de estudo com a localização do afloramento Morro da Pedreira e do testemunho de sondagem CA-101

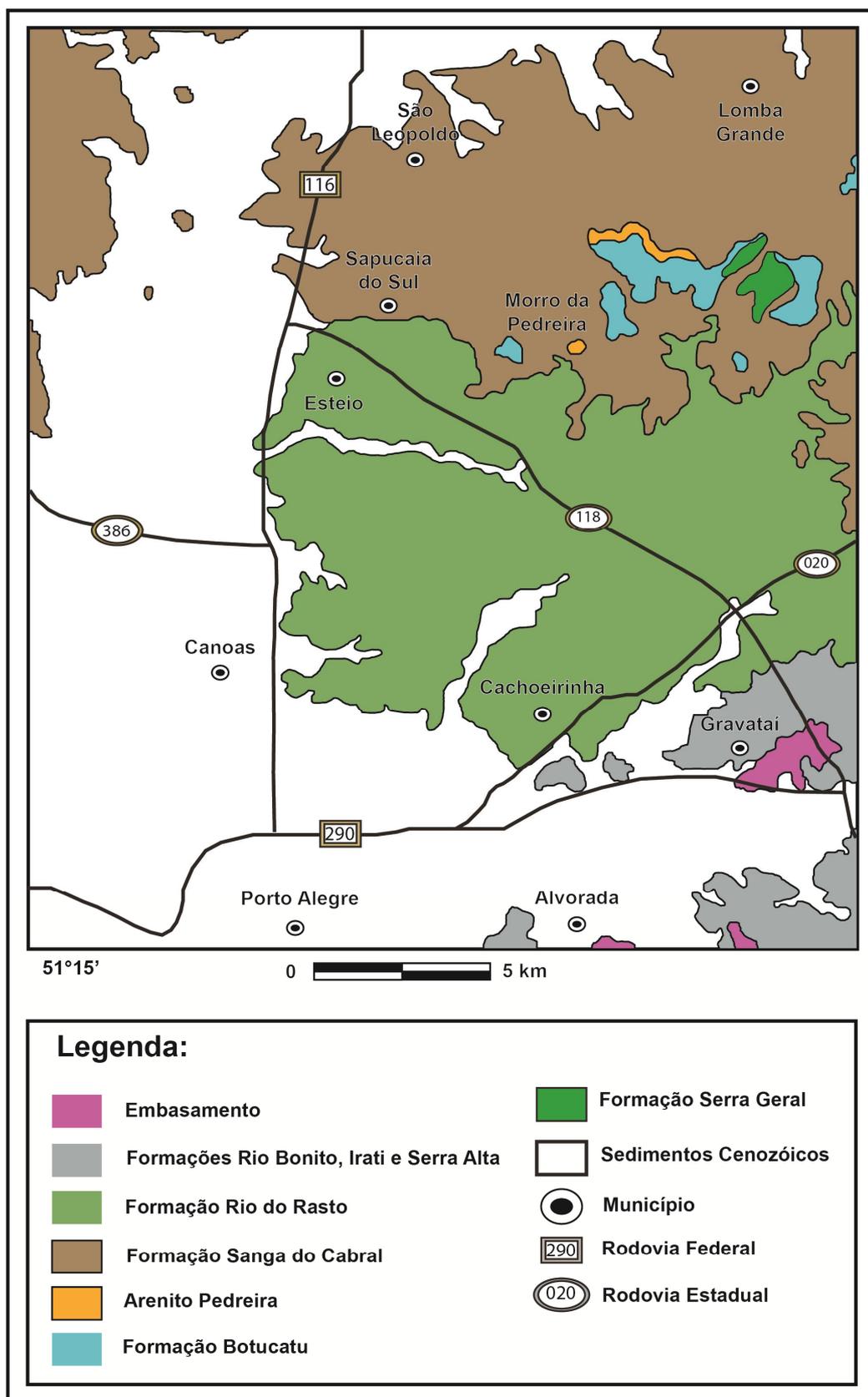


Figura 3. Mapa geológico da área de estudo com a localização do afloramento Morro da Pedreira (Modificado de NOWATZKI; KERN, 2000).

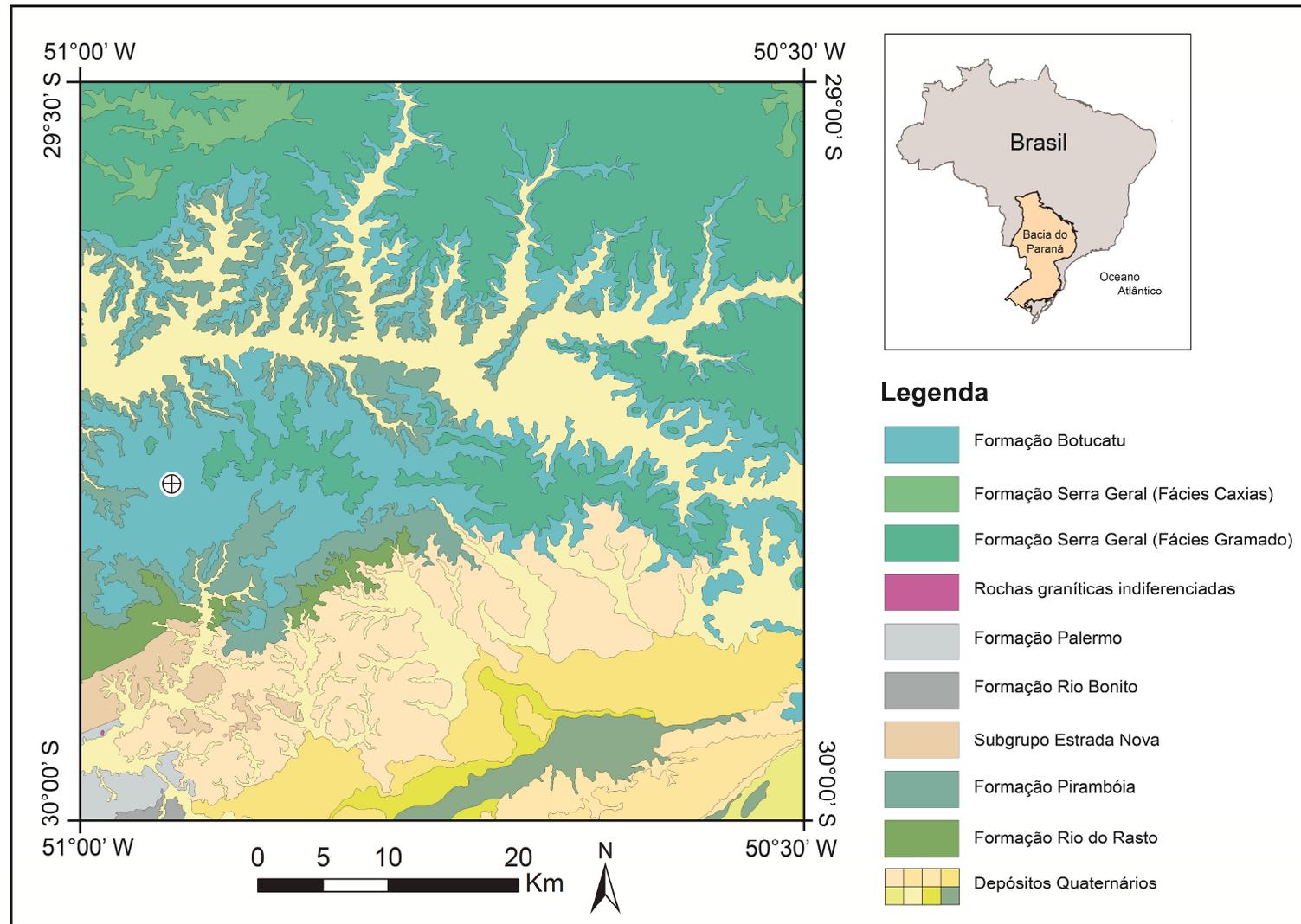


Figura 4. Mapa geológico da área de estudo com a localização do testemunho de sondagem CA-101 (Modificado de ROISENBERG *et al.*, 2008).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram levantados 60 m de perfil colunar em escala 1:25 no afloramento Morro da Pedreira, 150 m de perfil colunar em escala 1:100 do testemunho CA-101 e descritas cinco lâminas petrográficas, de acordo com os métodos descritos a seguir.

4.1 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica foi realizada durante todo o desenvolvimento do projeto. Em etapas iniciais, foi fundamental para a compreensão do estado da arte do tema estudado, enquanto em etapas intermediárias e avançadas teve utilidade na comparação de resultados obtidos com trabalhos realizados por outros autores e no auxílio à interpretação dos dados.

4.2 Trabalho de campo

Para realizar a caracterização de fácies do intervalo sedimentar estudado, foram integrados dados de campo adquiridos no afloramento Morro da Pedreira e no testemunho de sondagem CA-101. Em etapa pré-campo, realizou-se a identificação de rotas de acesso ao afloramento com o *software Google Earth*, selecionou-se o testemunho de sondagem a ser analisado a partir da biblioteca virtual da CPRM e solicitou-se a autorização da CPRM para descrição do testemunho. As atividades de campo consistiram na aquisição de dados estratigráficos através de levantamento de perfis colunares, análise de fácies e coleta de amostras no afloramento Morro da Pedreira, município de Sapucaia do Sul, e no testemunho de sondagem CA-101, situado na litoteca da CPRM em Caçapava do Sul.

4.2.1 Elaboração de perfis colunares e análise de fácies

Os dados estratigráficos foram adquiridos com a elaboração de perfis colunares, representações gráficas do empilhamento vertical dos estratos de um afloramento ou furo de sondagem. O eixo vertical do diagrama representa a espessura dos estratos, enquanto o eixo horizontal representa o tamanho de grão dos sedimentos. Tais perfis também apresentam dados de estruturas sedimentares, códigos de fácies, código de fotografias, medidas de

paleocorrentes e descrições de fácies. Os perfis colunares foram elaborados seguindo uma folha modelo (Figura 5), e as técnicas empregadas para a aquisição de cada dado estratigráfico apresentam-se no quadro 1.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA SEÇÃO/UNIDADE:		NOMES:	
ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS HIDRODINÂMICOS OU DEFORMACIONAIS M Maciço E Cruzada Planar Lam. Plano Paralela E Cruz. Tangencial Lam. Cruz. de ripples E Cruz. Acanalada Ripples assimétricas Lam. Ondulada Truncada Ripples simétricas Estrutura de Carga E. Cruz. Baixo Ângulo Estrutura em Chama		ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS EÓLICOS Estratificação horizontal Estratificação cruzada de baixo ângulo Estratificação cruzada planar Estratificação cruzada tangencial Estratificação cruzada acanalada Estruturas de adesão	
Área Bi Sx Gr Mg G M F M's Ag		Ponto: Coord. UTM E: N: Data: Escala:	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
Cód. Fácies	Paleocorrente Estruturas	Fotos Amostras	
Bi Sx Gr Mg G M F M's Ag		Página /	

Figura 5. Folha modelo para a descrição de perfis colunares.

Dados Estratigráficos	Técnicas de Aquisição
Espessura dos estratos	Trenas e visadas
Granulometria	Lupa de mão e escala de referência
Arredondamento e Grau de Seleção	Comparação com tabela de referência (Compton, 1962)
Estruturas Sedimentares	Análise visual e comparação com tabelas de referência
Geometrias	Análise Visual
Composição	Lupa de mão
Fotografias	Máquina Digital
Atitudes das camadas	Medição com Bússola <i>Brunton</i>

Quadro 1. Técnicas empregadas para a aquisição dos dados estratigráficos.

As fácies foram descritas com base no modelo de classificação de fácies para sistemas fluviais proposto por Miall (1996), modificado para sistemas eólicos. O levantamento de perfis colunares foi realizado nas escalas 1:100 no testemunho de sondagem CA-101 e 1:25 no afloramento Morro da Pedreira, conforme o nível de detalhe necessário.

Com base nos dados geométricos, texturais e estruturais fornecidos pelos perfis colunares desenvolveu-se, em campo, as análises de fácies e interpretações paleoambientais dos sistemas deposicionais envolvidos. A análise de fácies foi realizada conforme o método proposto por Walker e James (1992). Segundo o método, as fácies podem ser agrupadas em associações de fácies, sucessões de fácies e/ou elementos arquiteturais, a partir dos quais são elaborados modelos de fácies, que representam o registro de processos sedimentares e indicam determinados sistemas deposicionais. Diferentes sistemas deposicionais correlatos lateralmente podem ser agrupados em modelos deposicionais. Os modelos deposicionais baseiam-se principalmente em características faciológicas observadas em depósitos sedimentares atuais.

4.2.2 Coleta de amostras

Foram coletadas amostras para cada fácies documentada no afloramento Morro da Pedreira. As amostras foram posicionadas no perfil colunar elaborado, o que permitiu avaliar quais são mais representativas de fácies relevantes para o entendimento dos sistemas deposicionais envolvidos no afloramento. Entre essas amostras, as cinco mais relevantes para

a compreensão do contexto paleoambiental foram selecionadas para a confecção de lâminas delgadas. Após coleta, as amostras foram ensacadas e numeradas, e como se tratam de rochas muito friáveis, foram coletadas amostras de grande porte para evitar que a perda de material durante o transporte prejudique a preparação das lâminas delgadas. As lâminas foram confeccionadas pelo Laboratório de Preparação de Amostras do Instituto de Geociências da UFRGS e impregnadas com corante azul para auxiliar na identificação de porosidade.

4.3 Pós-campo

Nas etapas pós-campo, os dados estratigráficos obtidos foram digitalizados com o auxílio dos *softwares* de edição de imagem *Adobe Photoshop* e *Adobe Illustrator*. Além disso, foi realizada a confecção e descrição de lâminas petrográficas de amostras representativas de fácies pertinentes do afloramento.

As descrições das cinco lâminas petrográficas confeccionadas foram realizadas em microscópio petrográfico de luz transmitida, e forneceram o refinamento de dados composicionais e texturais das fácies descritas no afloramento Morro da Pedreira, auxiliando na identificação de características faciológicas importantes para a distinção entre ambientes de transporte eólico e subaquoso. A caracterização faciológica dos depósitos estudados foi baseada na integração de análise de fácies efetuada em campo com descrições petrográficas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Relações de Contato

Os perfis colunares elaborados do testemunho de sondagem CA-101 e do afloramento Morro da Pedreira encontram-se simplificados nas figuras 6 e 7. As versões completas encontram-se em anexo no final da monografia. A análise dos dados obtidos permitiu identificar relações de contato entre as unidades estratigráficas envolvidas nos depósitos.

O contato entre a Formação Rio do Rasto e o Arenito Pedreira no testemunho CA-101 foi reconhecido onde ocorre mudança significativa de fácies, que sugere um hiato temporal e uma mudança de sistema deposicional. Esta discordância marca a passagem de arenitos bem oxidados, finos a médios, bem selecionados, maciços e com níveis de intraclastos lamosos (Formação Rio do Rasto) para arenitos menos oxidados, finos, mal selecionados, com estratificação cruzada de baixo ângulo marcada por alternância granulométrica entre níveis de arenito fino e níveis de arenito médio a muito grosso (Arenito Pedreira) (Figura 6).

No Morro da Pedreira, os depósitos do Arenito Pedreira encontram-se basculados cerca de 20°, e seu contato com a Formação Botucatu é uma discordância angular (Figura 8). No testemunho CA-101, o contato direto entre o Arenito Pedreira e a Formação Botucatu não está preservado, possivelmente por falha na recuperação. Contudo, a Formação Botucatu foi reconhecida pela presença de estratos cruzados com depósitos de fluxos de grão de até 15 cm de espessura, indicando dunas eólicas de grande porte, não reconhecidas no Arenito Pedreira (Figura 6).

UNIDADE	ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES
Fm Botucatu	Dunas eólicas
Arenito Pedreira	Lençol de areia eólico e interduna eólica
	Dunas eólicas
	Canal fluvial entrelaçado
Fm Rio do Rasto	Planície de Inundação
	Depósitos fluviais

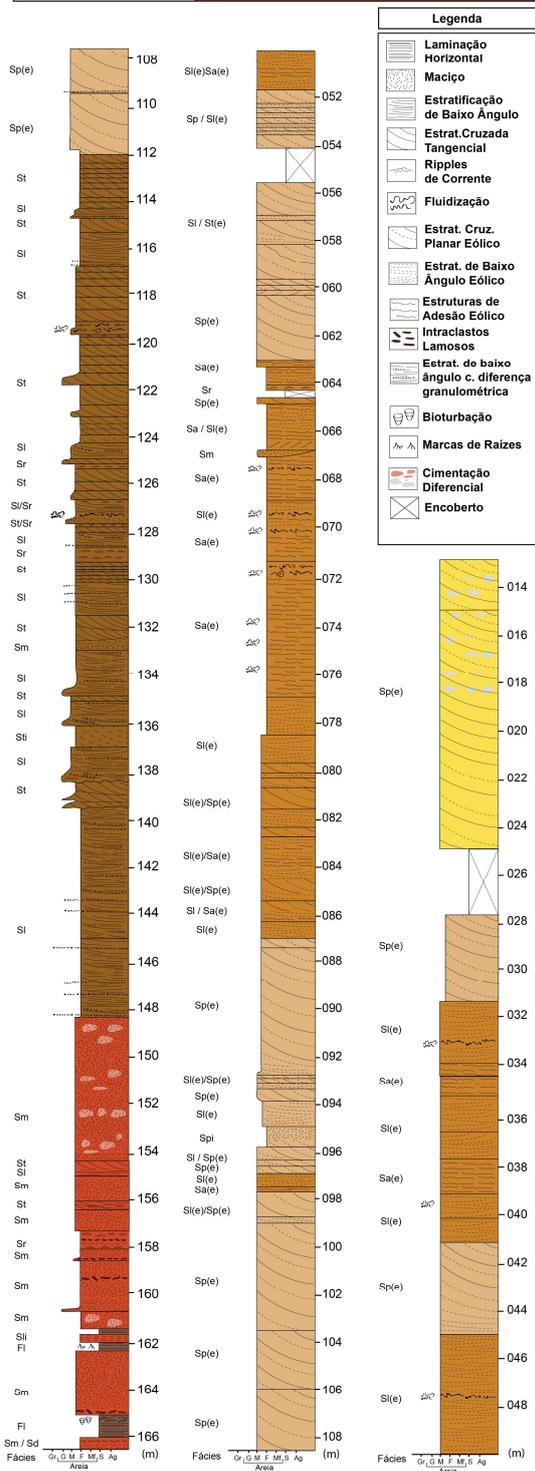


Figura 6. Perfil colunar do testemunho de sondagem CA-101.

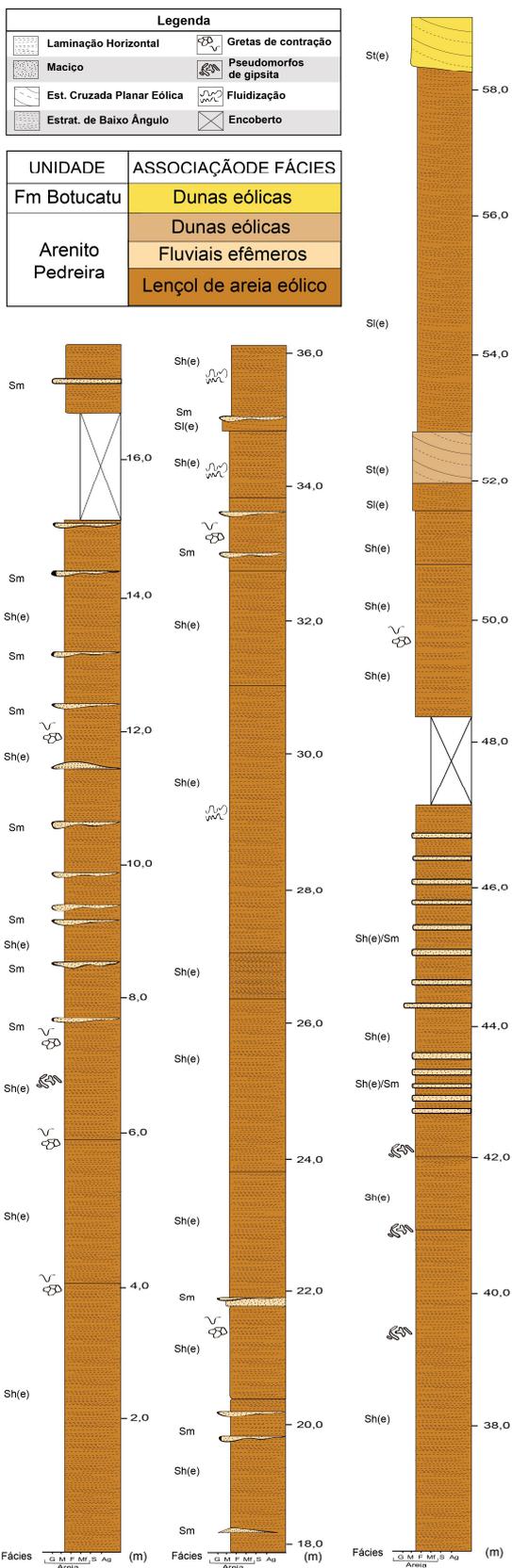


Figura 7. Perfil colunar do afloramento Morro da Pedreira.



Figura 8. Afloramento Morro da Pedreira. A linha tracejada vermelha indica a discordância angular entre o Arenito Pedreira (sotoposto) e a Formação Botucatu (sobreposta).

5.2 *Fácies*

Foram reconhecidas nove litofácies distintas no Arenito Pedreira, que estão descritas e interpretadas no quadro 2 e caracterizadas nas figuras 9 a 17. As características das fácies Sh(e) e St(e) foram detalhadas por descrições de lâminas petrográficas.

As descrições das lâminas da fácies Sh(e) mostram que é constituída por arenitos subangulosos a subarredondados, com esfericidade média, suportados pelos grãos, com contatos pontuais abundantes, contatos longos raros e empacotamento normal. Apresenta laminação paralela com eventual gradação inversa e segregação granulométrica entre lâminas de areia fina e lâminas de areia média, ambas bem selecionadas internamente. Os constituintes primários são quartzo detrítico monocristalino (55%) e policristalino (5%), feldspato potássico e plagioclásio (15%) e minerais pesados (< 1%). Apresenta cimentação por caulinita (19%) e porosidade (5%). Frequentemente os feldspatos estão dissolvidos, substituídos por caulinita ou envoltos por cutículas de hematita. Tratam-se de quartzarenitos a subarcóseos. A fácies St(e) possui características petrográficas semelhantes à fácies Sh(e),

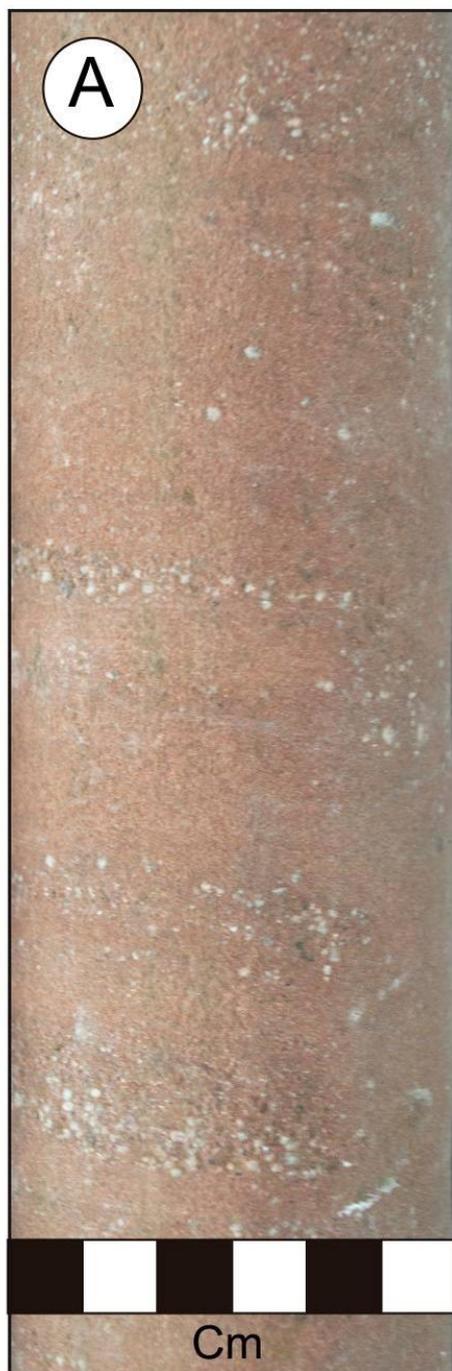
porém é composta de arenitos médios, bem selecionados, arredondados, sem laminação marcada por diferenças granulométricas.

Código	Fácies	Descrição	Interpretação	Ocorrência	Figura
Sl	Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo	Arenitos finos a médios, mal selecionados, subarredondados, com estratificação cruzada de baixo ângulo marcada por variação granulométrica. Localmente há bases erosivas.	Migração de dunas atenuadas na transição entre os regimes de fluxo inferior e superior.	Testemunho CA-101	9
St	Arenito com estratificação cruzada tangencial	Arenitos finos a médios, de mal a bem selecionados, subarredondados, com estratificação cruzada tangencial. Os sets variam de 5 a 100 centímetros, com bases abruptas, por vezes erosivas.	Migração de dunas com crista sinuosa em ambiente subaquoso sob regime de fluxo inferior unidirecional	Testemunho CA-101	10
Sm	Arenito maciço	Arenitos médios e grossos, maciços, bem selecionados, arredondados, em lentes de topo reto e base côncava. Localmente com gradação normal. Ocorrem em lentes de 2 a 10 centímetros de espessura intercaladas com espessos pacotes tabulares da fácies Sh.	Fluxos torrenciais hiperconcentrados com pouco poder erosivo.	Morro da Pedreira	11
Sr	Arenito com laminação cruzada de marcas onduladas	Arenitos finos a médios, de mal a bem selecionados, subarredondados, com laminação cruzada de marcas onduladas assimétricas.	Migração de ripples subaquosas sob regime de fluxo inferior unidirecional	Testemunho CA-101	12
Sh(e)	Arenito com laminação horizontal eólica	Arenitos com laminação horizontal alternando lâminas contínuas de arenito muito fino, bem selecionado e arredondado e lâminas de arenito médio, moderadamente selecionado e arredondado, marcando bimodalidade textural. Localmente com gradação inversa nos estratos. É comum a presença de gretas de ressecamento, pseudomorfs de gipsita e estruturas de deformação da laminação.	Migração de ripples transladantes cavalgantes eólicas sobre superfície plana. Feições de umidade indicam proximidade ao nível freático.	Morro da Pedreira	13

Sl(e)	Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo eólica	Arenitos finos a médios, subarredondados, com estratificação cruzada de baixo ângulo com alternância entre lâminas contínuas, moderadamente a bem selecionadas, de arenito fino e médio.	Migração de ripples transladantes cavalgantes eólicas sobre superfície levemente inclinada	Morro da Pedreira Testemunho CA-101	14
Sa(e)	Arenito com estruturas de adesão eólicas	Arenitos médios, bem selecionados, arredondados, com laminação de baixo ângulo milimétrica corrugada, localmente deformada.	Migração de marcas onduladas eólicas em superfície deposicional úmida, por vezes deformada por fluidização.	Testemunho CA-101	15
Sp(e)	Arenito com estratificação cruzada planar eólica	Arenitos finos a médios, bem selecionados, arredondados, com estratificação cruzada planar marcada pela alternância milimétrica entre estratos de 2 a 10 cm de espessura de arenito médio e estratos de até 2 milímetros de arenito muito fino a fino. Localmente bimodal, com perturbações da laminação.	Depósitos de dunas eólicas de crista reta construídas por depósitos de fluxos de grão e de ripples transladantes cavalgantes. Localmente com fluidizações.	Testemunho CA-101	16
St(e)	Arenito com estratificação cruzada tangencial eólica	Arenitos médios, bem selecionados, arredondados, com estratificação cruzada tangencial.	Depósitos de dunas eólicas de crista curva construídos por ripples transladantes cavalgantes	Morro da Pedreira	17

Quadro 2. Fácies do Arenito Pedreira, identificadas no afloramento Morro da Pedreira e no testemunho de sondagem CA-101.

Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo (SI)



Descrição

Cor	Avermelhado
Tamanho de grão	Fino a médio
Grau de seleção	Mal selecionado
Arredondamento	Subarredondado
Espessura das camadas	20 cm a 2 m
Associação de fácies	Fluvial

Características

(A) Variação granulométrica entre níveis bem selecionados de arenito fino e mal selecionados de arenito médio, grosso e muito grosso

Localmente apresenta estratos com bases erosivas

Interpretação

Migração de dunas atenuadas na transição entre os regimes de fluxo inferior e superior.

Figura 9. Descrição, características principais e interpretação da fácies SI.

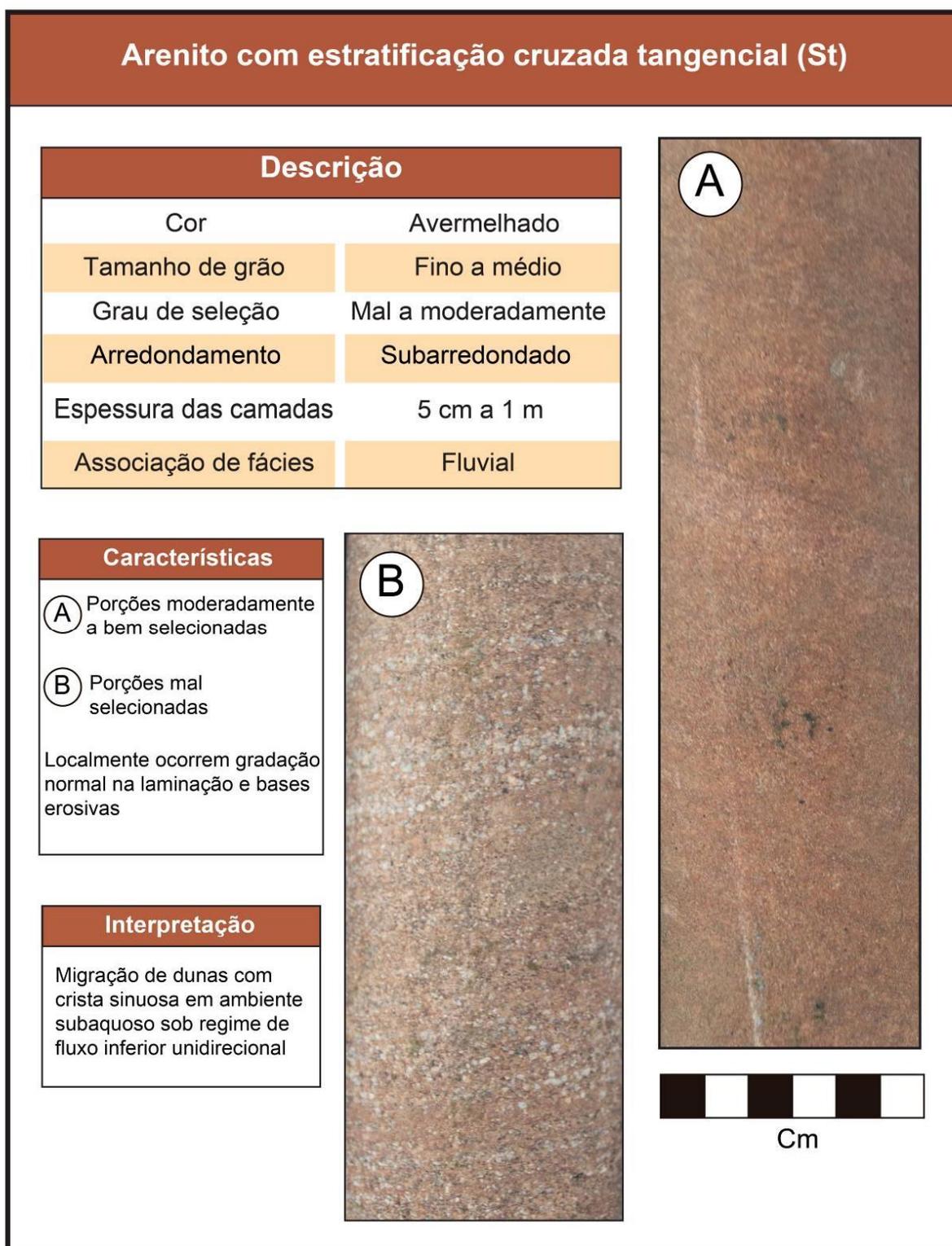


Figura 10. Descrição, características principais e interpretação da fácies St.

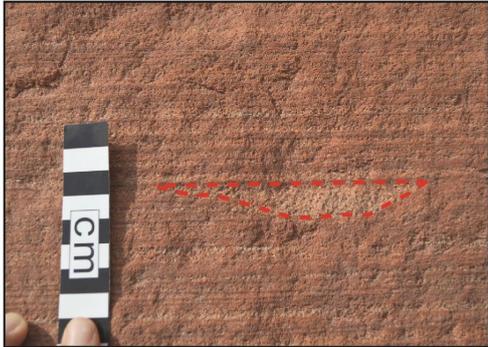
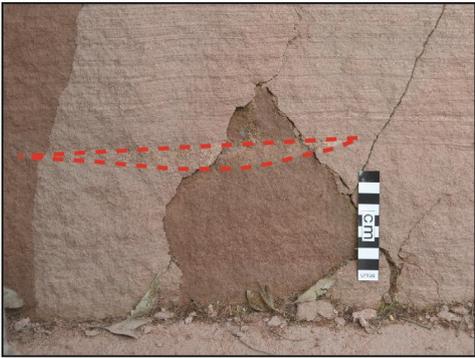
Arenito maciço (Sm)	
Descrição	
Cor	Rosa claro
Tamanho de grão	Médio a grosso
Grau de seleção	Bem selecionado
Arredondamento	Arredondado
Espessura das lentes	2 a 10 cm
Associação de fácies	Lençol de areia eólico
Interpretação	
Fluxos torrenciais hiperconcentrados com pouco poder erosivo.	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	
Características	
Camadas lenticulares de topo reto e base côncava intercaladas com espessos pacotes tabulares da fácies Sh	
Localmente apresenta gradação normal de arenito grosso a arenito médio.	

Figura 11. Descrição, características principais e interpretação da fácies Sm.

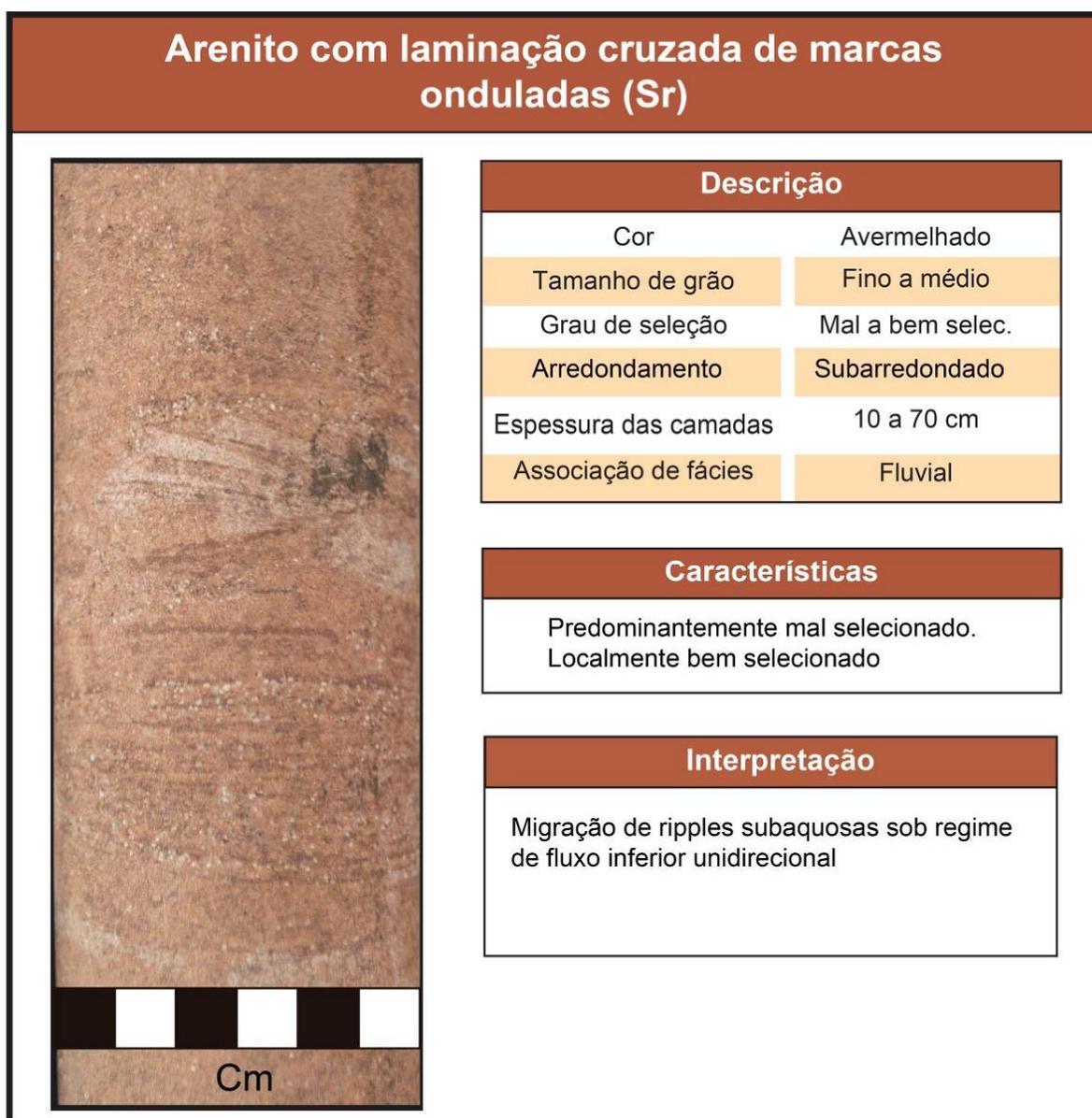


Figura 12. Descrição, características principais e interpretação da fácies Sr.

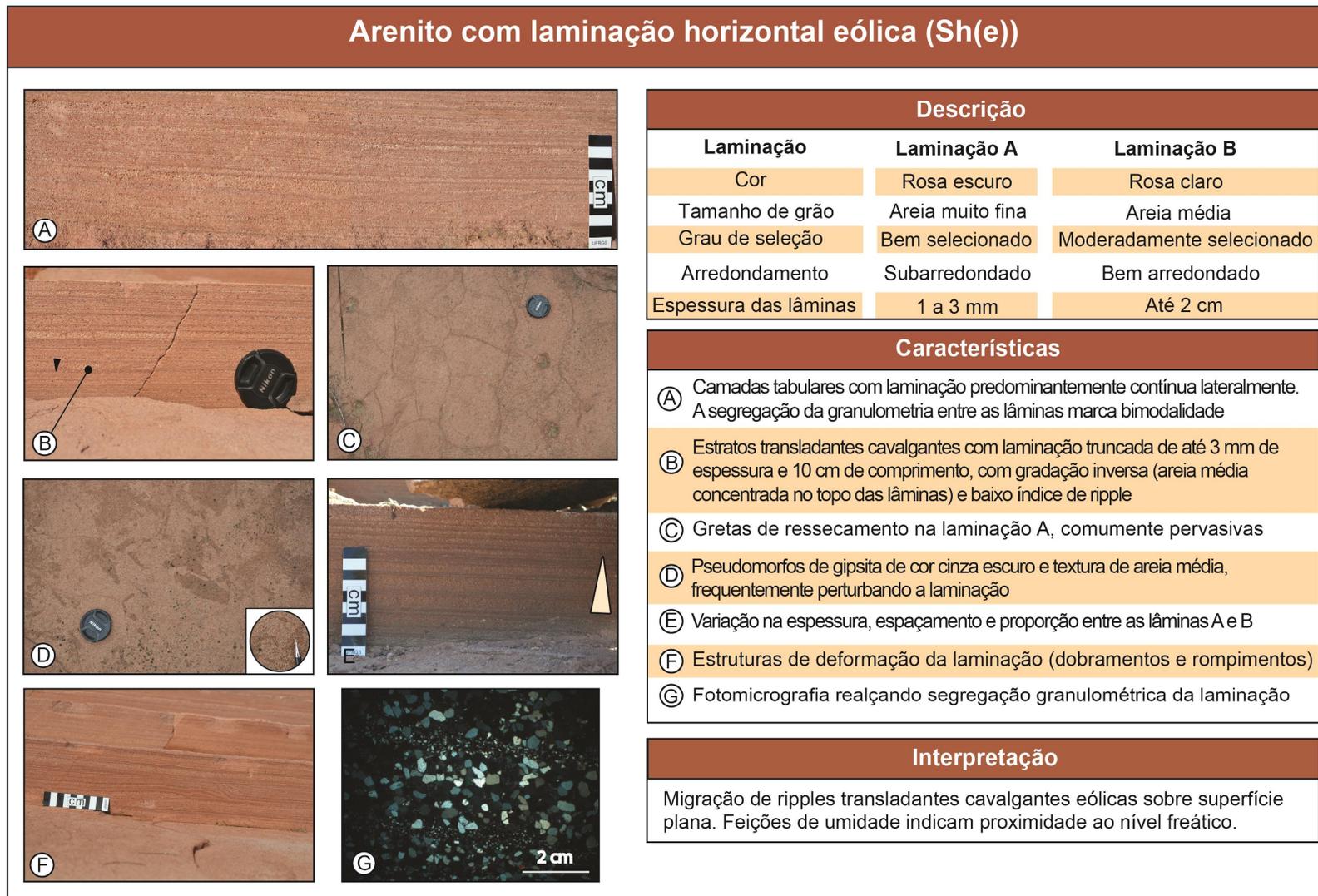


Figura 13. Descrição, características principais e interpretação da fácies Sh(e).



Figura 14. Descrição, características principais e interpretação da fácies SI(e).

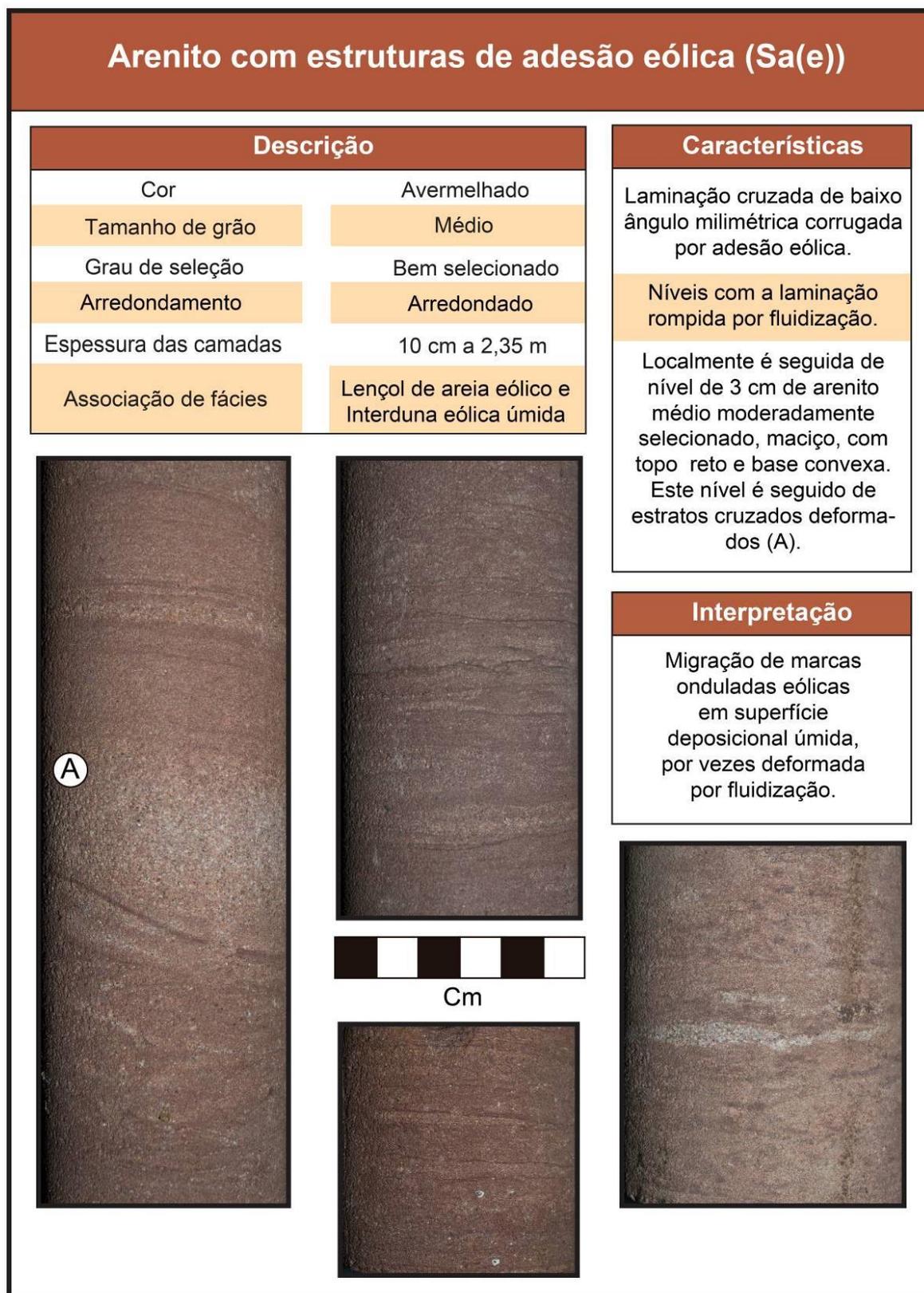


Figura 15. Descrição, características principais e interpretação da fácies Sa(e).

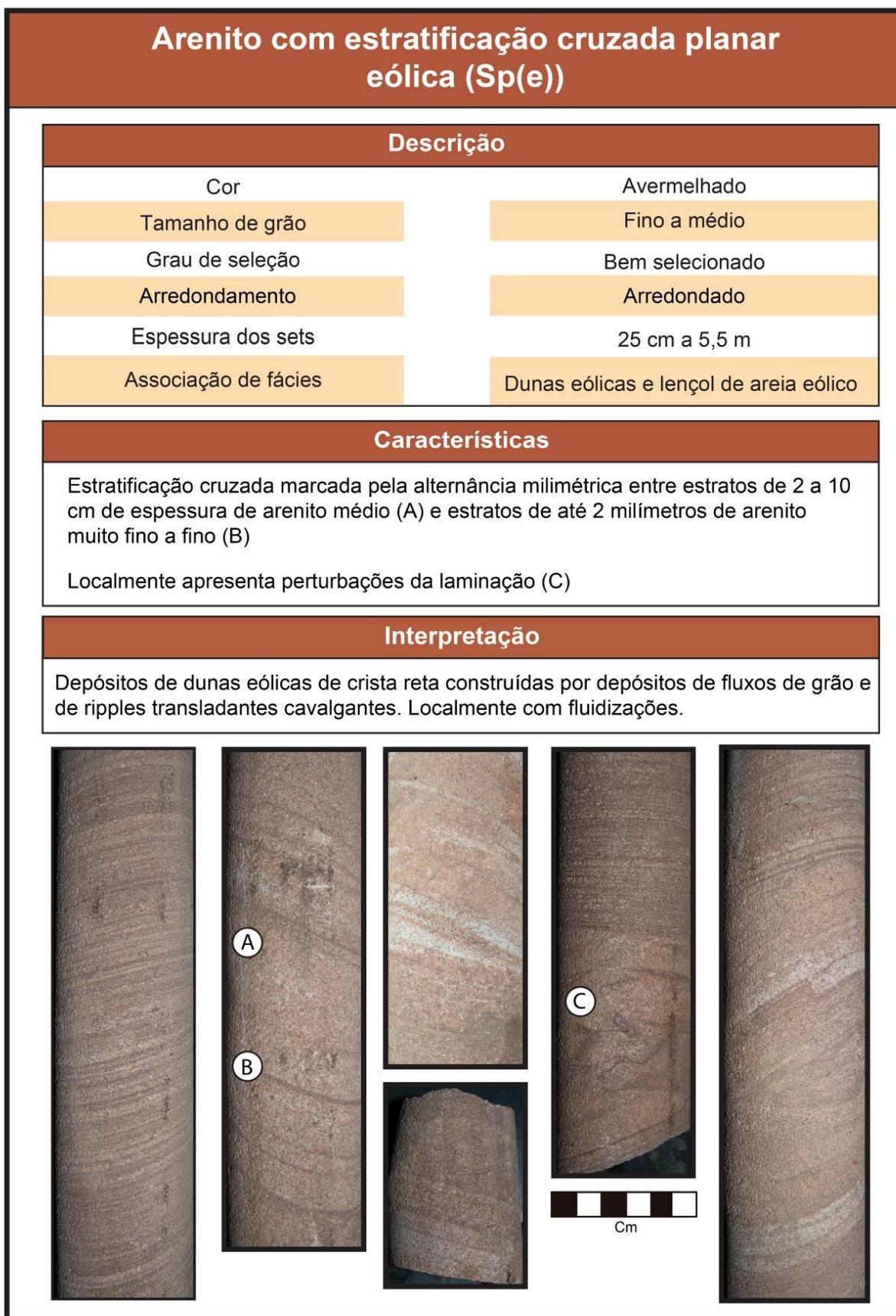


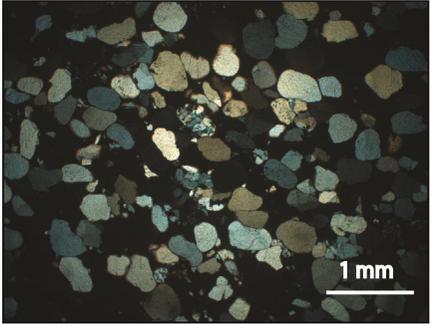
Figura 16. Descrição, características principais e interpretação da fácies Sp(e).

Arenito com estratificação cruzada tangencial eólica (St(e))




Descrição	
Cor	Avermelhado
Tamanho de grão	Médio
Grau de seleção	Bem selecionado
Arredondamento	Bem arredondado
Espessura dos sets	Até 1,20 m
Associação de fácies	Dunas eólicas

Características
Composta por estratos transladantes cavalgantes.
Intercalada com estratos cruzados de baixo ângulo
Gradação de estratos cruzados de baixo ângulo para estratos cruzados



Interpretação
Depósitos de dunas eólicas de crista curva construídos pela migração de ripples transladantes cavalgantes

Figura 17. Descrição, características principais e interpretação da fácies St(e).

5.3 Associações de Fácies

A análise dos perfis colunares permitiu agrupar as nove fácies descritas para o Arenito Pedreira em quatro associações de fácies distintas: depósitos fluviais, lençol de areia eólico, dunas eólicas e interduna eólica úmida.

5.3.1 *Depósitos fluviais*

Descrição:

Esta associação de fácies ocorre apenas no testemunho de sondagem CA-101. Compreende um pacote contínuo de 36 m de espessura onde sucedem arenitos finos a médios com grau de seleção variável com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sl), estratificação cruzada tangencial (St) e laminação cruzada de marcas onduladas (Sr).

Na base da sucessão predominam camadas indiferenciadas de arenitos com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sl), intercalados com arenitos com estratificação cruzada tangencial (St) subordinados, ambos mal selecionados e com estratificação granulométrica. Os St apresentam eventuais bases erosivas marcadas por níveis de arenito grosso.

Na porção intermediária para o topo do pacote os arenitos com estratificação cruzada (St) tornam-se predominantes e ocorrem em sets com espessuras muito variáveis (5 ó 100 cm). Os estratos cruzados tornam-se bem selecionados e diminui a proporção de sets com estratificação granulométrica. Subordinadamente ocorrem sets de estratos cruzados de baixo ângulo e raros níveis de laminação cruzada de marcas onduladas. Eventualmente as estratificações encontram-se deformadas por fluidização.

Interpretação:

A presença exclusiva de arenitos com estruturas trativas de fluxo unidirecional em ambiente subaquoso, de pequeno a médio porte, com eventuais bases erosivas indica deposição fluvial. A ocorrência de diversas hierarquias de forma de leito coexistindo no canal fluvial (Sr, St e Sl), com variações na granulometria e no grau de seleção dos depósitos sugere oscilações nas condições hidrodinâmicas do fluxo fluvial.

5.3.2 *Lençol de areia eólico*

Descrição:

No afloramento Morro da Pedreira essa é a associação de fácies dominante, ocorrendo em pacotes tabulares lateralmente contínuos de até 50 m de espessura. Já no testemunho CA-101, ocorre em intervalos de 7 ó 24 m de espessura, intercalados com intervalos de associação de dunas eólicas. É composta predominantemente por arenitos finos a médios, bem selecionados, comumente bimodais (intercalação entre lâminas de arenito muito fino e médio), com laminação horizontal (Sh(e)) e estratificação cruzada de baixo ângulo eólica (Sl(e)) compostos por estratos transladantes cavalgantes com eventuais marcas onduladas de areia grossa (*sand ripples*) e gradações inversas. É comum a presença de intervalos com laminação corrugada (Sa(e)), intensamente perturbada, gretas de ressecamento e pseudomorfos de gipsita. Lentes de até 5 cm de arenito médio a grosso, maciço, com topo reto e base côncava (Sm) ocorrem intercaladas com os estratos horizontais eólicos. Eventualmente sets cruzados planares compostos por estratos de fluxo de grãos e estratos transladantes cavalgantes (Sp(e)) de até 1 m de espessura intercalam-se com os estratos cruzados de baixo ângulo.

Interpretação:

Os *sets* de arenitos bem selecionados, com estratificação horizontal e cruzada de baixo ângulo, com eventuais lâminas com gradação inversa são interpretados como estratos transladantes cavalgantes formados pela migração de marcas onduladas eólicas em ângulo subcrítico em superfícies deposicionais horizontais a levemente inclinadas (HUNTER, 1977). Estratos de baixo ângulo gerados por marcas onduladas eólicas subcríticas podem indicar depósitos de lençol de areia ou interduna eólica. Estes depósitos foram interpretado como Lençol de areia eólico devido à extensa continuidade lateral e médias a altas espessuras.

A presença de pequenos e eventuais *sets* de estratos cruzados compostos por estratos transladantes cavalgantes é interpretada como depósito residual de dunas eólicas famintas, com faces frontais pouco desenvolvidas (KOCUREK, 1991). Sets de estratos cruzados de baixo ângulo com aumento gradativo de inclinação para o topo sugerem a formação de pés de dunas.

Os estratos cruzados de baixo ângulo com laminação corrugada são interpretados como estrutura de adesão eólica originadas pela aderência dos grãos de areia no substrato úmido (KOCUKER; FIELDER, 1982). Os níveis de arenito muito fino com gretas de ressecamento são formados por ressecamento de um substrato úmido por exposição subaérea. Estratos com abundantes pseudomorfos de gipsita também indicam ressecamento do substrato. A evaporação da umidade da superfície deposicional proporcionou a cristalização da gipsita, que posteriormente foi dissolvida e teve seu molde preenchido por sedimentos eólicos depositados posteriormente. Assim, intervalos com predominância de estratos eólicos de baixo ângulo formados por marcas onduladas eólicas com estruturas de adesão eólica, gretas de contração e pseudomorfos salinos indicam a deposição de lençol de areia eólico com superfície deposicional úmida (CLEMMENSEN; ABRAHAMSEN, 1983).

As lentes de arenito maciço são interpretadas como depósitos subaquosos de fluxos hiperconcentrados com pouco poder erosivo. A geometria das lentes com topo reto e base côncava indica feições de escavação e erosão dos fluxos aquosos sobre os estratos eólicos do lençol de areia. A boa seleção das lentes indica retrabalhamento das fácies eólicas subjacentes. Tais depósitos representam fluxos efêmeros originados por inundações relâmpago do lençol de areia, que ocorrem alternadas a longos períodos com ausência do escoamento superficial, representados pelas fácies eólicas do lençol de areia.

Frequentemente ocorre transição entre estratos transladantes cavalgantes e estratos com estruturas de adesão, indicando oscilações na umidade da superfície deposicional ao longo do tempo, em função de variações no nível do lençol freático ou na disponibilidade de areia seca para o transporte eólico (CHAKRABORTY; CHAUDHURI, 1993).

Estruturas de deformação da laminação, frequentes nos arenitos com laminação horizontal, são interpretadas como resultado da sobrecarga de fluxos torrenciais (S_m) sobre o lençol de areia ($S_h(e)$) (Figura 18A), fluidizações (Figura 18B) ou perturbações em função do crescimento de sais que posteriormente foram dissolvidos, preenchidos por areia eólica e transformados nos pseudomorfos de gipsita (Figura 18C). Os processos de fluidização são pós deposicionais e ocorrem em função do soterramento dos depósitos.

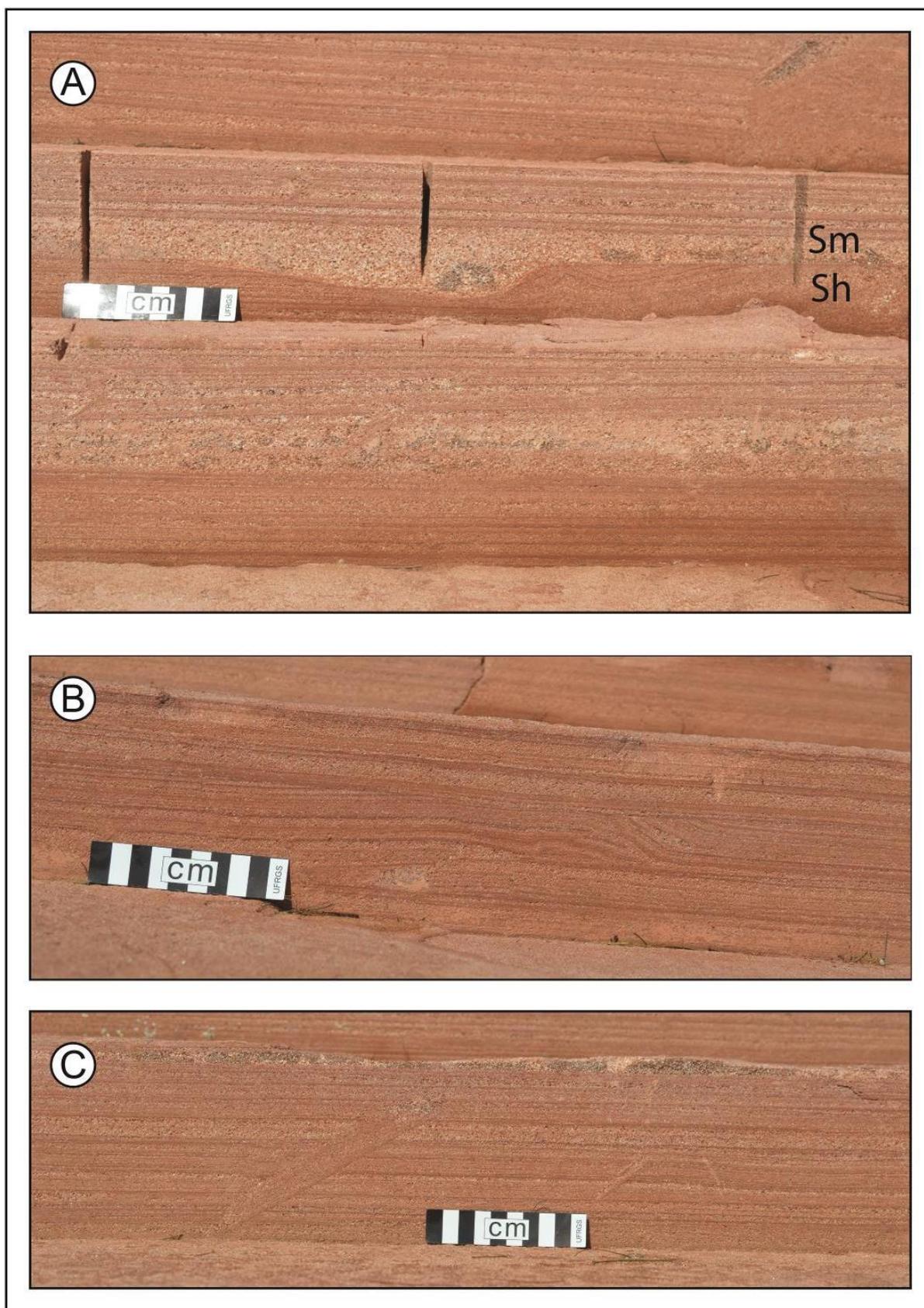


Figura 18. Estruturas de deformação da laminação horizontal de lençol de areia eólico geradas por sobrecarga de fluxos fluviais efêmeros (A), fluidizações (B) e crescimento de sais (C).

5.3.3 Dunas eólicas

Descrição:

No afloramento Morro da Pedreira as dunas eólicas são representadas por estratos cruzados tangenciais (St(e)), em *sets* de até 50 cm. No testemunho de sondagem CA-101 ocorrem em *sets* de médio a grande porte (25 cm ó 5,5 m) de estratos cruzados planares (Sp(e)) intercalados com associações de fácies de lençol de areia e de interduna eólica.

Compostos por arenitos finos a médios, bem selecionados, eventualmente bimodais, com estratificação cruzada composta pela alternância milimétrica entre estratos de arenito médio internamente maciços com ocasional gradação inversa e estratos de arenito muito fino ou fino. Os *sets* de estratos cruzados são delimitados por superfícies subhorizontais de truncamento dos estratos cruzados subjacentes. Localmente ocorrem intervalos com estratos deformados ou maciços. É comum a presença de *sets* com diminuição da proporção de estratos de arenito médio em relação para o topo.

Interpretação:

Os estratos de arenito médio são interpretados como estratos de fluxo de grãos em frente de escorregamento de duna, enquanto os estratos milimétricos de arenito fino e muito fino representam o registro da migração de estratos transladantes cavalgantes gerados por marcas onduladas eólicas subcríticas (HUNTER, 1977). Os *sets* de arenitos bem selecionados, com estratificação cruzada de médio a grande porte composta por estratos de fluxo de grãos intercalados com estratos transladantes cavalgantes de marcas onduladas eólicas são interpretados como depósitos de dunas eólicas (KOCUREK; DOTT, 1981). Os intervalos onde ocorre a abundância de fluxo de grãos indicam a migração de dunas com faces frontais bem desenvolvidas, enquanto a predominância de estratos transladantes cavalgantes indica o retrabalhamento da duna por ventos secundários (KOCUREK, 1991).

Eventuais estratos deformados e maciços podem ser interpretados como fluidizações ou escorregamentos nas frentes de duna. Os processos de fluidização são pós-deposicionais e resultam do aumento da pressão de fluidos nos poros do sedimento como consequência da infiltração de água nas dunas ou da sobrecarga de areia saturada em água (DOE; DOTT, 1980). Os escorregamentos ocorrem quando as porções superiores da duna colapsam devido ao umedecimento das areia ou redução do ângulo de cavalgamento das dunas (MOUNTNEY; THOMPSON, 2002).

5.3.4 Interduna eólica úmida

Descrição:

Presente apenas no testemunho de sondagem CA-101, esta fácies é representada por sets de até 60 cm de arenito médio, bem selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sl(e)) que pode estar distorcida e corrugada (Sa(e)). Diferencia-se da associação de fácies de Lençol de areia eólico porque apresenta pacotes pouco espessos e ocorre intercalada com estratos cruzados de dunas eólicas.

Interpretação:

Os sets de arenitos bem selecionados, com estratificação cruzada de baixo ângulo e eventual gradação inversa são interpretados como estratos transladantes cavalgantes formados pela migração subcrítica de marcas onduladas eólicas em superfícies de baixa declividade ou em porções basais de dunas eólicas (HUNTER, 1977). Os estratos com laminação corrugada são interpretados como estrutura de adesão eólica originadas pela aderência dos grãos de areia no substrato encharcado (KOCUKER & FIELDER, 1982). A predominância de estratos eólicos de baixo ângulo formados por marcas onduladas eólicas subcríticas com estruturas de adesão eólica em sets de pequena espessura, intercalados com associações de dunas eólicas sugere depósito de interdunas eólicas com superfície deposicional úmida.

5.4 Evolução Estratigráfica e Modelo Depositional

A análise de fácies do Arenito Pedreira na área de estudo permitiu a identificação de mudanças paleoambientais ao longo do tempo geológico registradas por diferentes sistemas deposicionais.

Com base no poço, pode-se constatar que o Arenito Pedreira inicia-se com uma espessa (36 m) e contínua sucessão de depósitos fluviais caracterizados por oscilações nas condições hidrodinâmicas de fluxo. Sobre esses depósitos ocorre um intervalo de até 82 m de espessura de associações de fácies eólicas com variações cíclicas nas condições de umidade da superfície deposicional. Os depósitos eólicos representam o retrabalhamento dos depósitos fluviais pelo vento e mudança para condições climáticas mais áridas, com menores taxas de precipitação e escoamento superficial.

O intervalo eólico do Arenito Pedreira representa um sistema deposicional desértico em região de *erg*, composto pela alternância temporal entre sistemas eólicos secos e sistemas eólicos úmidos. Regiões de *erg* apresentam significativa sensibilidade a mudanças climáticas (CLEMMENSEN *et al.*, 1989), de forma que em períodos de maior aridez há predominância de processos eólicos secos e em períodos de maior umidade predominam processos eólicos úmidos.

Sistemas eólicos secos são representados pelo cavalgamento sucessivo de estratos cruzados de dunas eólicas, intercalados com raros e pouco expressivos depósitos de interduna seca (KOCUREK; HAVHOLM, 1993). Esses sistemas se formam em condições de clima árido, com ventos favoráveis e com abundante disponibilidade de areia seca para a acumulação eólica, como resultado de um nível freático ou sua franja capilar abaixo da superfície deposicional (KOCUREK; NIELSON, 1986; SCHERER; LAVINA, 2005), proporcionando o crescimento de estratos eólicos suficientes para cobrir o substrato de areia. Em sistemas eólicos secos, os processos de deposição, erosão e bypass são controlados exclusivamente pelas condições aerodinâmicas do fluxo (KOCUREK; HAVHOLM, 1993).

Em contrapartida, sistemas eólicos úmidos caracterizam-se por estratos cruzados de dunas eólicas separados por estratos de interdunas úmidas ou encharcadas, ou por sucessões de lençóis de areia eólicos com feições de umidade. Os sistemas eólicos úmidos ocorrem quando o nível freático ou sua franja capilar encontra-se em contato com a superfície deposicional, que restringe a disponibilidade de areia seca para o transporte e acumulação de dunas eólicas por adesão à superfície úmida e transforma o substrato em zona metassaturada em areia. A acumulação de sistemas eólicos úmidos ocorre se a elevação progressiva do nível freático coincide com a migração de dunas e interdunas eólicas (KOCUREK; HAVHOLM, 1993).

O estudo da sucessão estratigráfica do intervalo analisado permitiu identificar mudanças na arquitetura deposicional do Arenito Pedreira ao longo do tempo, marcada pela alternância entre sistemas eólicos secos e sistemas eólicos úmidos. Os **sistemas eólicos secos** são caracterizados por associações de fácies de dunas eólicas espessas sem a presença de depósitos de interdunas. Os **sistemas eólicos úmidos** são compostos por associações de fácies de dunas eólicas intercaladas com interdunas úmidas e por lençóis de areia eólicos com variação nas condições de umidade (secos, úmidos e encharcados). Os depósitos de lençol de areia eólico são periodicamente invadidos por fluxos torrenciais, que ocorrem como inundações relâmpago em períodos onde as taxas de precipitação superam as taxas de infiltração, favorecendo o escoamento superficial.

5.5 Ciclicidade Sedimentar

A análise das sucessões verticais de fácies permitiu a identificação de ciclos de variações de umidade nos depósitos do Arenito Pedreira. Ciclos de variações de umidade indicam oscilações dos ambientes deposicionais através do tempo, e são marcados por intervalos de *wetting-upward* quando há aumento de umidade e intervalos de *drying-upward* quando há diminuição da umidade para topo o do empilhamento. Os intervalos de *drying* ou *wetting upward* marcam variações temporais nas superfícies de acumulação sedimentar, e podem ocorrer em resposta a oscilações regionais do nível freático. Os ciclos de umidade identificados no testemunho CA-101 (Figura 19) apresentam anatomias distintas dos ciclos reconhecidos no afloramento (Figura 20).

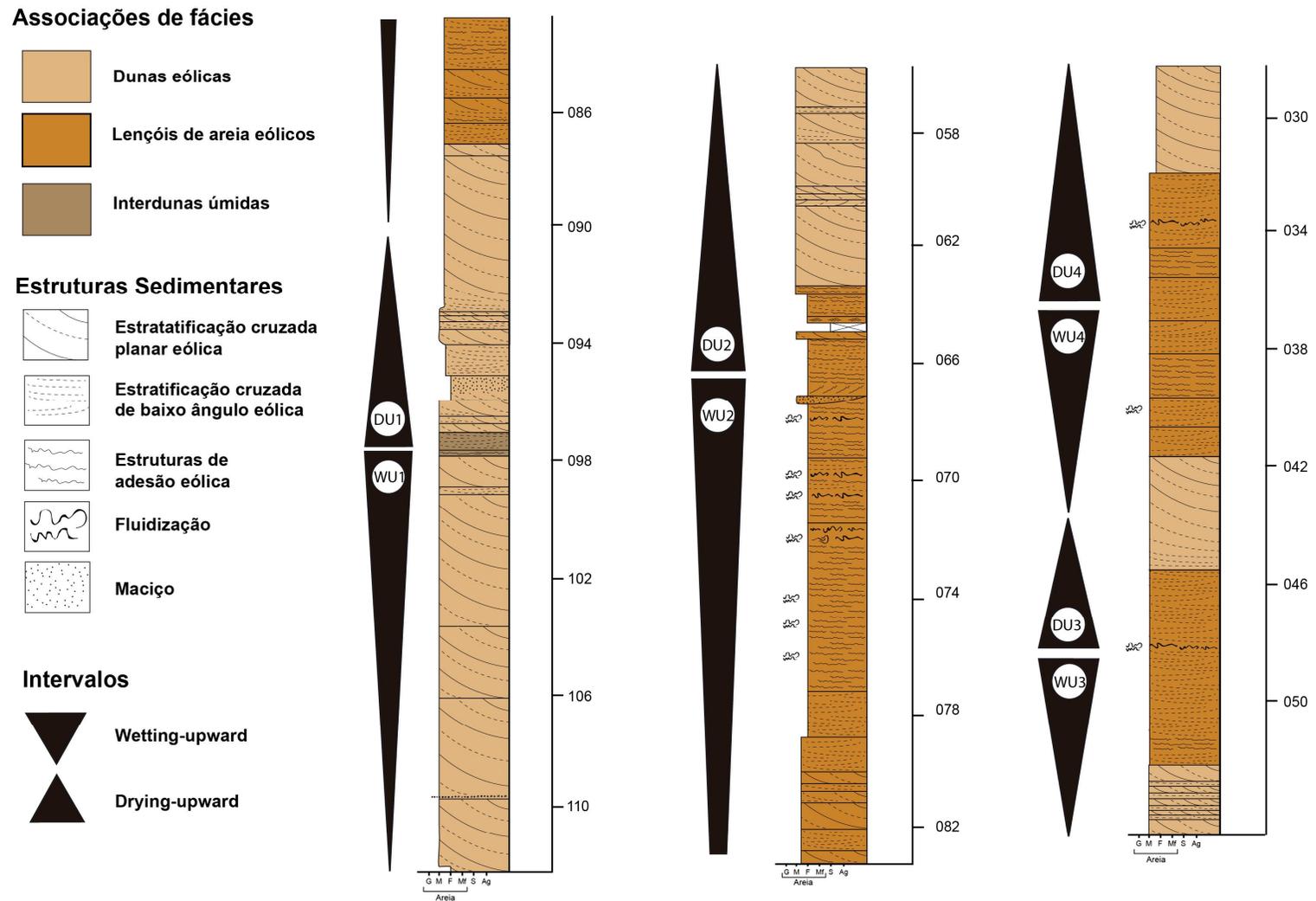


Figura 19. Ciclos de umidade reconhecidos nos depósitos eólicos do Arenito Pedreira no testemunho CA-101.

Estruturas Sedimentares

-  Estratificação horizontal eólica
-  Estratificação cruzada planar eólica
-  Gretas de contração
-  Pseudomorfos de gipsita

Associações de fácies

-  Dunas eólicas
-  Lençóis de areia eólicos

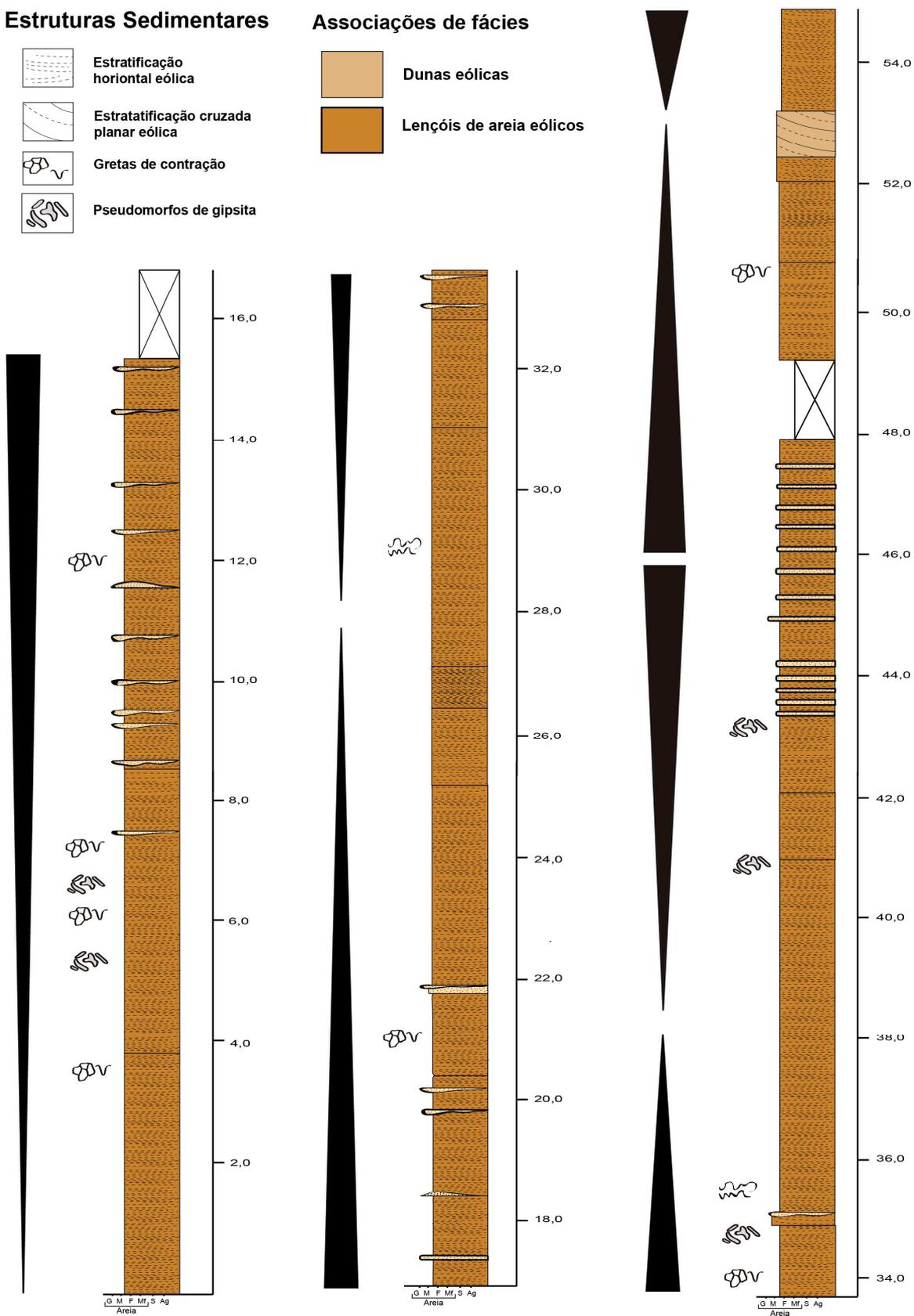


Figura 20. Ciclos de umidade identificados no afloramento Morro da Pedreira.

Descrição dos Ciclos:

No poço CA-101, foram identificados ciclos bem definidos caracterizados pela alternância de intervalos de *wetting* e de *drying-upward* de diferentes anatomias. Foram identificados quatro intervalos *wetting-upward* (WU1 a 4) e quatro intervalos *drying-upward* (DU1 a 4). Os intervalos *wetting-upward* ocorrem quando há passagem de dunas eólicas para interdunas ou para lençol de areia eólico e quando ocorre aumento gradual da umidade dentro de sucessões de depósitos de lençol de areia. Já os intervalos *drying-upward* são marcados por um aumento em direção ao topo nas razões duna/ interduna eólicas e dunas/lençóis de areia eólicos (Figura 19).

WU1: ocorre em um intervalo de 15 m de espessura, marcado na base por espessos *sets* de estratos cruzados de dunas eólicas (1 ó 4 m), que em direção ao topo passam a intercalar com depósitos de interdunas úmidas.

DW1: possui 7 m de espessura e é marcado por um decréscimo em direção ao topo da razão interduna/ duna eólica, aliado como um progressivo aumento na espessuras dos *sets* de estratos cruzados de dunas eólicas (< 1 m na base passando para > 1 m no topo).

WU2: apresenta 24 m de espessura, sendo caracterizado na base por *sets* sobrepostos de dunas eólicas que são sucedidos por estratos de lençóis de areia eólico, em intervalos progressivamente mais úmidos para o topo. Os depósitos de lençóis de areia eólicos iniciam com estratos cruzados de baixo ângulo (20 cm a 2 m) alternados com estratos cruzados de dunas eólicas (até 1 m) e delgados estratos de adesão eólica (até 15 cm), indicando um lençol de areia seco a úmido. Os estratos de adesão se tornam mais espessos para o topo, ocorrendo em um intervalo de 12 m, até se intercalarem com um nível de 3 cm de fluxo torrencial, sugerindo depósitos de lençol de areia úmido a encharcado.

DW2: tem espessura de 10 m, sendo caracterizado pela passagem dos lençóis de areia eólicos úmidos para estratos cruzados de dunas eólicas de 10 cm a 3 m de espessura..

WU3: possui espessura de 8 m e marca a passagem dos estratos cruzados de dunas eólicas (10 cm a 1,20 m) para um pacote de 7 m de estratos cruzados de baixo ângulo com eventuais estratos de adesão interpretados como lençóis de areia, eólicos.

DU3: apresenta 5 m de espessura, sendo composto por depósitos de lençóis de areia eólicos na base que são sucedidos por estratos cruzados de dunas eólicas de 4 m de espessura.

WU4: com 8 m de espessura, é marcado pela passagem dos estratos cruzados de dunas eólicas para lençóis de areia úmidos compostos por estratos cruzados de baixo ângulo (1 ó 1,5 m) intercalados com estratos de adesão (60 cm ó 1,5 m).

DW4: possui espessura de 7 m e abrange a sucessão dos depósitos de lençol de areia úmidos que são sucedidos por estratos cruzados de dunas eólicas de 4,5 m de espessura..

Já no afloramento foram definidos quatro intervalos *wetting-upward* e três *drying-upward*, com anatomias diferentes em relação aos intervalos do testemunho (Figura 20).

Os ciclos *wetting-upward* (4 a 15 m de espessura) ocorrem quando há passagem de intervalos de estratos horizontais de depósitos de lençol de areia úmido para intervalos onde esses estratos se intercalam com lentes maciças (de até 5 cm de espessura) de fluxos torrenciais hiperconcentrados, ou quando há passagem de estratos cruzados de dunas eólicas para estratos horizontais de lençol de areia.

Os ciclos *drying-upward* (4 a 13 m de espessura) são marcados onde os intervalos de estratos horizontais de lençol de areia úmido intercalados com as lentes de fluxos torrenciais são sucedidos por intervalos de lençol de areia úmido sem a presença destas lentes, ou quando ocorre a passagem de lençol de areia para dunas eólicas.

Interpretação dos ciclos:

Os ciclos de umidade identificados no Arenito Pedreira representam variações na umidade da superfície deposicional, que indicam períodos de oscilação da disponibilidade de areia para o transporte eólico e dos níveis freáticos regionais. Segundo Kocurek *et al.* (2001), a dinâmica do lençol freático é controlada por três fatores principais: (1) mudanças climáticas, (2) atividade tectônica e (3) oscilações eustáticas, quando o sistema eólico é costeiro.

A sucessão sedimentar estudada apresenta depósitos de canais fluviais, dunas, interdunas e lençóis de areia eólicos, sem a presença de depósitos marinhos associados. Trata-se de um sistema eólico desértico intracontinental e não um sistema eólico costeiro, portanto as oscilações do lençol freático são controladas por mudanças climáticas ou pela tectônica da Bacia do Paraná.

Variações cíclicas do nível regional do lençol freático são influenciadas por mecanismos operantes em diversas escalas temporais, que se relacionam ao tipo de controle dos processos sedimentares. Se o controle for autocíclico, as mudanças podem ocorrer em uma escala de 10^1 a 10^2 anos, como resposta a enchentes, chuvas curtas e intensas ou mudanças sazonais anuais. Caso o controle for alocíclico, as variações se dão em escala de 10^3 - 10^6 anos, e marcam mudanças climáticas globais (como alternância entre períodos secos e úmidos associada aos ciclos orbitais de Milankovitch) ou subsidências da bacia sedimentar (MOUNTNEY; THOMPSON, 2002).

No poço CA-101, a alternância em escala decamétrica entre intervalos eólicos com diferentes condições de umidade da superfície deposicional indica ciclicidade controlada por processos alocíclicos, decorrentes de mudanças regionais no padrão de sedimentação, em função de alterações climáticas ou tectônicas de caráter regional (KOCUREK *et al.*, 2001). A ciclicidade entre os depósitos eólicos secos e úmidos pode estar relacionada a mudanças climáticas regionais que alteram as taxas de precipitação e escoamento superficial, modificando o nível do lençol freático e a disponibilidade de areia seca para acumulação eólica. Assim, os ciclos *wetting-upward* representam períodos de aumento da taxa de subida regional do lençol freático ou de sua franja capilar, enquanto os ciclos *drying-upward* indicam intervalos de rebaixamento ou diminuição da taxa de subida do lençol freático. Depósitos cuja sedimentação de sistemas flúvio-eólicos é controlada por mecanismos alocíclicos foram reconhecidos por diversos autores na literatura (CLEMMENSEN *et al.*, 1989, 1994; SCHERER; LAVINA, 2005).

No afloramento, os ciclos de umidade são caracterizados pelo aumento ou diminuição progressiva da proporção entre depósitos de lençol de areia úmido e depósitos de inundações relâmpago. Essa alternância decamétrica entre intervalos com diferentes condições de umidade da superfície deposicional indica ciclicidade com controle alocíclico, relacionada a mudanças climáticas regionais que alteram as taxas de precipitação e escoamento superficial, modificando o nível do lençol freático e a disponibilidade de areia seca para acumulação eólica.

Assim, os ciclos *drying-upward* identificados no afloramento representam períodos de diminuição da influência do lençol freático na sedimentação (mas ainda influente), enquanto os ciclos *wetting-upward* representam períodos de aumento da influência do lençol freático na sedimentação, indicando períodos de maior escoamento superficial evidenciados por inundações relâmpago invadindo os lençóis de areia úmidos.

Entretanto, a entrada individual dos depósitos de fluxos torrenciais nas superfícies de lençol de areia possui gênese controlada por mecanismos autocíclicos, resultantes da interação de curto prazo entre processos sedimentares contemporâneos e internos à bacia sedimentar. As principais evidências do controle autocíclico destes depósitos são: (1) a presença de arenitos fluviais bem selecionados devido ao retrabalhamento local dos depósitos eólicos e (2) a estrutura maciça dos estratos fluviais, sem indícios do desenvolvimento de formas de leito subaquosas.

7 CONCLUSÕES

- O Arenito Pedreira na área de estudo é constituído por nove litofácies distintas, estruturadas em quatro associações de fácies: depósitos fluviais, lençol de areia eólico, dunas eólicas e interdunas eólicas.
- A mudança no estilo deposicional do Arenito Pedreira, registrada pela sucessão de depósitos fluviais seguidos de depósitos eólicos, indica modificações para condições climáticas mais áridas.
- O intervalo eólico do Arenito Pedreira representa um sistema deposicional desértico em região de *erg*, composto pela alternância temporal entre sistemas eólicos secos e sistemas eólicos úmidos.
- As modificações temporais na arquitetura estratigráfica dos depósitos eólicos do Arenito Pedreira representam uma ciclicidade sedimentar decorrente de variações na umidade da superfície deposicional, com gênese relacionada a oscilações regionais do nível freático como consequência de mudanças climáticas globais ou de movimentos tectônicos da Bacia do Paraná.
- Os depósitos de lençol de areia do Arenito Pedreira apresentam inundações periódicas por fluxos torrenciais efêmeros, individualmente controladas por mecanismos autocíclicos, resultantes de interações de curto prazo (10^1 a 10^2 anos) entre processos sedimentares intrabaciais.
- A alternância decamétrica entre intervalos eólicos com diferentes condições de umidade do substrato deposicional indica ciclicidade controlada por processos alocíclicos, provavelmente relacionados a mudanças climáticas regionais de grande escala temporal (10^3 a 10^6 anos) que alteram as taxas de precipitação e escoamento superficial, modificando o nível do lençol freático e a disponibilidade de areia seca para acumulação eólica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLBRANDT, Thomas S.; FRYBERGER, Steven G. Sedimentary features and significance of interdune deposits. 1981.

ANDREIS, R. R.; BOSSI, G. E.; MONTARDO, D. K. O Grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. Camboriú: SBGeo, 1980. p. 659-673.

BARBERENA, Mario C.; ARAUJO, Dina C.; LAVINA, Ernesto L. Late Permian and Triassic tetrapods of southern Brazil. **National Geographic Research**, v. 1, n. 1, p. 5-20, 1985.

BONAPARTE, J. F. Cretaceous tetrapods of Argentina. **Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen**, v. 30, p. 73-130, 1996.

CHAKRABORTY, Tapan; CHAUDHURI, A. K. Fluvial-aeolian interactions in a Proterozoic alluvial plain: example from the Mancheral Quartzite, Sullavai Group, Pranhita-Godavari Valley, India. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 72, n. 1, p. 127-141, 1993.

CLEMMENSEN, Lars B.; ABRAHAMSEN, Kjell. Aeolian stratification and facies association in desert sediments, Arran basin (Permian), Scotland. **Sedimentology**, v. 30, n. 3, p. 311-339, 1983.

CLEMMENSEN, Lars B.; OLSEN, Henrik; BLAKEY, Ronald C. Erg-margin deposits in the Lower Jurassic Moenave Formation and Wingate Sandstone, southern Utah. **Geological Society of America Bulletin**, v. 101, n. 6, p. 759-773, 1989.

CLEMMENSEN, Lars B.; ØXNEVAD, Ingrid EI; DE BOER, P. L. Climatic controls on ancient desert sedimentation: some late Palaeozoic and Mesozoic examples from NW Europe and the Western Interior of the USA. **Orbital forcing and cyclic sequences**, p. 439-457, 1994.

COMPTON, Robert R. Manual of field geology. **Soil Science**, v. 93, n. 4, p. 295, 1962.

DIAS, Kayo Delorenzo Nardi; SCHERER, Claiton MS. Cross-bedding set thickness and stratigraphic architecture of aeolian systems: an example from the Upper Permian Pirambóia Formation (Paraná Basin), southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 25, n. 3, p. 405-415, 2008.

DOE, Thomas W.; DOTT, Robert H. Genetic significance of deformed cross bedding; with examples from the Navajo and Weber sandstones of Utah. **Journal of Sedimentary Research**, v. 50, n. 3, p. 793-812, 1980.

FACCINI, U. F. O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul. Uma análise sob o ponto de vista das seqüências deposicionais. **Porto Alegre. 121p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.**

FRANK, A. J.; KOCUREK, G. Airflow up the stoss slope of sand dunes: limitations of current understanding. **Geomorphology**, v. 17, n. 1-3, p. 47-54, 1996.

FRYBERGER, Steven G.; DEAN, Gary. Dune forms and wind regime. In: **A study of global sand seas**. Washington DC: US Geological Survey Professional Paper, 1979. p. 137-169.

FRYBERGER, Steven G.; SCHENK, Christopher. Wind sedimentation tunnel experiments on the origins of aeolian strata. **Sedimentology**, v. 28, n. 6, p. 805-821, 1981.

HERRIES, Robert D. Contrasting styles of fluvial-aeolian interaction at a downwind erg margin: Jurassic Kayenta-Navajo transition, northeastern Arizona, USA. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 73, n. 1, p. 199-218, 1993.

HUNTER, Ralph E. Basic types of stratification in small eolian dunes. **Sedimentology**, v. 24, n. 3, p. 361-387, 1977.

KOCUREK, Gary; DOTT, Robert H. Distinctions and uses of stratification types in the interpretation of eolian sand. **Journal of Sedimentary Research**, v. 51, n. 2, p. 579-595, 1981.

KOCUREK, Gary. Significance of interdune deposits and bounding surfaces in aeolian dune sands. **Sedimentology**, v. 28, n. 6, p. 753-780, 1981.

KOCUREK, Gary; FIELDER, Gordon. Adhesion structures. **Journal of Sedimentary Research**, v. 52, n. 4, p. 1229-1241, 1982.

KOCUREK, Gary; NIELSON, Jamie. Conditions favourable for the formation of warm-climate aeolian sand sheets. **Sedimentology**, v. 33, n. 6, p. 795-816, 1986.

KOCUREK, Gary. First-order and super bounding surfaces in eolian sequences - bounding surfaces revisited. **Sedimentary Geology**, v. 56, n. 1-4, p. 193-206, 1988.

KOCUREK, Gary. Interpretation of ancient eolian sand dunes. **Annual review of Earth and planetary sciences**, v. 19, n. 1, p. 43-75, 1991.

KOCUREK, Gary; HAVHOLM, Karen G. Eolian Sequence Stratigraphy--A Conceptual Framework: Chapter 16: Recent Developments in Siliciclastic Sequence Stratigraphy. 1993.

KOCUREK, G.; ROBINSON, N. I.; SHARP JR, J. M. The response of the water table in coastal aeolian systems to changes in sea level. **Sedimentary Geology**, v. 139, n. 1, p. 1-13, 2001.

LANGFORD, Richard; CHAN, Marjorie A. Flood surfaces and deflation surfaces within the Cutler Formation and Cedar Mesa Sandstone (Permian), southeastern Utah. **Geological Society of America Bulletin**, v. 100, n. 10, p. 1541-1549, 1988.

LANGFORD, Richard P. Fluvial-aeolian interactions: Part I, modern systems. **Sedimentology**, v. 36, n. 6, p. 1023-1035, 1989.

LANGFORD, R. P.; CHAN, M. A. Fluvial-aeolian interactions: Part II, ancient systems. **Sedimentology**, v. 36, n. 6, p. 1037-1051, 1989.

LAVINA, E. L. **Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano eo Eotriássico (Intervalo Kazaniano-Scythiano) da Bacia do Paraná**. 1991. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LAVINA, E. L. C.; SCHERER, C. M. Arquitetura estratigráfica da sedimentação neopermiana e mesozóica na região oeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Simpósio de Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná**, v. 3, p. 33-4, 1997.

LAVINA, E. L. C.; SCHERER, C. M. Evolução estratigráfica e paleoambiental da sedimentação Neopermiana e Mesozóica do Rio Grande do Sul: implicações na construção do arcabouço estratigráfico da Bacia do Paraná. **Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul: escudos e bacias**, v. 1, p. 145-150, 2003.

LOOPE, David B. Eolian origin of upper Paleozoic sandstones, southeastern Utah. **Journal of Sedimentary Research**, v. 54, n. 2, p. 563-580, 1984.

MCKEE, Edwin D.; WEIR, Gordon W. Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rocks. **Geological Society of America Bulletin**, v. 64, n. 4, p. 381-390, 1953.

MIALL, A. D. *The Geology of Fluvial Deposits*. Springer. 1996.

MILANI, Edison Jose. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. 1997. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MILANI, Edison José et al. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), southern Brazil. **Boletim IG-USP, Série Científica**, v. 29, p. 125-173, 1998.

MILANI, Edson José. Geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental e a evolução geológica da Bacia do Paraná. **Geologia do Rio Grande do Sul**, p. 444, 2000.

MOUNTNEY, Nigel et al. Aeolian and alluvial deposition within the Mesozoic Etjo Sandstone Formation, northwest Namibia. **Journal of African Earth Sciences**, v. 27, n. 2, p. 175-192, 1998.

MOUNTNEY, Nigel P.; THOMPSON, David B. Stratigraphic evolution and preservation of aeolian dune and damp/wet interdune strata: an example from the Triassic Helsby Sandstone Formation, Cheshire Basin, UK. **Sedimentology**, v. 49, n. 4, p. 805-833, 2002.

NEWELL, Andrew J. Bounding surfaces in a mixed aeolianófluvial system (Rotliegend, Wessex Basin, SW UK). **Marine and Petroleum Geology**, v. 18, n. 3, p. 339-347, 2001.

NOWATZKI, Carlos H.; KERN, Henrique P. The eolianites between Sanga do Cabral and Botucatu formations in Rio Grande do Sul State, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 72, n. 2, p. 247-256, 2000.

PORTER, M. L. Sedimentary record of erg migration. **Geology**, v. 14, n. 6, p. 497-500, 1986.

RENNE, Paul R. et al. Age of Etendeka flood volcanism and associated intrusions in southwestern Africa. **Geology**, v. 24, n. 7, p. 659-662, 1996.

ROISENBERG, Ari et al. Geologia da folha Gravataí SH. 22-XCV. 2008.

RUBIN, David M.; HUNTER, Ralph E. Bedform climbing in theory and nature. **Sedimentology**, v. 29, n. 1, p. 121-138, 1982.

SCHERER, C. M. S.; LAVINA, E. L. Aloformação Guará: uma nova unidade estratigráfica mesozóica na porção meridional da Bacia do Paraná. **Simpósio Sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, Barra do Garças, Resumos**, v. 3, p. 36-37, 1997.

SCHERER, C. M. S. Análise Estratigráfica e Litológica da Formação Botucatu (Eocretáceo da Bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul. **Porto Alegre. 230p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade federal do Rio Grande do Sul**, 1998.

SCHERER, C. M. S.; FACCINI, U. F.; LAVINA, E. L. Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. **Geologia do Rio Grande do Sul**, p. 335-354, 2000.

SCHERER, C. M. S. Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin. **Sedimentary Geology**, v. 137, n. 1, p. 63-84, 2000.

SCHERER, C. M. S.; CARAVACA, G. ; SOMMER, C. A. . Evolução Estratigráfica dos Depósitos Eólicos do Grupo São Bento (Cretáceo Inferior da Bacia do Paraná) no Estado do Rio Grande do Sul. In: **I Encontro sobre a Estratigrafia da Bacia do Paraná: Escudo e Bacias**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. p. 170-176.

SCHERER, C. M. S. Sedimentologia e Estratigrafia de Sistemas Fluviais e Eólicos. **Notas de Aula**, 2004.

SCHERER, Claiton MS; LAVINA, Ernesto LC. Sedimentary cycles and facies architecture of aeolianófluvial strata of the Upper Jurassic Guar Formation, southern Brazil. **Sedimentology**, v. 52, n. 6, p. 1323-1341, 2005.

SCHERER, C. M.; ESPÍNDOLA, E.; DE SOUZA, E. G.; DOS REIS, A. D.; FERRONATO, J. P. F.; DARIO, E. M.; WAICHEL, B.; LIMA, E. F.; ROSETTI, L. M. Sucessão flúvio-eólica pr-Botucatu na Sinclinal de Torres-RS: Formação Rio do Rasto ou uma nova unidade jurássica da Bacia do Paraná?. In: **Simpósio Sul-brasileiro de Geologia**, p. 19, 2015.

SCHNEIDER, RiL et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: **Congresso brasileiro de Geologia**. 1974. p. 41-65.

STANISTREET, I. G.; STOLLHOFEN, H. Onshore equivalents of the main Kudu gas reservoir in Namibia. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 153, n. 1, p. 345-365, 1999.

TSOAR, Haim. Bagnold, RA 1941: The physics of blown sand and desert dunes. London: Methuen. **Progress in physical geography**, v. 18, n. 1, p. 91-96, 1994.

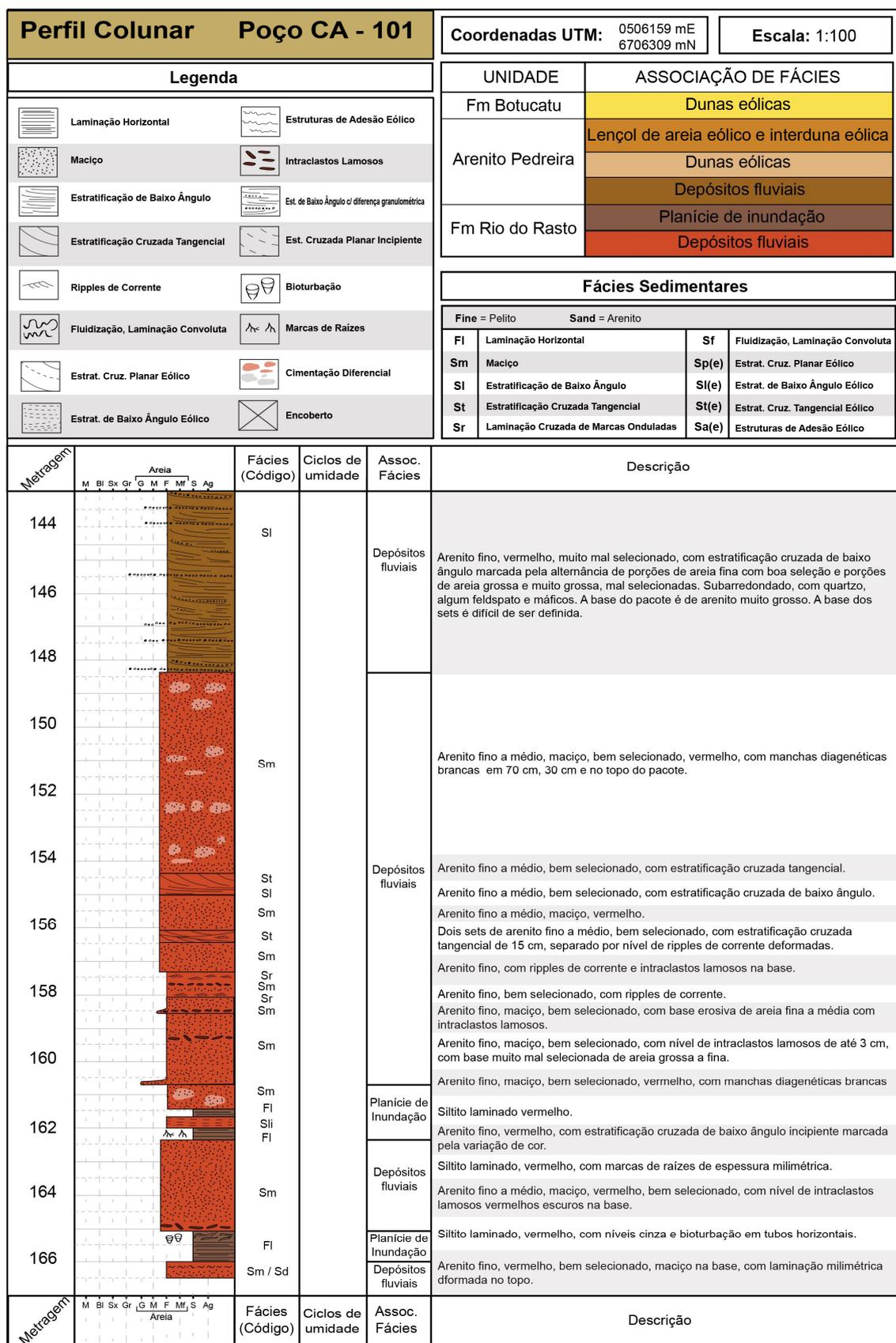
VEIGA, Gonzalo D.; SPALLETTI, Luis A.; FLINT, Stephen. Aeolian/fluvial interactions and high-resolution sequence stratigraphy of a non-marine lowstand wedge: the Avil Member of the Agrio Formation (Lower Cretaceous), central Neuqun Basin, Argentina. **Sedimentology**, v. 49, n. 5, p. 1001-1019, 2002.

WALKER, R. G.; JAMES, N. P. 1992. **Facies models: response to sea-level change: Geological Association of Canada, Geotext**, v. 1, p. 409, 1976.

WHITE, Israel Charles; MOREIRA, Carlos. **Commissão de estudos das minas de Carvão de Pedra do Brazil**. 1908.

WILSON, Ian G. Aeolian bedforms their development and origins. **Sedimentology**, v. 19, n. 3-4, p. 173-210, 1972.

ANEXOS

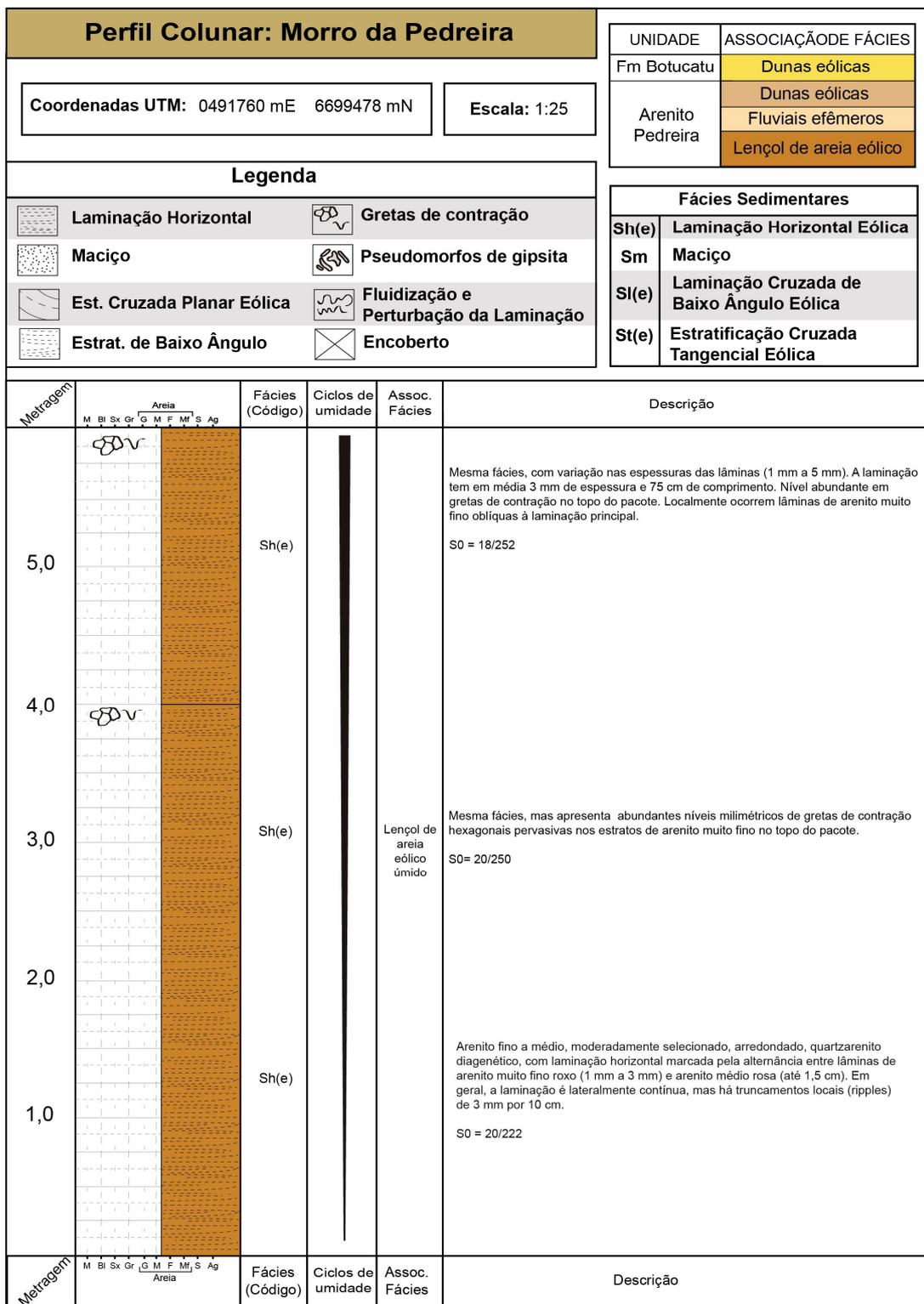


Metragem	Areia										Fácies (Código)	Ciclos de umidade	Assoc. Fácies	Descrição
	M	Bl	Sx	Gr	G	M	F	M'	S	Ag				
108												Sp(e)	Dunas eólicas	Base do set de arenito médio com cruzada planar com nível de 0,5 cm de arenito grosso.
110												Sp(e)		Sets de arenito médio, subarredondado, com estratificação cruzada planar marcada pela alternância entre estratos de 1 a 5 mm de arenito médio, bem selecionado e estratos de arenito fino, bem selecionado.
112												St	Depósitos fluviais	Sets de arenito fino, moderadamente a bem selecionado, subarredondado com cruzada tangencial. Espessura dos sets aumenta para o topo.
114												Sl St		Arenito fino a médio, moderadamente a bem selecionado, com cruzada de baixo ângulo, base de arenito médio.
116												Sl		Arenito fino a médio, moderadamente a bem selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo seguida de cruzada tangencial. Base com níveis de arenito médio.
118												St		Arenito fino a médio, bem selecionado, subarredondado, com estratificação cruzada tangencial, sem segregação granulométrica. Base de arenito médio com fluidização deformando a laminação.
120												Sf Sr		Sets de arenito fino, bem selecionado, subarredondado, com estratificação cruzada tangencial e base de areia grossa. Nível de ripples de corrente no topo.
122												St		Sets de arenito fino, bem selecionado, subarredondado, com estratificação cruzada tangencial e base de areia média.
124												St Sti Sl St Sr		Arenito grosso com estratificação cruzada tangencial, passando para arenito médio com cruzada de baixo ângulo, mal selecionado e arenito fino com cruzada tangencial incipiente, terminando em sets de com cruzada tangencial, com boa seleção.
126												St		Sets de arenito fino a médio, mal selecionado, com estratificação cruzada tangencial. A base do primeiro set começa em arenito médio. O último set termina com ripples de corrente.
128												Sr Sl Sm St / Sr		Arenito fino a médio, com base médio a grosso, mal selecionado, arredondado, maciço com nível fluidizado, passando para cruzada de baixo ângulo e ripples de corrente no topo.
130												Sl St St		Arenito fino a médio, mal selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo com base de arenito médio a grosso, set de estratificação cruzada tangencial no topo, terminando em set de ripples de corrente.
132												Sl		Sets de arenito fino a médio, mal selecionado, arredondado, com ripples de corrente de 1 a 4 cm com base acanalada.
134												St Sm		Coset de arenito fino a médio, mal selecionado, com estratificação cruzada tangencial. Arenito fino a médio, mal selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo, com níveis de arenito médio e grosso marcando a estratificação.
136												St Sl		Sets de arenito fino a médio, mal selecionado, com estratificação cruzada tangencial marcada pela diferença granulométrica.
138												Sti Sl		Arenito fino a médio, com estratificação cruzada incipiente.
140												St		Arenito médio, mal selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo, subarredondado, com quartzo e algum feldspato, base erosiva de areia grossa.
142												St		Sets de arenito fino a médio, mal selecionado, com estratificação cruzada tangencial, estratificação granulométrica, subarredondado, com dois pacotes com gradação normal de areia grossa a areia fina a média, base erosiva.
144												Sl		Arenito fino, vermelho, muito mal selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo marcada pela alternância de porções de areia fina com boa seleção e porções de areia grossa e muito grossa, mal selecionadas. Subarredondado, com quartzo, algum feldspato e máficos. A base do pacote é de arenito muito grosso. A base dos sets é difícil de ser definida.
Metragem	Areia										Fácies (Código)	Ciclos de umidade		Assoc. Fácies

Metragem	Areia										Fácies (Código)	Ciclos de umidade	Assoc. Fácies	Descrição
	M	Bl	Sx	Gr	G	M	F	Mf	S	Ag				
072											Sf(e)	Lençol de areia eólico úmido		Arenito fino, bem selecionado e arredondado, com ripples de adesão e intensa fluidização.
074											Sa(e)			Arenito fino, bem selecionado e arredondado, com laminação de baixo ângulo de adesão eólica e níveis fluidizados.
076														
078											Sl(e)	Lençol de areia eólico seco a úmido		Arenito fino, bem selecionado e arredondado, com estratificação cruzada de baixo ângulo, com laminação bem definida e mais apertada que as demais Sl(e), com diversos truncamentos. Intercalação de lâminas roxas de arenito muito fino e rosas de arenito fino. Apresenta lâminas corrugadas.
080											Sp(e) Sl(e) Sl / Sp(e)			Intercalação entre sets de arenito fino a médio, bem selecionado, com estratificação cruzada planar e sets de cruzada de baixo ângulo. Em 80,4 m ocorre gradação da cruzada de baixo ângulo para cruzada planar.
082											Sp(e) Sl(e) Sp(e)			
084											Sl / Sa(e)			Arenito médio, bem selecionado, com intercalação entre cruzadas de baixo ângulo e níveis de ripples de adesão.
086											Sl / Sp(e)			Arenito fino a médio, bem selecionado, com cruzada de baixo ângulo gradando para cruzada planar.
088											Sp(e) Sl(e) Sa(e) Sl(e) Sp(e)			Arenito fino a médio, bem selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo com aumento da inclinação para o topo, seguido de set gradacional de 5 cm de ripples de adesão, 30 cm de cruzada de baixo ângulo e 40 cm de cruzada planar.
090											Sp(e)	Dunas eólicas		Arenito médio, bem selecionado, subarredondado, com estratificação cruzada de baixo ângulo marcada por segregação granulométrica, passando para arenito fino a médio com cruzada planar.
092											Sl(e) Sp(e) Sl(e) Sp(e)			Arenito fino a médio, bem selecionado, subarredondado, com estratificação cruzada de baixo ângulo marcada por segregação granulométrica, passando para sets de arenito médio com cruzada planar e de cruzada de baixo ângulo.
094											Sl(e)	Interduna úmida		Arenito fino, bem selecionado, subarredondado, com estratificação cruzada incipiente na base gradando para maciço. Sem segregação granulométrica.
096											Sm Spi Sl / Sp(e) Sp(e) Sl(e) Sa(e) Sp(e)			Sets de arenito médio, bem selecionado, subarredondado, com transição de estratificação cruzada de baixo ângulo para cruzada planar.
098											Sl(e)			Arenito médio com laminação corrugada, passando para cruzada de baixo ângulo e cruzada planar, bem selecionado e subarredondado.
100											Sp(e)	Dunas eólicas		Arenito médio, subarredondado, bem selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo.
102											Sp(e)			
104											Sp(e)			
106											Sp(e)			
108											Sp(e)			
Metragem	Areia										Fácies (Código)	Ciclos de umidade	Assoc. Fácies	Descrição
	M	Bl	Sx	Gr	G	M	F	Mf	S	Ag				

Metragem	Areia										Fácies (Código)	Ciclos de umidade	Assoc. Fácies	Descrição
	M	Bl	Sx	Gr	G	M	F	M	S	Ag				
036											Sa(e)	Lençol de areia eólico úmido		Sets de arenito médio, bem selecionado, arredondado, com variação entre sets de estratificação cruzada de baixo ângulo e sets de ripples de adesão eólica, com predominância de baixo ângulo. Apresenta sets fluidizados próximos à base e ao topo do pacote. Em 36,5 m ocorre set de baixo ângulo inclinando para o topo.
038											Sl(e)			
040											Sl(e)			
042											Sl(e)			
044											Sp(e)	Dunas eólicas	Set de arenito médio, bem selecionado, arredondado, que passa de cruzada de baixo ângulo para cruzada planar, constituída exclusivamente por estratos de wind ripple.	
046											Sl(e)	Lençol de areia eólico úmido		Arenito médio, bem selecionado, arredondado, com estratificação cruzada de baixo ângulo, com aumento na proporção de estratos de arenito muito fino em relação aos estratos de arenito médio. Apresenta nível de ripples de adesão na base e nível fluidizado no centro.
048											Sf(e)			
050											Sl(e)	Dunas eólicas		Arenito médio, bem selecionado, arredondado, com alternância entre sets de cruzada planar e sets de cruzada de baixo ângulo. Diminuição na proporção de estratos com grainflow para o topo do pacote.
052											Sp(e)			
054											Sp / Sl(e)			
056											Sp(e)	Dunas eólicas		Arenito médio, bem selecionado, arredondado, com cruzada planar. Estratos de grainflow de até 5 cm no centro do set.
058											Sl(e)			
060											Sl / St(e)	Dunas eólicas		Arenito médio, bem selecionado, arredondado, com estratificação cruzada de baixo ângulo na base gradando para cruzada planar, com aumento na frequência de grainflow.
062											Sp(e)			
064											Sf(e)			
066											Sp(e)	Lençol de areia eólico úmido a encharcado		3 Sets de 10 cm de arenito médio com cruzada planar com mudança de paleocorrente. O set basal apresenta mudança de paleocorrente. O set do topo está fluidizado.
068											Sa(e)			
070											Sa / Sl(e)	Lençol de areia eólico úmido a encharcado		Arenito médio, bem selecionado, arredondado, com estratificação cruzada planar marcada por alternância entre laminação milimétrica de areia muito fina e estratos centimétricos de areia média.
											Sr			
											Sp(e)			
											Sa / Sl(e)	Lençol de areia eólico úmido a encharcado		Arenito médio, bem selecionado e arredondado, com ripples de adesão e nível centimétrico de cruzada de baixo ângulo, terminando em nível de arenito médio de adesão.
											St / Sa(e)			
											Sm	Lençol de areia eólico úmido a encharcado		Arenito médio, moderadamente selecionado, subarredondado, com ripples de corrente.
											Sa(e)			
											Sa(e)	Lençol de areia eólico úmido a encharcado		Arenito médio, bem selecionado e arredondado, com estratificação cruzada planar.
											Sl(e)			
											Sf(e)	Lençol de areia eólico úmido a encharcado		Arenito fino, bem selecionado e arredondado, com laminação cruzada tangencial corrugada por adesão, passando para níveis de ripples de adesão intercalados com níveis de cruzada de baixo ângulo indeformadas.
											Sa(e)			
											Sa(e)	Lençol de areia eólico úmido a encharcado		Arenito fino, bem selecionado e arredondado, com ripples de adesão e nível fluidizado com rompimento da laminação, terminando em uma lente de 3 cm de arenito médio maciço, com topo reto e base convexa.
											Sa(e)			
											Sa(e)	Lençol de areia eólico úmido a encharcado		Arenito fino, bem selecionado e arredondado, com variação de pequena escala entre ripples de adesão, níveis fluidizados e cruzada de baixo ângulo.
											Sa(e)			
Metragem	M	Bl	Sx	Gr	G	M	F	M	S	Ag	Fácies (Código)	Ciclos de umidade	Assoc. Fácies	Descrição

Metragem	Areia						Fácies (Código)	Ciclos de umidade	Assoc. Fácies	Descrição				
	M	Bl	Sx	Gr	G	M					F	Mf	S	Ag
012														
014							Sp(e)							
016														
018														
020							Sp(e)		Dunas eólicas		Sets de arenito médio, bem selecionado, bem arredondado, com estratificação cruzada planar marcada pela alternância entre estratos de wind ripple (arenito muito fino) e estratos de grainflow (arenito médio), com ciclos de alternância na proporção entre grainflow e wind ripple, predominando wind ripple. A espessura dos estratos de grainflow varia de 4 cm a 15 cm. Apresenta estratos com gradação inversa e níveis com manchas escuras de cimentação diferencial no topo do pacote.			
022														
024														
026														
028							Sp(e)		Dunas eólicas		Set de arenito fino a médio, bem selecionado, arredondado, com estratificação cruzada planar formada por wind ripples.			
030														
032							Sl(e)		Lençol de areia eólico úmido					
034							Sf(e) Sl(e)							
Metragem	M	Bl	Sx	Gr	G	M	F	Mf	S	Ag	Fácies (Código)	Ciclos de umidade	Assoc. Fácies	Descrição



Metragem	Areia							Fácies (Código)	Ciclos de umidade	Assoc. Fácies	Descrição			
	M	Bl	Sx	Gr	G	M	F					Mf	S	Ag
33,0														
32,0														
31,0														
30,0														
29,0											2 m de Sh com estruturas de fluidização rompendo e dobrando a laminação.			
28,0										Lençol de areia eólico úmido				
27,0											Nível de 60 cm de Sh onde a laminação torna-se mais apertada, finamente espessada e com maior proporção de lâminas de arenito muito fino em relação às lâminas de arenito médio.			
26,0														
25,0														
24,0														
Metragem	M	Bl	Sx	Gr	G	M	F	Mf	S	Ag	Fácies (Código)	Ciclos de umidade	Assoc. Fácies	Descrição

Metragem	Areia										Fácies (Código)	Ciclos de umidade	Assoc. Fácies	Descrição	
	M	Bl	Sx	Gr	G	M	F	Mf	S	Ag					
43,0												Sh(e)			
42,0															S0 = 27/272
41,0															
39,0															
38,0												Sh(e)			Amostra para laminação (PD01H)
37,0															
36,0															
35,0												Sm Sl(e)			Nível de arenito médio a grosso, com laminação cruzada de baixo ângulo, seguida de lente de arenito grosso de topo reto e base convexa. Logo acima, há 15 cm de Sh com perturbações da laminação. Segue-se então o Sh não perturbado por mais 4 m, terminando em pseudomorfos de gipsita no topo.
34,0												Sh(e) Sm			1 m de Sh com estruturas de perturbação da laminação (dobramentos, rompimentos e lâminas cortando a orientação principal da laminação). Níveis de laminação ondulada truncada. Abundantes gretas de contração e moldes de gipsita.
33,0												Sh(e) Sm			S0 = 23/251
Metragem	Areia										Fácies (Código)	Ciclos de umidade	Assoc. Fácies	Descrição	

Metragem	Areia										Fácies (Código)	Ciclos de umidade	Assoc. Fácies	Descrição	
	M	Bl	Sx	Gr	G	M	F	Mf	S	Ag					
52,0												Sh(e)			Sm com laminação contínua e com maior proporção de lâminas de arenito médio em relação aos estratos anteriores. Espessura das lâminas de arenito médio é de 1,5 cm.
51,0												Sh(e)		S0 = 14/259	Intervalo de Sh com ciclos de laminodecrescência ascendente das lâminas de arenito médio até tornarem-se milimetricamente alternadas às lâminas de arenito muito fino. Esta ciclicidade segue intervalos de 10-15 cm. Amostra para laminação (PD01K)
50,0														S0 = 13/285	
49,0															Intervalo ilustrativo de uma porção inacessível do afloramento, representada como encoberto. Utilizando operações trigonométricas envolvendo as coordenadas do último ponto descrito antes do encoberto e do primeiro ponto após, foi estimada a espessura do encoberto em 25 m.
48,0															
47,0														Lençol de areia eólico úmido	
46,0												Sh(e) / Sm			Pacote de Sh intercalado com níveis tabulares de aproximadamente 5 cm de espessura de Sm. O Sh apresenta eventuais estruturas de deformação da laminação.
45,0												Sh(e)			
44,0												Sh(e) / Sm			2,30 m de Sh. No início do pacote há níveis com moldes de gipsita. No centro do pacote ocorrem 5 níveis de arenito médio maciço (Sm), com espessuras variando entre 5 e 10 cm. O topo do pacote termina em um Sm tabular de arenito grosso.
43,0												Sh(e)			
Metragem	M	Bl	Sx	Gr	G	M	F	Mf	S	Ag	Fácies (Código)	Ciclos de umidade	Assoc. Fácies	Descrição	

