

Caracterização multiescalar de reservatórios carbonáticos análogos em afloramentos da Bacia de Sergipe-Alagoas, NE do Brasil

Multiscale characterization of analogous carbonate reservoirs in outcroppings of the Sergipe-Alagoas Basin, in NE Brazil

Antônio Jorge Vasconcellos Garcia | Filipa Cunha Pereira | Wendel Barbosa Araújo | Liana Matos Rocha | Daniela Dantas de Menezes Ribeiro | Flávia Pereira Moura Leal | Gleidson Lima Correia

resumo

Afloramentos em rochas carbonáticas e híbridas na Bacia Sergipe-Alagoas vêm sendo estudados no âmbito do Projeto de “Caracterização Multiescalar em Reservatórios Carbonáticos Análogos da Bacia Sergipe-Alagoas” (Camures-Carbonato), com vistas à aplicação na construção de modelos 3D de reservatórios potencialmente análogos em subsuperfície. A caracterização multiescalar de afloramentos consiste na integração de dados provenientes desde a mega/macroescala até a microescala, coletados em toda a extensão vertical e lateral do afloramento com o objetivo de entender a distribuição espacial das heterogeneidades e os processos sedimentares e diagenéticos controladores das mesmas. O afloramento escolhido para

primeiramente representar esta abordagem metodológica foi a Pedreira Carapeba, caracterizada por intercalações de depósitos de calcarenitos e calcilitos, localmente dolomitizados, pertencentes ao Membro Maruim da Formação Riachuelo. Os dados coletados para a confecção deste trabalho consistiram em descrições e amostragens de 19 perfis litofaciológicos, acompanhados de perfis de raios gama e lâminas delgadas de intervalos de interesse, dados de imageamento 3D e GPR. A integração dos estudos de afloramento com os desenvolvidos em lâminas permitiu o reconhecimento de sete sublitofácies, agrupadas em quatro conjuntos de litofácies: dolomitos, *wackstones* e *packstones* parcialmente dolomitizados, *grainstones* com cimento de calcita espática e microespática, e rochas híbridas. As mesmas são interpretadas como depositadas em um modelo de rampa carbonática,

com leve gradiente deposicional. A dolomitização é o processo diagenético mais relevante no contexto analisado na Pedreira Carapeba. O modelo diagenético de dolomitização considerado é o de mistura de águas (Dorag), fortemente controlado por influxos de fluidos meteóricos e variações do nível do mar. A análise estratigráfica da Pedreira Carapeba permitiu a definição de sete ciclos transgressivos-regressivos de quinta ordem, com os ciclos transgressivos marcados pela presença de fácies de características mais marinhas (em ambiente de rampa intermediária a externa), com predomínio de litofácies do tipo *grain-packstone*, com forte componente oolítica/peloidal e bioclástica (diversificada), representando a implantação e posterior progradação de depósitos de barras arenosas (*shoalsands*) sobre depósitos de laguna. O produto atual da caracterização multiescalar do afloramento Pedreira Carapeba consiste na modelagem geológica 3D de litofácies de reservatórios carbonáticos e mistos, direcionada à integração com a simulação de fluxo.

Palavras-chave: caracterização multiescalar | reservatórios análogos | Bacia de Sergipe-Alagoas | rochas carbonáticas.

abstract

Outcrops in carbonate and hybrid rocks of Sergipe-Alagoas Basin have been studied under the Project "Multiscale characterization of analogous carbonates reservoirs from Sergipe-Alagoas Basin" / CAMURES-Carbonate, aiming to build 3D Reservoirs Models of potentially analogous reservoirs in the sub-surface. The multiscale characterization of outcrops is the integration of data coming from the mega/macroscale to the microscale, collected throughout the vertical and lateral extent of the outcrop in order to understand the spatial distribution of heterogeneities and the sedimentary and diagenetic processes controlling them. This methodological approach was primarily applied to the Carapeba Quarry outcrop, characterized by interbedded deposits of calcarenites and calcimud-stones, locally dolomitized, belonging to the Maruim Member, Riachuelo Formation. The database used in this work consisted of the description and sampling of 19 lithofaciologic logs, together with gamma ray

logs and thin sections in interest intervals, 3D data imaging and GPR. The integration of outcrop analysis with the thin sections allowed the recognition of seven sub-lithofacies, that were grouped into four sets of lithofacies: Dolomites; partly dolomitized wackstones and packstones; grainstones with sparry and microsparry calcite cement and hybrid rocks. These are interpreted as deposited in a slight gradient carbonate ramp model. The dolomitization is the most relevant diagenetic process occurring at Carapeba Quarry. The diagenetic model of dolomitization is considered to be the model of mixing water (Dorag), strongly controlled by the inflow of meteoric fluids and sea level fluctuations. The stratigraphic analysis of Carapeba Quarry allowed the definition of seven 5th order transgressive-regressive cycles. The transgressive cycles are characterized by the presence of marine facies (in intermediate and outer ramp environment), with predominant lithofacies characterized by oolitic/peloidal and bioclastic grain-packstone defining the implementation and subsequent progradation of shoal sands deposits over lagoon deposits. The current product of multiscale characterization of the Quarry Carapeba consists of 3D litho facies modelling of carbonatic and mixed reservoirs, for integration with flow simulation.

(Expanded abstract available at the end of the paper).

Keywords: *multiscale characterization | analogous reservoirs | Sergipe-Alagoas Basin | carbonate rocks.*

introdução

O maior desafio na área de reservatórios se verifica quando a insuficiência de dados de subsuperfície provenientes de poços (testemunho, calha e perfis) introduz uma baixa consistência na capacidade de previsão das características permoporosas/petrofísicas dos intervalos reservatórios em âmbito multiescalar, desde a escala do poro até a da seção sísmica.

Depósitos carbonáticos, sejam de origem microbial/química, de caráter bioclástico (coquinas) ou calcarenitosoolíticos/oncolíticos provenientes de retrabalhamento, costumam resultar em reservatórios bastante heterogêneos, com significativas variações verticais e laterais de fácies e propriedades permoporosas. Estas variações são decorrentes de controles paleoambientais e paleoecológicos durante a sedimentação, associados aos processos diagenéticos e tectônicos pós-deposicionais, durante o soterramento e eventuais soerguimentos temporários dos intervalos previamente depositados, seguidos de novos soterramentos.

Estas variações de propriedades precisam de algum modo ser reconhecidas ou previstas antes da definição do “plano de recuperação” do hidrocarboneto acumulado sob tais complexidades de armazenamento.

Neste contexto, os estudos de potenciais “Reservatórios Análogos de Afloramentos” se apresentam como uma alternativa perfeitamente viável, com o objetivo de reduzir as incertezas na elaboração dos “Modelos Deposicionais e Diagenéticos”, os quais servirão de base para a construção dos “Modelos 3D” de distribuição das propriedades multiescalares do sistema permoporoso e consequente processo de “Simulação de Fluxos” nos reservatórios, a fim de definir o “Plano de Sondagem” para extração.

Em continuidade à proposta de Estudo de Análogos, cabe definir quais unidades aflorantes poderão ser empregadas para aplicação como análogos de reservatórios em subsuperfície. A busca de afloramentos análogos para cada tipo litológico reconhecido em subsuperfície constitui uma alternativa na busca de parâmetros adequados para a caracterização e modelagem geológica.

Este trabalho apresenta os resultados parciais de atividades de pesquisas voltadas ao estudo de “Análogos de Afloramentos” em rochas

carbonáticas e híbridas na Bacia Sergipe-Alagoas, no âmbito do Projeto de “Caracterização Multiescalar em Reservatórios Carbonáticos Análogos da Bacia Sergipe-Alagoas”/(Camures-Carbonato), executado por uma equipe de pesquisadores da Universidade Federal de Sergipe (UFS), vinculada ao Laboratório Progeologia, pertencente ao Núcleo Regional de Competência em Petróleo, Gás e Biocombustíveis (Nupeg), implantado na UFS em parceria com a Petrobras.

O Projeto Camures-Carbonato é executado com suporte de recursos da Rede Carmod – Cenpes – Petrobras, em atendimento à demanda de se obter um melhor entendimento das relações entre os processos de sedimentação carbonática e mista de alguns intervalos estratigráficos da Bacia Sergipe-Alagoas, da distribuição espacial de suas litofácies e das suas heterogeneidades internas, visando auxiliar no entendimento da distribuição das propriedades permoporosas e dos potenciais reservatórios carbonáticos nelas encontrados. O projeto pretende ainda avaliar a possibilidade de empregar os mesmos como análogos de afloramentos para intervalos correspondentes nas demais bacias marginais brasileiras, bem como na própria Bacia Sergipe-Alagoas, onde passariam a configurar-se como potenciais Análogos Perfeitos, dentro do conceito que se encontra discutido neste artigo.

Como meta final de seu desenvolvimento, o projeto tem como objetivo a modelagem geológica 3D de litofácies de reservatórios carbonáticos e mistos, nomeadamente calcarenitos, coquinas, microlititos e calcário fino, laminado ou maciço, integrando tais resultados com estudos de simulação de fluxo, no âmbito da Engenharia de Reservatório. Este trabalho apresenta apenas os resultados dos estudos realizados em um afloramento selecionado, a Pedreira Carapeba, caracterizado por calcarenitos intercalados em calcilutitos, localmente dolomitizados, pertencentes ao Membro Maruim da Formação Riachuelo.

O Projeto Camures-Carbonato, como um todo, tem por alvos de estudo as unidades carbonáticas cretáceas da Bacia Sergipe-Alagoas, com enfoque no reconhecimento multiescalar de detalhe de afloramentos representativos das quatro litofácies de interesse anteriormente referidas, identificadas em distintas unidades da bacia (formações Morro dos Chaves, Riachuelo e Cotinguiba). Além dos estudos realizados na Pedreira Carapeba,

outros afloramentos estão definidos para estudos de detalhe semelhantes nas formações Morro do Chaves, Riachuelo e Cotinguiba, as quais estão

inseridas nos contextos rifte (a primeira) e drifte (as duas últimas), no intervalo estratigráfico Aptiano-Coniaciano (fig. 1).

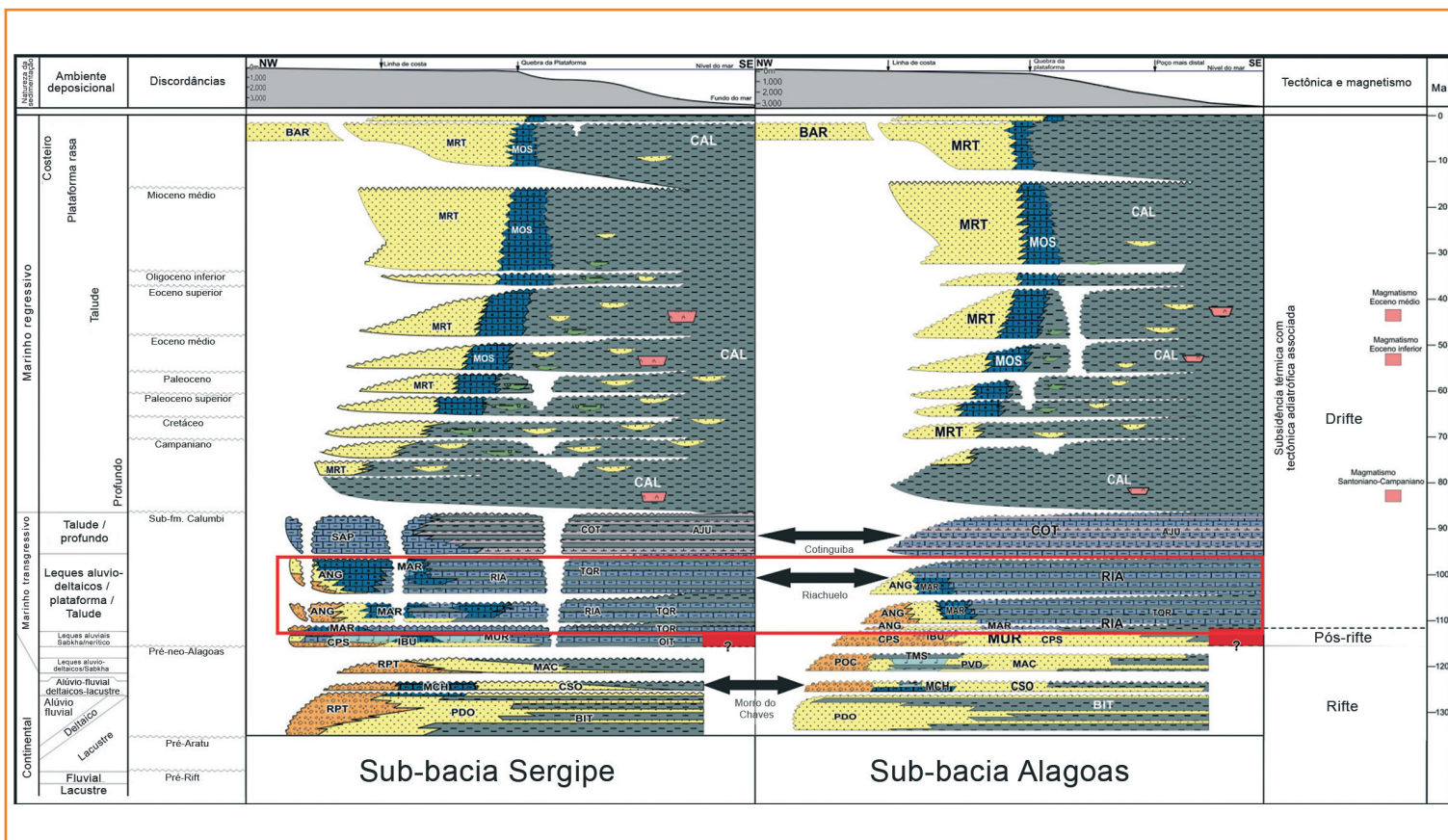


Figura 1 – Posicionamento estratigráfico das unidades-alvo do Projeto Camures-Carbonato nas Cartas da Bacia Sergipe-Alagoas, considerando as particularidades de cada sub-bacia. (Siglas usadas: BAR (Formação Barreiras), MRT (Formação Marituba), MOS (Formação Mosqueiro), CAL (Formação Calumbi), COT (Formação Cotinguiba), SAP (Membro Sapucari), AJU (Membro Aracaju), RIA (Formação Riachuelo), ANG (Membro Angico), MAR (Membro Maruim), TQR (Membro Taquari), MCH (Formação Morro do Chaves), CSO (Membro Coqueiro Seco), MUC (Formação Muribeca), CPS (Membro Carmópolis), IBU (Membro Ibura), OIT (Membro Oiterinhos), MAC (Formação Maceió), TMS (Tabela dos Martins), PDO (Formação Penedo), PVD (Ponta Verde), BIT (Barra de Itiúba), RPT (Rio Pitanga).

Figure 1 – Stratigraphic Positioning of the Project CAMURES-CARBONATE target-units in the Sergipe-Alagoas Basin charts, considering the specificities of each sub-basin. (Abbreviations used - BAR (Training Hurdles), MRT (Training Marituba), MOS (Training Mosqueiro), CAL (Fortmação Calumbi), COT (Training Cotinguiba), SAP (Member Sapucari), AJU (Member Aracaju), RIA (Training Riachuelo), ANG (Member Angico), RMA (Member Maruim), TQR (Member Taquari), MCH (Morro do Chaves Formation), CSO (Member Coqueiro Seco), MUC (Training Muribeca), CPS (Carmópolis State) IBU (Member Ibura), ILO (Member Oiterinhos), MAC (Maceió Formation), TMS (Table of Martins), PDO (Penedo Formation), PVD (Ponta Verde), BIT (Bar Itiúba), RPT (Rio Pitanga).

contexto geológico do intervalo estudado

Os calcarenitos do Membro Maruim, da Formação Riachuelo, constituem o principal intervalo detalhado através da metodologia Camures na primeira etapa do Projeto Camures-Carbonato, desenvolvida com foco na Pedreira Carapeba. Os conceitos e interpretações anteriormente realizadas

sobre este intervalo têm nos trabalhos de Bandeira (1978), Koutsoukose et al. (1991), Mendes (1994), Turbay (2002), Falcone (2006) e Diazet et al. (2009) algumas das mais relevantes considerações para o entendimento regional e local do mesmo.

A figura 2 apresenta a base de dados de campo de Bandeira (1978), ilustrando a abrangência semirregional do levantamento realizado por esse autor, constando de uma excelente abordagem dos calcários das formações Riachuelo e Cotinguiba.

Mapa Geológico de Bandeira (1978) com Afloramentos e Poços Presentes na Área

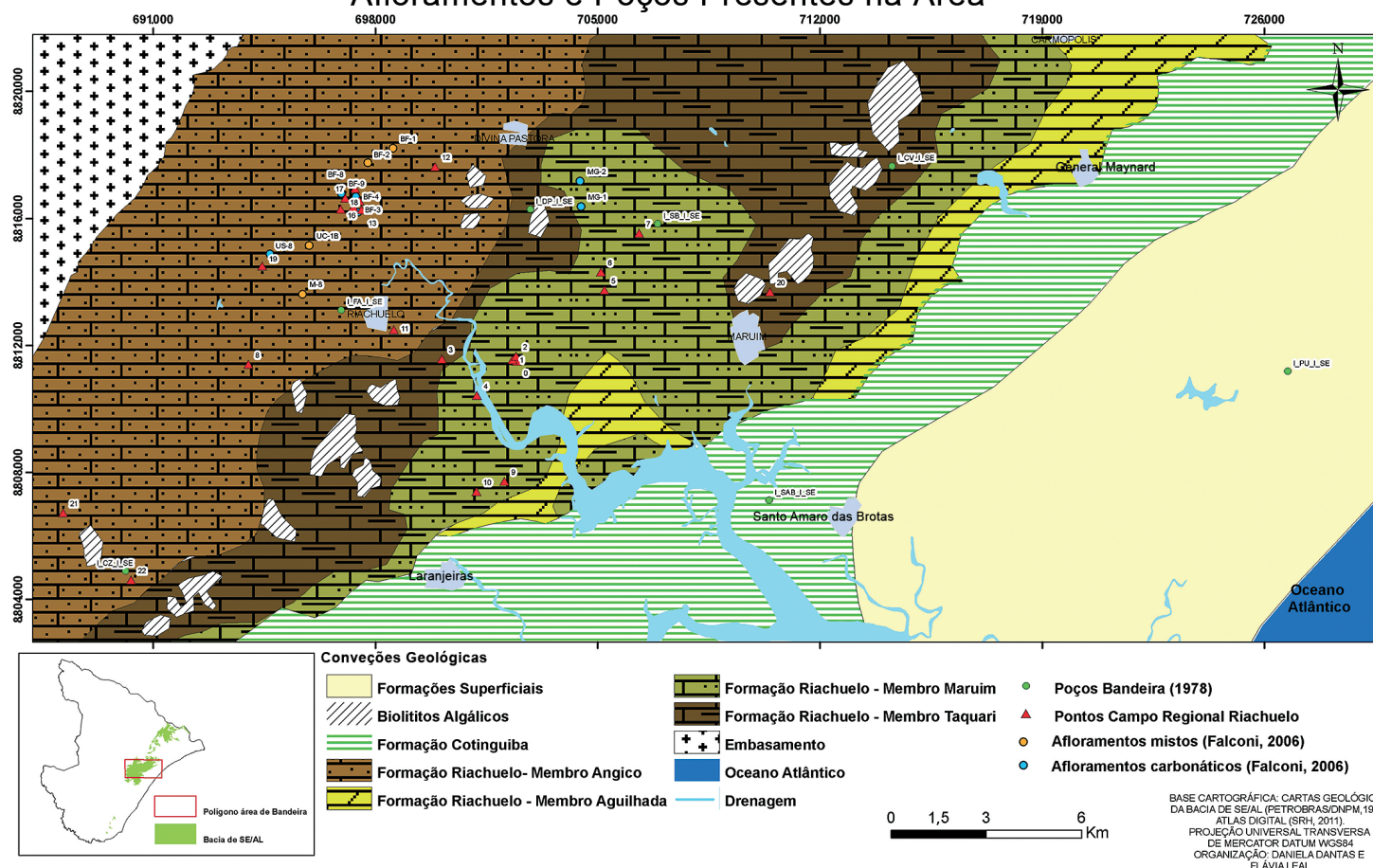


Figura 2 – Mapa geológico da área de estudo de Bandeira (1978), com indicação dos poços e afloramentos estudados pelo autor. Modificado de Bandeira, 1978.

Figure 2 – Geological map of Bandeira's (1978) study area with indications showing the wells and outcrops studied. Modified from Bandeira, 1978.

Koutsoukoset *et al.* (1991) e Mendes (1994) consideram o modelo paleogeográfico apresentado na figura 3 para a sedimentação dos bancos oolíticos- oncolíticos associados a biolititosalgálicos do Membro Maruim. Turbay (2002) sugere que a deposição dos sedimentos encontrados nas pedreiras por eleanalisadas (Carapeba e Brejo) tenha ocorrido em um trato de sistema de mar baixo tardio, gradando para um trato de sistema transgressivo. A figura 4, de Falcone (2006), contextualiza a sedimentação mista registrada na Formação Riachuelo com os leques deltaicos do

Membro Angico, considerando-os formados por fluxos fluidos (trativos) e secundariamente por fluxos gravitacionais, em uma planície deltaica, e por fluxos gravitacionais na frente deltaica, com direção preferencial do aporte sedimentar de NW para SE.

Completando o modelo deposicional considerado por autores que já trabalharam com os intervalos da Formação Riachuelo, nas regiões lagunares e de "talude/bacia", depositaram-se predominantemente folhelhos, margas e calcilutitos, associados ao Membro Taquari (fig. 5).

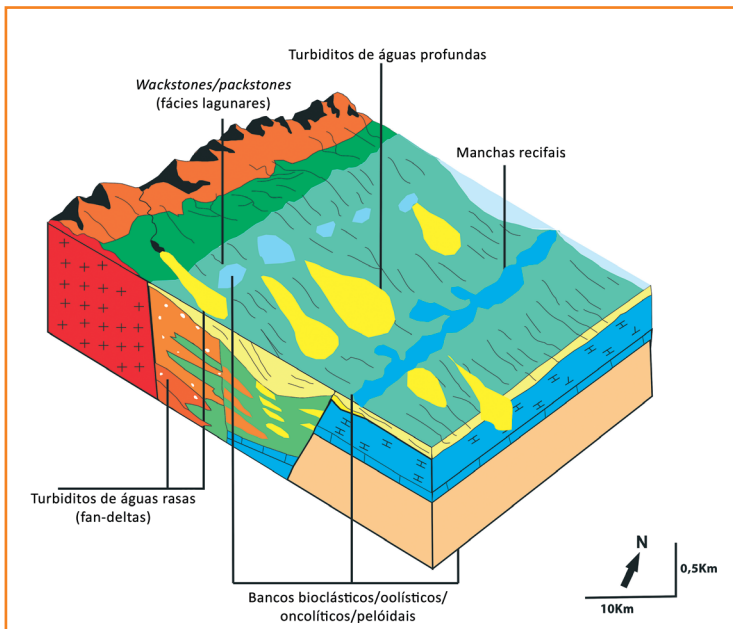


Figura 3 – Reconstrução paleogeográfica do Neo-Aptiano ao Meso-Albiano da Sub-Bacia de Sergipe – SBSE. As rochas carbonáticas de águas rasas estão limitadas aos blocos altos das falhas (modificado de Koutsoukose et al., 1993 apud Azambuja Filho et al., 1998 apud Cruz, 2008).

Figure 3 – Neo-Aptian to Meso-Albian paleogeographic reconstruction of the SBSE. The shallow water carbonate rocks are limited to the hosts (adapted from Koutsoukos et al. Apud 1993 apud Azambuja Filho et al. 1998 Cruz, 2008).

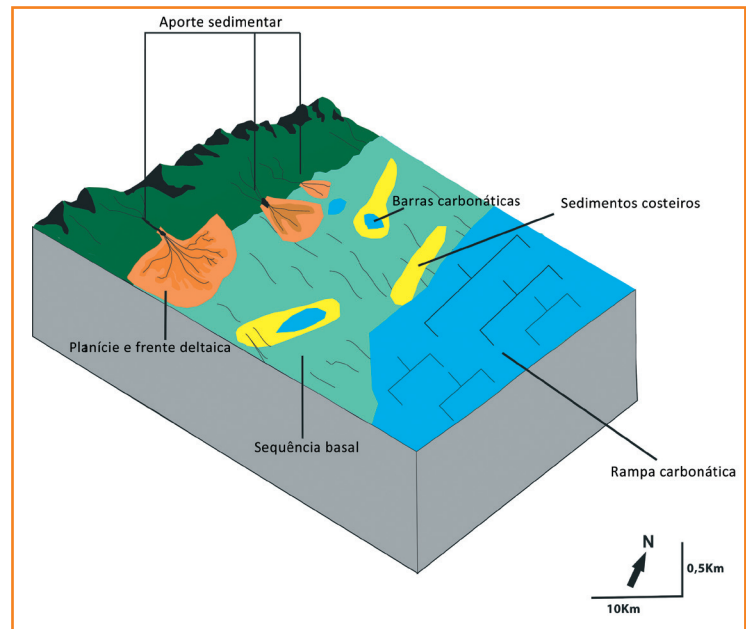


Figura 4 – Modelo geológico da Sequência Intermediária (equivalente à sequência 2 de Mendes, 1994 e a K64 de Campos Neto et al., 2007) construído a partir dos mapas de isólita e dados de poços (modificado de Falcone, 2006).

Figure 4 – Geological model of the Middle Sequence constructed from isolith maps and well data (reproduced from Falcone, 2006).

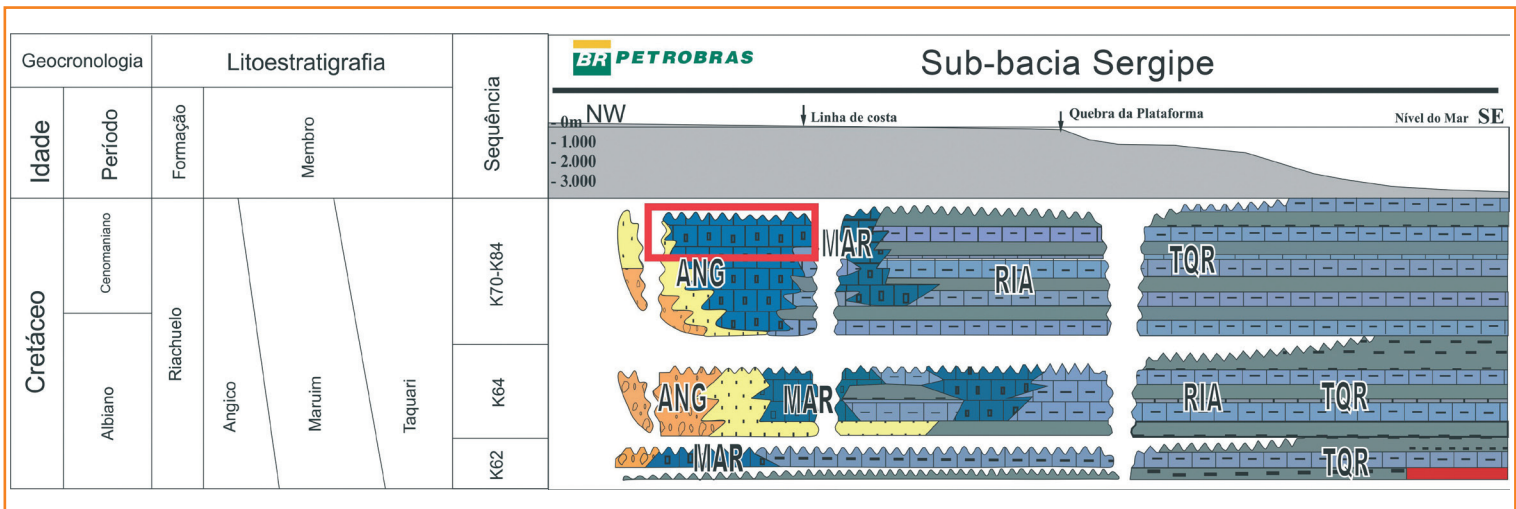


Figura 5 – Quadro estratigráfico com detalhe nos membros da Formação Riachuelo e identificação das três sequências deposicionais definidas por Mendes, 1994. Com indicação da posição estratigráfica do afloramento caracterizado, Pedreira Carapeba (retângulo vermelho). (modificado de Campos Neto et al., 2007).

Figure 5 – Stratigraphic chart with details in the Riachuelo Formation Members and identification of three depositional sequences defined by Mendes, 1994. Showing the stratigraphic position of the characterized outcrop Carapeba Quarry (red rectangle). (modified from Campos Neto et al., 2007).

reservatórios potencialmente correspondentes em subsuperfície

A construção de modelos de distribuição de porosidade encontra-se geralmente fundamentada em modelos geológicos definidos para cada tipologia e situação de reservatórios. Estes modelos geológicos devem considerar os fatores deposicionais e pós-deposicionais (diagenéticos e estruturais) que controlam as características petrofísicas das diferentes litologias do reservatório.

Em reservatórios carbonáticos (e até mesmo em reservatórios siliciclásticos), modelagens baseadas em características atribuídas à energia do ambiente deposicional, por exemplo, costumam considerar fácies depositadas em ambientes de alta energia como detentoras de propriedades permoporosas superiores àquelas depositadas em ambientes de baixa energia. Situações diagenéticas, tais como processos de dolomitização, podem inverter esta relação (Koehreret *et al.*, 2010).

A aplicação de Afloramentos Análogos na construção de modelos geológicos exploratórios e modelagem 3D de reservatório requer, portanto, o rigoroso reconhecimento do “Tipo de Análogo” a ser empregado, antes de ser aplicado.

O conceito de “Análogo Perfeito” resulta, assim, da definição do melhor análogo para cada tipologia de reservatório em subsuperfície, considerando não apenas as afinidades litológicas e deposicionais, ou mesmo as diagenéticas e estruturais, mas também a tipologia do depósito em termos de suas propriedades de geometria e arquitetura deposicional diante de diferentes tipologias de bacias sedimentares onde ocorrem.

O contexto bacinal exerce papel relevante na possibilidade de ampliação ou não do Modelo Análogo ao longo de toda a extensão dos depósitos estudados, tendo em consideração particularidades evolutivas de setores da área deposicional, onde fatores como tectonismo, soerguimentos e basculamentos vão ser responsáveis por inclinações diferenciadas dos substratos e diferenciação nas distribuições das litofácies, particularmente em sistemas carbonáticos e mistos de deposição (fig. 6).

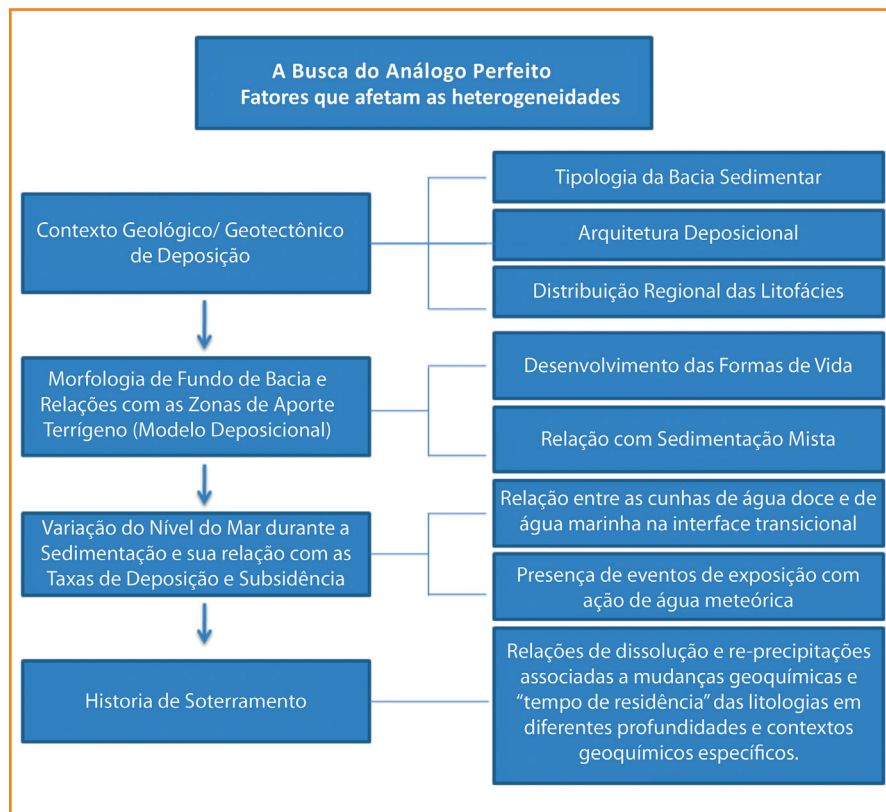


Figura 6 – Síntese dos aspectos relevantes para o estudo de caracterização multiescalar em reservatórios carbonáticos, levando em consideração os fatores que afetam a distribuição de suas heterogeneidades.

Figure 6 – Summary of aspects relevant to the study of multiscale characterization in carbonate reservoirs, considering the factors that affect their heterogeneity distribution.

localização geográfica e estratigrafia de afloramentos caracterizados

A área de estudo insere-se no contexto geológico da Bacia Sedimentar de Sergipe-Alagoas, com afloramentos e pedreiras representativas dos membros Angico, Maruim e Taquari da Formação Riachuelo e o Membro Sapucari da Formação Cotinguiba.

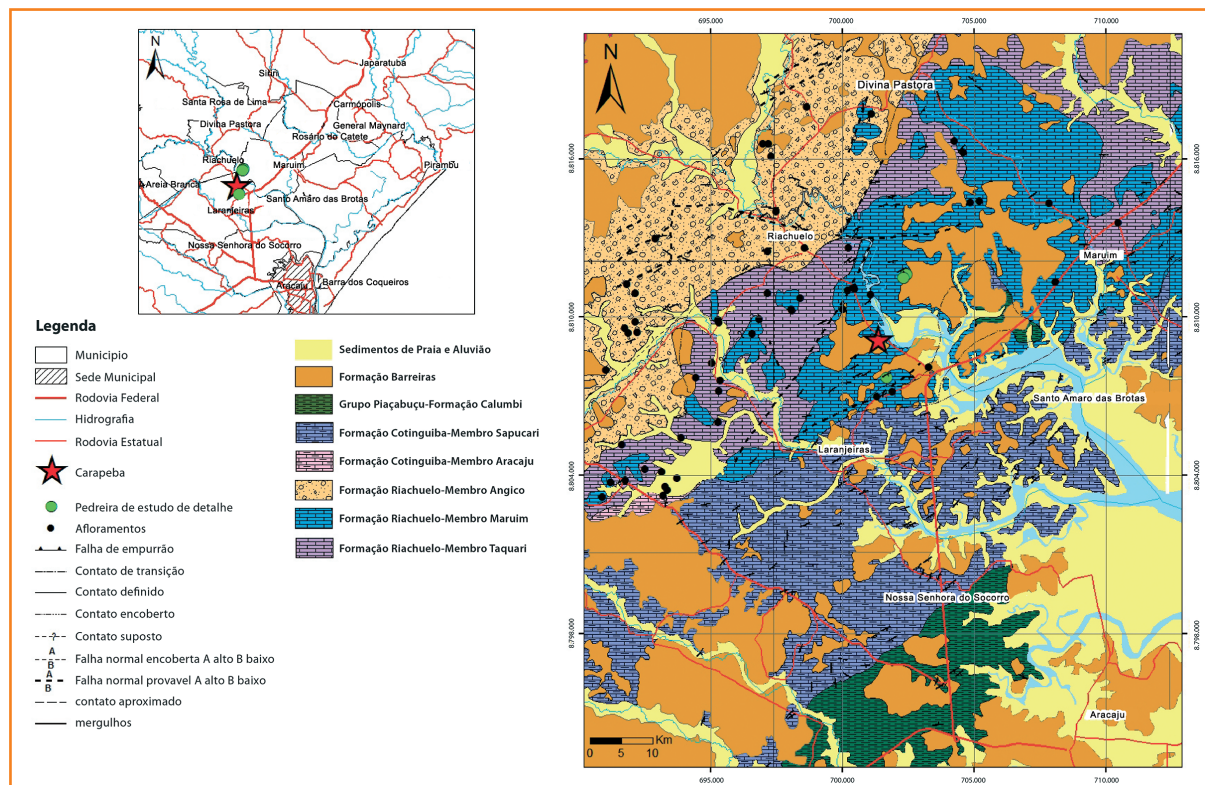
A Pedreira Carapeba, alvo principal de estudo em detalhe deste artigo, situa-se no município de Laranjeiras, nas proximidades do Povoado de Bom Jesus, a cerca de 20km de Aracaju, coordenadas UTM: X- 701365; Y- 8809149 (fig. 7), sendo estratigraficamente representada pelo Membro Maruim.

Figura 7

Mapa de localização da área de estudo com destaque para a Pedreira Carapeba e sua inserção no contexto geológico e na estratigrafia regional.

Figure 7

Location map of the study area highlighting the Carapeba quarry and its integration into the geologic context and the regional stratigraphy.



metodologia de caracterização multiescalar de reservatórios complexos: fundamentação teórica

A caracterização mais precisa possível da distribuição das propriedades físicas e químicas identificadas e mapeadas nos estudos multiescalares contribui para a construção de modelos geológicos consistentes e robustos, os quais, quando aplicados a simuladores de fluxo, permitem uma previsão mais segura das condições de pressão durante a perfuração e recuperação do petróleo ou gás a ser produzido.

As investigações nas diferentes escalas de observação referidas anteriormente fazem uso de dados de subsuperfície e superfície. Os dados de subsuperfície, diretos ou indiretos (testemunho de sondagem, perfis de poço e seções sísmicas), oferecem informações pontuais ou restritas sobre as heterogeneidades registradas nos intervalos litológicos investigados.

Os estudos de afloramento, entretanto, permitem melhor entendimento das relações espaciais e do comportamento das heterogeneidades (fig.8).

Enquanto a análise das heterogeneidades físicas definidas por arquitetura estratigráfica, geometria das litofácies e atributos texturais, contribui para o reconhecimento de “armadilhas” deposicionais, estas mesmas heterogeneidades repercutem na definição dos caminhos preferenciais de percolação de fluidos durante os processos diagenéticos, uma vez que guardam relações diretas com os aspectos texturais e composicionais para o caso particular de reservatórios carbonáticos, responsáveis pelas propriedades permoporosas iniciais.

Sendo o espaço poroso o foco de interesse nas investigações voltadas à avaliação de potencial reservatório, as análises em escala microscópica devem caracterizar os diferentes tipos de porosidade (fig. 9) presente nos intervalos litofaciológicos investigados, observando suas relações com as heterogeneidades nas demais escalas analisadas (mega, macro e mesoescalas).

A quantificação dos diferentes tipos de porosidade e a distribuição do espaço poroso nas diferentes litofácies (microfácies no caso de estudos petrográficos em microescala), considerando as escalas de heterogeneidades onde o sistema poroso está inserido, são requisitos fundamentais para a elaboração do modelo geométrico 3D do espaço permoporoso em reservatórios siliciclásticos e carbonáticos.

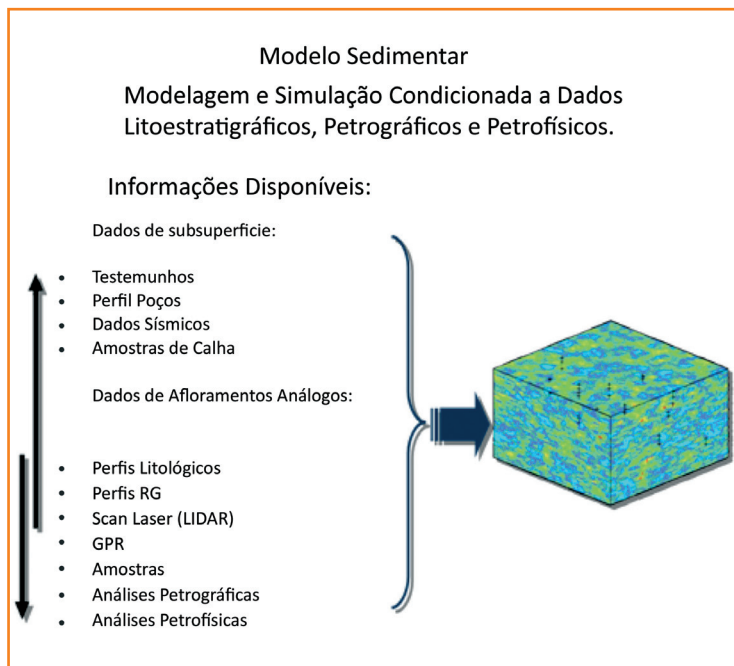


Figura 8 – Linhas gerais da metodologia de caracterização multiescalar, com indicação dos principais procedimentos utilizados no presente estudo.

Figure 8 – Outline of the Multiscale Characterization Methodology, indicating the main procedures used in this study.

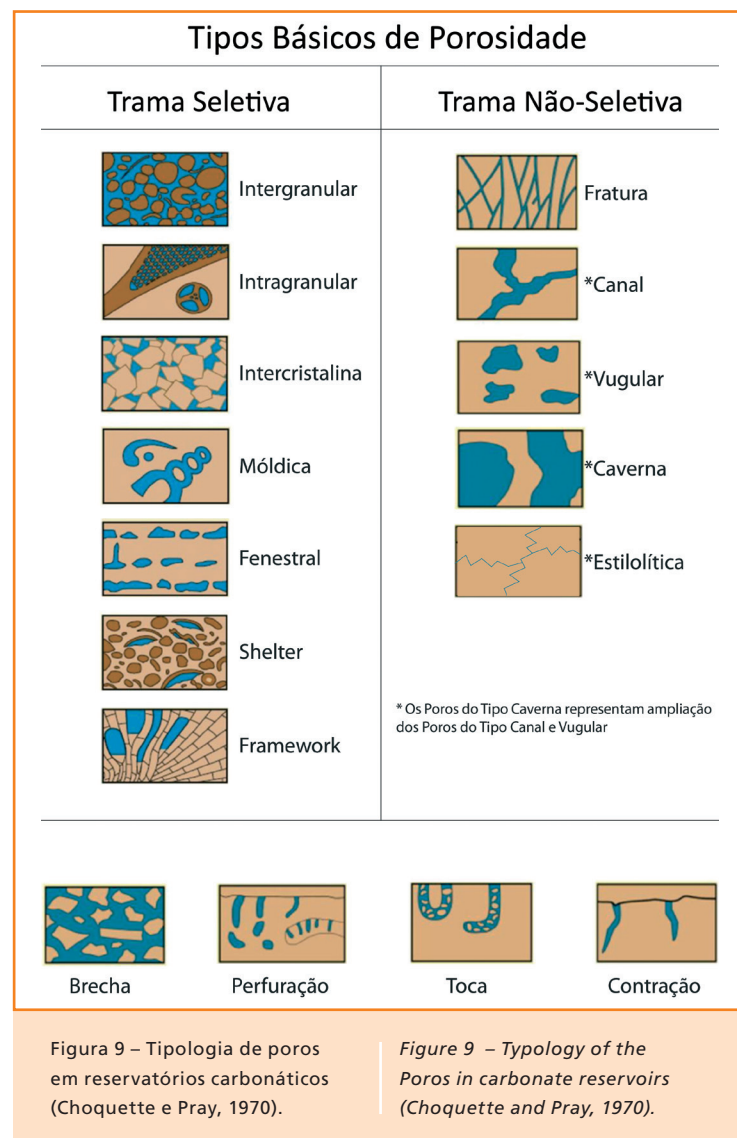


Figura 9 – Tipologia de poros em reservatórios carbonáticos (Choquette e Pray, 1970).

Figure 9 – Typology of the Poros in carbonate reservoirs (Choquette and Pray, 1970).

caracterização multiescalar aplicada ao estudo de afloramentos análogos na Pedreira Carapeba

A metodologia empregada no Projeto Camures-Carbonato em sua primeira etapa consistiu na divisão das atividades em três fases principais:

- 1) Fase inicial de laboratório, que compreendeu o levantamento sistemático de bibliografia, confecção de mapa geológico base e pesquisa de afloramentos publicados, acompanhada da construção de um banco de dados e informações;
- 2) Fase de campo, com foco regional, onde foram adquiridos dados de campo e confirmação da existência de afloramentos

compilados de bibliografia através de visita e documentação, além de campo com foco local, que incluiu a coleta de dados multiescalares no afloramento “Pedreira Carapeba”;

- 3) Fase final de laboratório/escritório, onde foram efetuados todos os tratamentos de dados coletados e compilados nas fases anteriores com a organização do Banco de Dados Multiescalar.

A figura 10 apresenta um organograma ilustrativo das principais ações desenvolvidas, ferramentas utilizadas e produtos resultantes dessas três fases.

A Pedreira Carapeba é constituída por dois níveis principais de exposição, um nível inferior, formado por afloramentos de pequenas dimensões, e um nível superior, constituído por um paredão frontal e um lateral de grandes dimensões (fig. 11).

Figura 10
Organograma de atividades de execução do Projeto Camures-Carbonato, Fase I.

Figure 10
Organogram of implementation activities related to the CAMURES – CARBONATO Project.

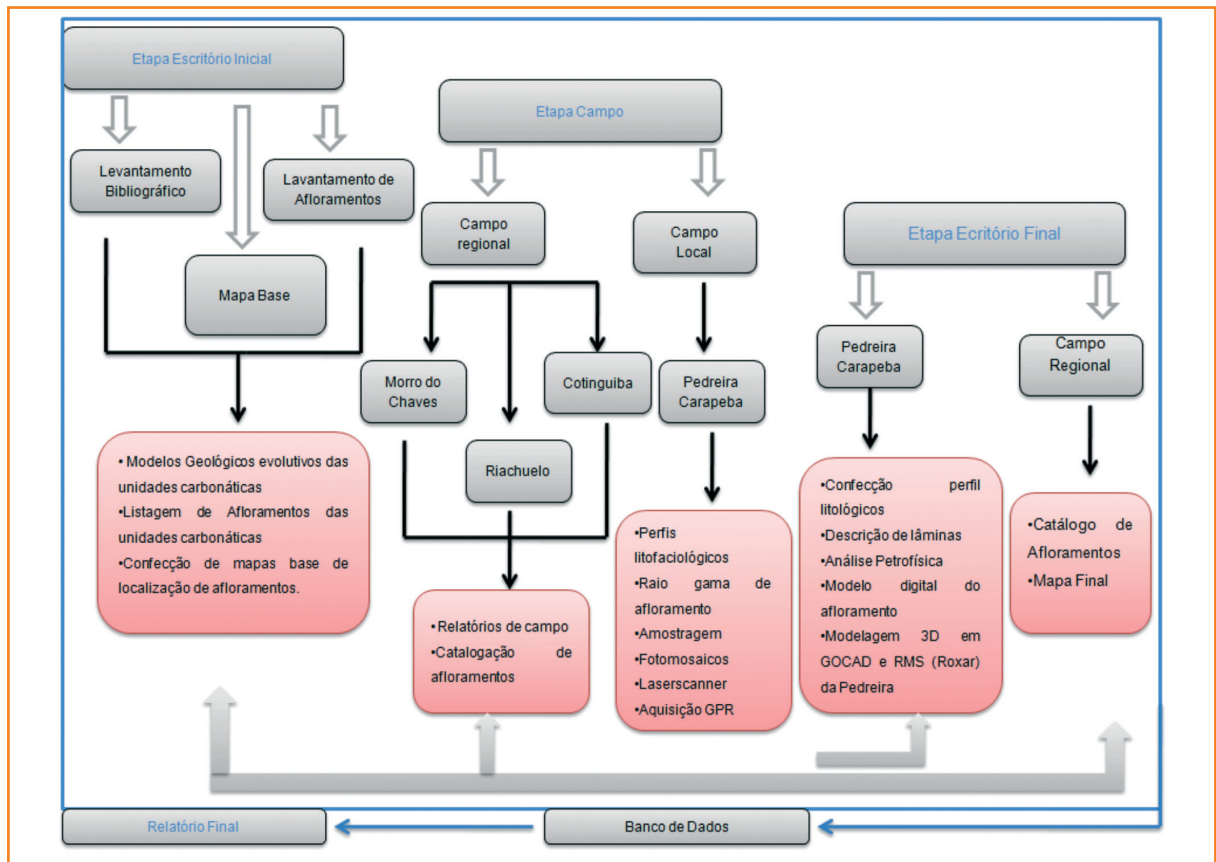
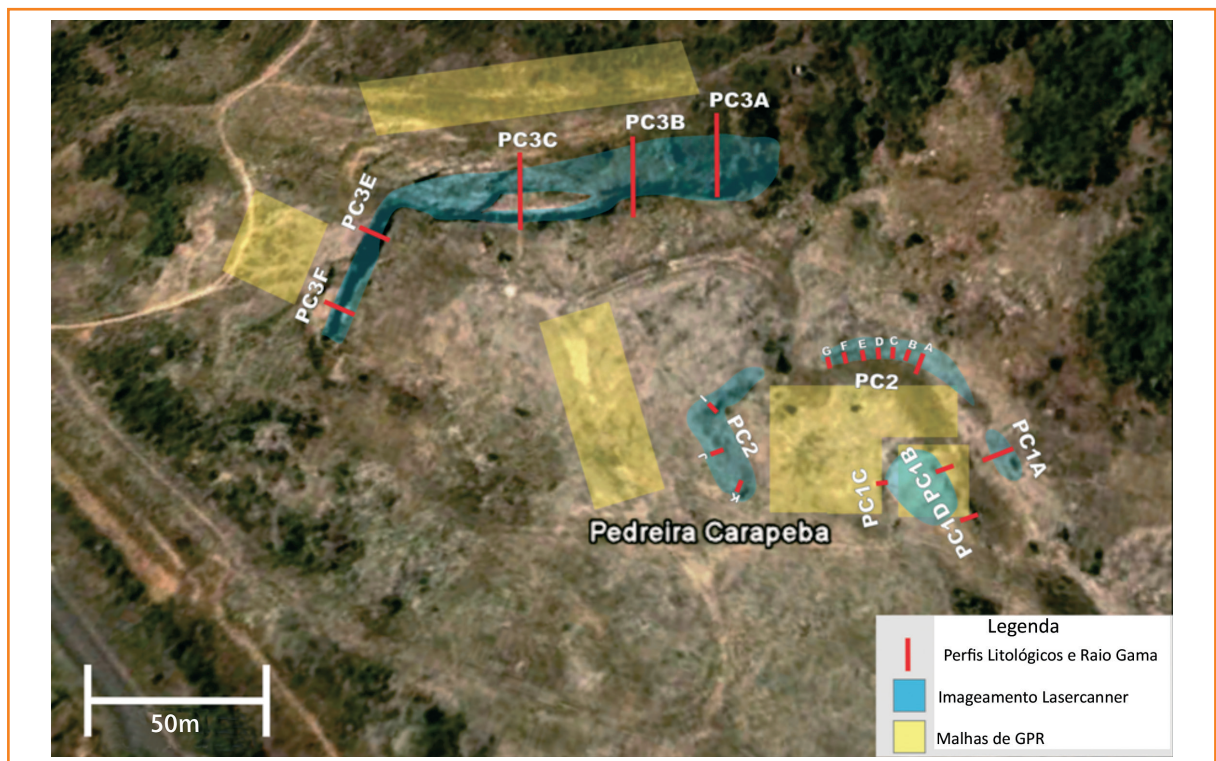


Figura 11
Distribuição dos vários tipos de dados adquiridos na Pedreira Carapeba. Imagem modificada de Google Earth, 2011.

Figure 11
Distribution of the several kinds of data acquired in Carapeba quarry. Image modified from Google Earth, 2011.



Os trabalhos desenvolvidos correspondem à aquisição de dados multiescalares com foco no estudo das heterogeneidades e variabilidades verticais e laterais, apresentadas pelas diferentes

litofácies caracterizadas, visando à construção do modelo geológico 3D, de modo a caracterizar espacialmente as heterogeneidades faciológicas identificadas em macro e mesoescalas.

O suporte principal deste levantamento de campo baseou-se na descrição e levantamento de perfis litofaciológicos verticais em conjunto com a aquisição de perfis de raios gama de afloramento, aquisição de dados de imageamento digital 3D de afloramento e coleta de amostras para análises petrográficas e petrofísicas em níveis de interesse, definidos a partir do grau de heterogeneidades verificadas nas escalas de campo.

Além destas abordagens, foram coletados dados de GPR (*ground penetration radar*), que serão inseridos no modelo 3D depois de concluídos seus processamentos. A figura 11 ilustra o contexto de “cobertura” dos dados coletados em campo neste afloramento-alvo.

A metodologia empregada na descrição dos perfis litofaciológicos baseia-se numa compilação de dois trabalhos (Garcia e Eastwood, 1981; Tucker, 2003) focados na metodologia de descrição de afloramentos e em trabalho de Koehreret *et al.* (2010), com aplicação direta em afloramentos de rochas carbonáticas. Para o estudo das microfácies em lâminas delgadas foi utilizado microscópio Leica DM 2500P, com equipamento fotográfico acoplado. O principal objetivo foi reconhecer diferentes tipos de constituintes carbonáticos, textura, conteúdo fossilífero, cimentos e aspectos diagenéticos associados, além de caracterizar a tipologia de poros e suas relações com as litofácies caracterizadas. Análises petrofísicas estão sendo realizadas sobre as mesmas amostras laminadas.

Os perfis de raios gama de afloramento foram adquiridos conjuntamente com os perfis litológicos. O aparelho utilizado foi o cintilômetro

GR-110G/E. As medidas foram tomadas a cada 20 centímetros, ou em intervalos menores na presença de finas camadas, com tempo de integração de 10 segundos, ou seja, o valor de radiação gama obtido refere-se a uma média de 10 leituras por segundo. O processamento e plotagem dos dados foram realizados através de planilha Excel e posteriormente associados aos perfis litológicos.

resultados dos estudos realizados

perfis litofaciológicos 1D

Foram descritos em detalhe e amostrados 19 perfis no afloramento Pedreira Carapeba. Cada perfil dispõe do conjunto de dados e informações constantes na tabela 1.

Os perfis mais completos e representativos foram utilizados para análise detalhada de parasequências e, a partir dos mesmos, foi elaborado o perfil composto ilustrativo de toda a sucessão deposicional registrada na Pedreira (fig. 12).

A análise estratigráfica da Pedreira Carapeba permitiu, através do estudo integrado das litofácies e microfácies, estabelecer padrões de espessamento/afinamento de camadas e, com as observações das geometrias dos estratos, definir sete ciclos transgressivos-regressivos de quinta ordem.

Frente de lavra	Perfil	Espessura	Nº de amostras	Nº de lâminas	RG
Níveis Inferiores	PC1A	3,10m	5	9	Sim
	PC1B	2,22m	11	2	Sim
	PC1C	1,87m	11	3	Sim
	PC1D	1,10m	7	–	Sim
	PC2A	3,52m	14	11	Sim
	PC2B	1,50m	6	1	Sim
	PC2C	1,06m	4	2	Sim
	PC2D	0,73m	4	–	Sim
	PC2E	1,00m	–	–	Sim
	PC2F	1,26m	4	1	Sim
	PC2G	0,85m	2	1	Sim
	PC2I	0,80m	4	–	Sim
	PC2J	3,35m	9	10	Sim
PC2K	1,75m	5	–	Sim	
Níveis Superiores (Paredão Principal)	PC3A	11,96m	24	20	Sim
	PC3B	12,34m	20	13	Sim
	PC3C	17,44m	39	34	Sim
	PC3E	9,24m	21	10	Sim
	PC3F	7,8m	12	8	Sim

Tabela 1

Perfis de detalhe descritos com dados de espessuras, amostras, lâminas e perfis RG realizados.

Table 1

Profiles described in detail: thickness data, samples, plates and RG profiles performed.

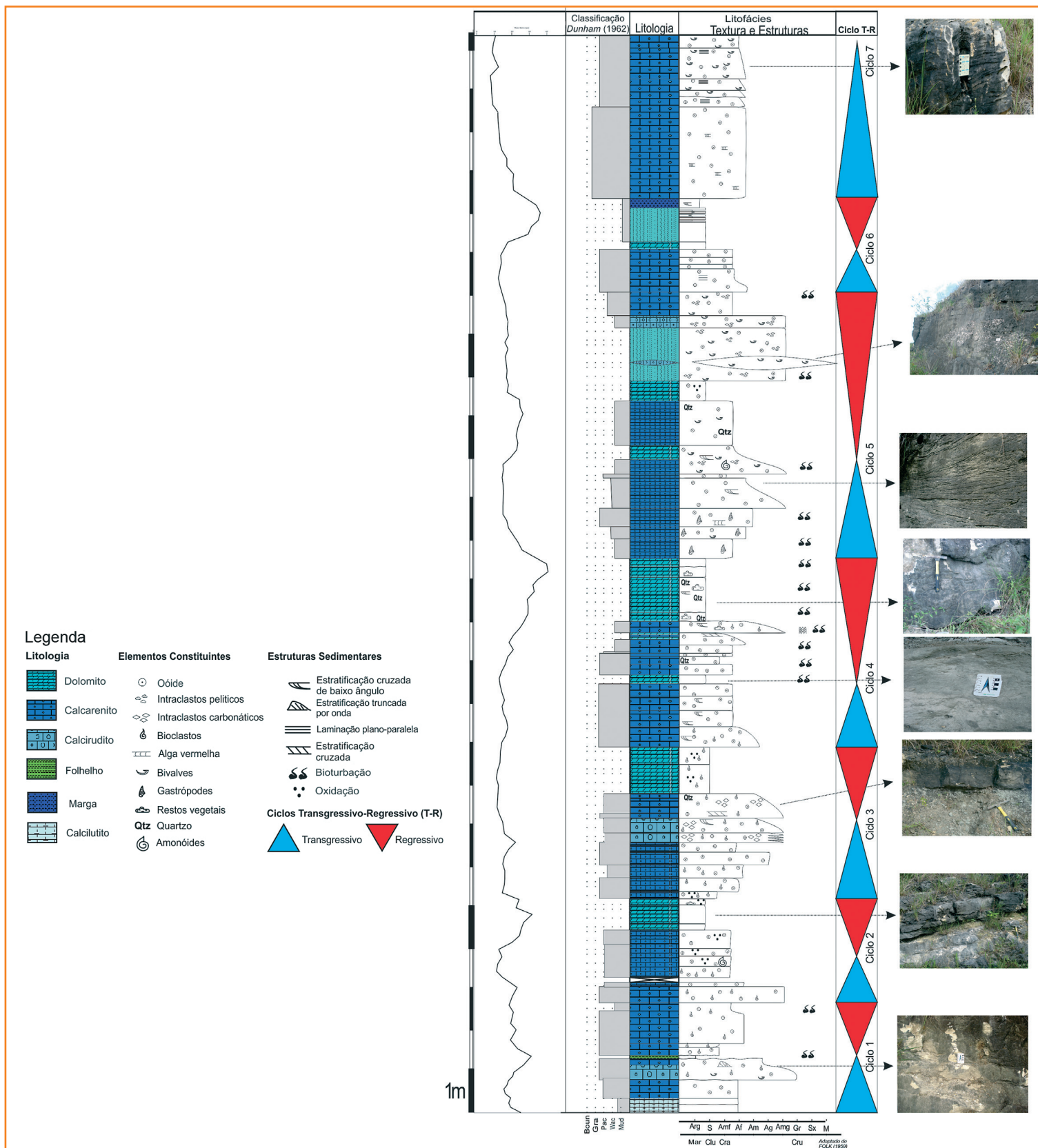


Figura 12 – Perfil composto representativo das litofácies carbonáticas e híbridas, registradas no Membro Maruim na Pedreira Carapeba com indicação dos ciclos de raseamento, associados ao processo de dolomitização.

Figure 12 – Composite profile representing carbonaceous and hybrid lithofacies, registered in the Carapeba Quarry of Maruim Member, indicating shallowing cycles, associated with the dolomitization process.

Os ciclos transgressivos são caracterizados pela presença de fácies de características mais marinhas (em ambiente de rampa intermediária a externa), com predomínio de litofácies do tipo *grain-packstone*, com forte componente oolítica/peloidal e bioclástica (diversificada), que significariam a implantação e posterior progradação de depósitos de barras arenosas (*shoalsands*) sobre depósitos de laguna.

Os ciclos regressivos são caracterizados pela predominância de fácies mais restritas, com predomínio de litofácies do tipo *wackestone* a *mudstone*, peloidais, com grãos terrígenos, pouca diversidade faunística e forte dolomitização. A presença de grãos terrígenos, frequentemente associados a maiores intensidades de dolomitização, permite a interpretação de que estes depósitos estão associados à progradação de corpos de leques deltaicos distais das fácies do Membro Angico sobre depósitos carbonáticos, oportunidade em que ocorredolomitização de algumas litofácies através do modelo Dorag de mistura de águas.

perfis de raios gama

Os perfis de raios gama para a coluna litológica estudada na pedreira apresentam baixos valores de radioatividade com alguns picos de magnitude razoável, fato comum em rochas carbonáticas, já que estas não possuem comumente elementos radioativos na sua composição química.

Os picos de maior amplitude, com valores de radiação gama mais elevados, estão associados às principais camadas dolomitizadas da coluna e correlacionáveis lateralmente, bem como na base de uma fina camada de folhelho. Informações provenientes de lâminas delgadas de amostras coletadas no paredão principal podem justificar o acréscimo de radioatividade nessas litologias, pela presença de grãos terrígenos de composição potássica (feldspatos potássicos), os quais aparecem em volume significativo nesses níveis dolomitizados. Além disso, acréscimos nos teores de matéria orgânica podem justificar esse comportamento, havendo necessidade de outros estudos para comprovar essa possibilidade.

seções 2D de afloramentos contínuos

Através da análise dos perfis litológicos integrados aos dados de raios gama e das interpretações litofaciológicas (fig. 13), foi possível determinar quatro conjuntos de litofácies principais, definidas como: 1 – Dolomito; 3 – *Grainstone*; 2a – *Packstone* e 2b – *Wackestone*, parcialmente dolomitizado; 4 – Rocha Híbrida. Informações mais detalhadas sobre a caracterização de cada litofáciessão apresentadas no item seguinte. A correlação das litofácies presentes na parte superior da Pedreira Carapeba e a integração das mesmas com a análise dos ciclos transgressivos-regressivos podem ser vistas na figura 14.

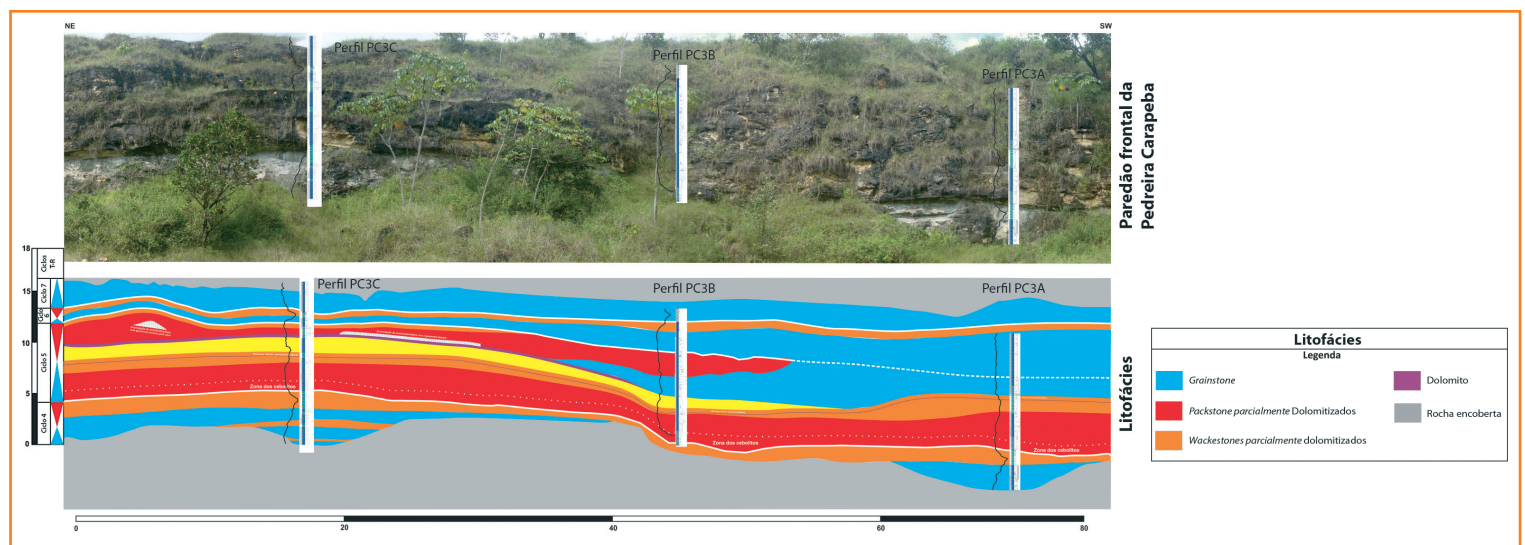
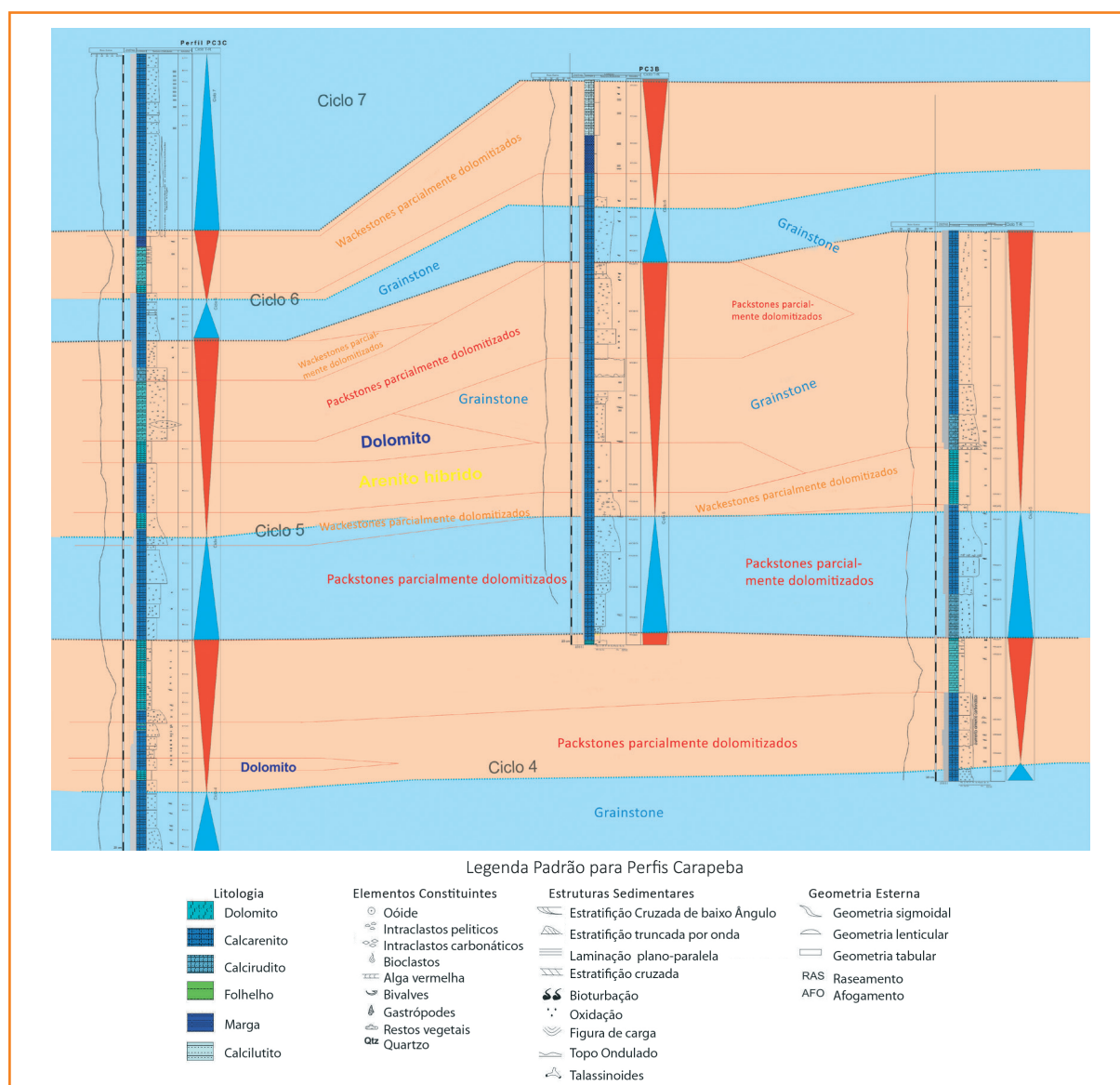


Figura 13 – Interpretação litofaciológica do paredão frontal da Pedreira Carapeba baseada na definição prévia das litofácies presentes obtidas através da associação dos dados de lâminas, descrição dos perfis litológicos e dos perfis de raios gama. Ao lado do fotomosaico, podemos notar a divisão das camadas por ciclos de raseamento, onde são marcados pelas superfícies de dolomitização.

Figure 13 – Litho-faciological interpretation of the Carapeba quarry front based on previous definition of lithofacies obtained by thin sections datas associations, description of lithologic and ray range profiles. Beside the photomosaic we can note the division of layers per shallow-upward cycles where surfaces are marked by dolomitization.

Figura 14
Seção de correlação estratigráfica e de correlação de litofácies dos perfis da frente frontal da Pedreira Carapeba.

Figure 14
Section of stratigraphic correlation and stratigraphic correlation of lithofacies profiles of the frontal front Carapeba Quarry.



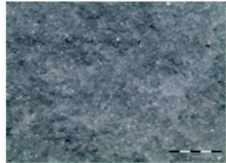
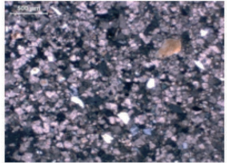
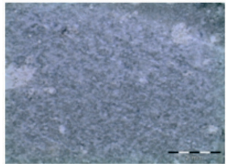
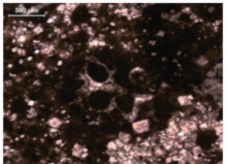
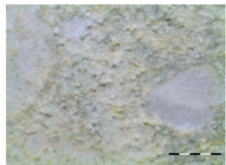
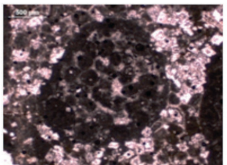
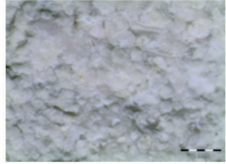
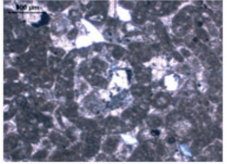
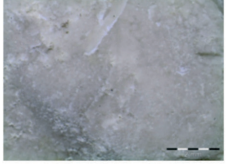
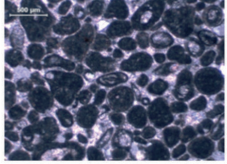
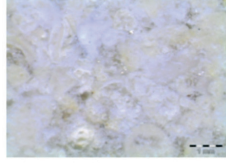
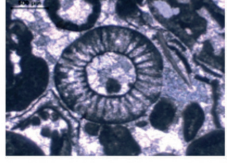
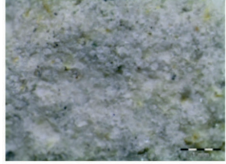
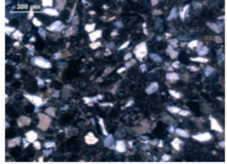
análises em microescala de litofácies (petrografia e petrofísica)

A caracterização petrográfica foi realizada, até o momento, a partir da descrição de 76 lâminas delgadas, pertencentes aos perfis representativos das principais litofácies caracterizadas na pedreira. Estudos petrográficos complementares estão em curso, incluindo a caracterização e quantificação dos diferentes sistemas porosos reconhecidos nas litofácies e suas relações com dados petrofísicos, de porosidade e permeabilidade, sendo estes últimos realizados nas mesmas amostras laminadas. Estes dados estão sendo trabalhados para preencher os intervalos “volumétricos” definidos no modelo 3D já construído com

os atributos extraídos dos estudos em macro- e mesoescalas.

Nas lâminas delgadas analisadas, foram identificados os principais grãos constituintes carbonáticos presentes no Membro Maruim na Pedreira Carapeba (fig.15). Nessas, além dos constituintes carbonáticos apresentados no quadro 1, são identificados ainda:

- I. Foraminíferos Bentônicos: Miliólídeos e Aglutinantes seriados;
- II. Algas Vermelhas: Coralináceas e Solenoporáceas (*Marinella*, *Pycnoporideo* e *Helianella*);
- III. Microbial (*Girvanella*);
- IV. Algas Verdes: Codiáceas e Dasi cladáceas (*Terquemela*);
- V. Ammonoides;
- VI. Grãos siliciclásticos, predominantemente quartzos e feldspatos.

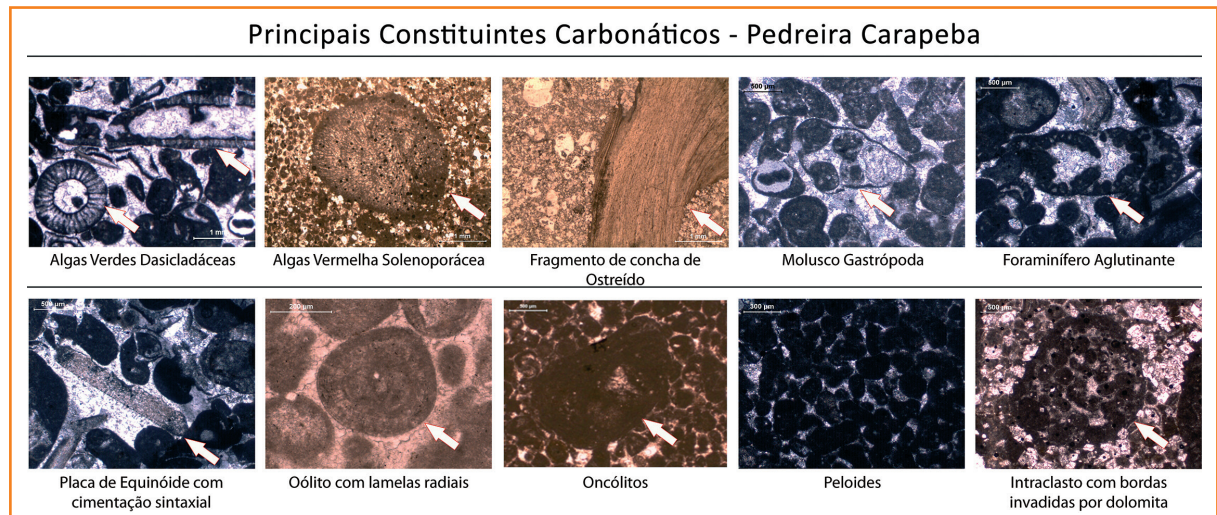
Litofácies e Sublitofácies - Pedreira Carapeba							
Litofácies	Sublitofácies	Fotos		Litologia Textura Cor (Macroescala)	Aspectos Texturais de Grãos e Cristais	Principais Componentes	Interpretação do Ambiente
Dolomito	SLTF 1A: Dolomito			Dolomitos de cor cinza, ocasionalmente apresentam tons amarelados, com aspecto sacaroidal	Cristais planares subédricos de dolomita de cristalinidade muito fina a fina, grãos siliciclásticos de granulometria variando de fina a muito grossa	Cristais de dolomita, grãos siliciclásticos de quartzo e feldspato	Laguna, ambiente de baixa energia na rampa interna ou na retaguarda de bancos rasos. Aporte de sedimentos siliciclásticos nas porções mais rasas e continentais da laguna
Wackstone e Packstone parcialmente dolomitizados	SLTF 1B: Wack-packstone parcialmente dolomitizado			Wack-packstone parcialmente dolomitizado cinza claro, ocasionalmente apresentam tons amarelados e beges, com aspecto sacaróide	Cristais planares subédricos e euédricos de dolomita de cristalinidade fina e média e grãos terrígenos de granulometria média	Moldes de gastrópodes, algas vermelhas solenoporáceas, grumos/massas micríticas isoladas, terrígenos e localmente foraminíferos miliolídeos e bivalves	Laguna, ambiente de baixa energia na rampa interna ou na retaguarda de bancos rasos
	SLTF 1C: Pack-grainstone peloidal-bioclástico parcialmente dolomitizado			Pack-grainstone de cor creme esbranquiçado com tons amarelados, com aspecto sacaróide incipiente	Granulometria na fração rudácea a média, moderada a mal selecionada	Principalmente gastrópodos (bioacumulações), e em menor proporção algas solenoporáceas, foraminíferos miliolídeos e aglutinantes, intraclastos, e terrígenos	Laguna, ambiente de baixa energia na rampa interna ou na retaguarda de bancos rasos
Grainstone com cimento de calcita espática e microespática	SLTF 2A: Grain-packstone bioclástico-peloidal			Pack-grainstone de cor creme esbranquiçado	Granulometria média a grossa, moderadamente a mal selecionado	Algas vermelhas solenoporáceas e verdes dasicladáceas, foraminíferos aglutinantes, uniseriados, biseriados, equinóides e alguns moluscos (gastrópodes e bivalves), pelóides, oólitos e siliciclásticos	Bancos rasos, ambiente de moderada a alta energia
	SLTF 2B: Grainstone oolítico-peloidal-bioclástico			Grainstone de cor creme esbranquiçado	Granulometria média a fina moderadamente a bem selecionado	Oólitos, pelóides, algas verdes dasicladáceas, algas vermelhas solenoporáceas, foraminíferos miliolídeos e alguns bivalves, intraclastos e grãos siliciclásticos	Bancos rasos, ambiente de moderada a alta energia
	SLTF 2C: Grainstone bioclástico-intraclástico			Grainstone de cor creme esbranquiçado	Granulometria na fração rudito a média, mal selecionado	Algas verdes dasicladáceas, vermelhas solenoporáceas e coralináceas, moluscos (gastrópodes e bivalves), abundantes foraminíferos aglutinantes, espinhos e placas de equinóides, intraclastos e pelóides	Bancos rasos, ambiente de moderada a alta energia
Rocha Híbrida	SLTF 3A: Rocha Híbrida			Rocha Híbrida, de cor bege	Granulometria fina e bem selecionados	Grãos terrígenos (quartzo, feldspato e mica muscovita), pelóides e micrita	Leques deltaicos distais em ambiente lagunar

Quadro 1 – Resumo das litofácies da Pedreira Carapeba.

Chart 1 – Chart with lithofacies summary of the Carapeba Quarry.

Figura 15
Principais constituintes carbonáticos encontrados na Pedreira Carapeba.

Figure 15
Illustrates the major components found in carbonate Carapeba quarry.



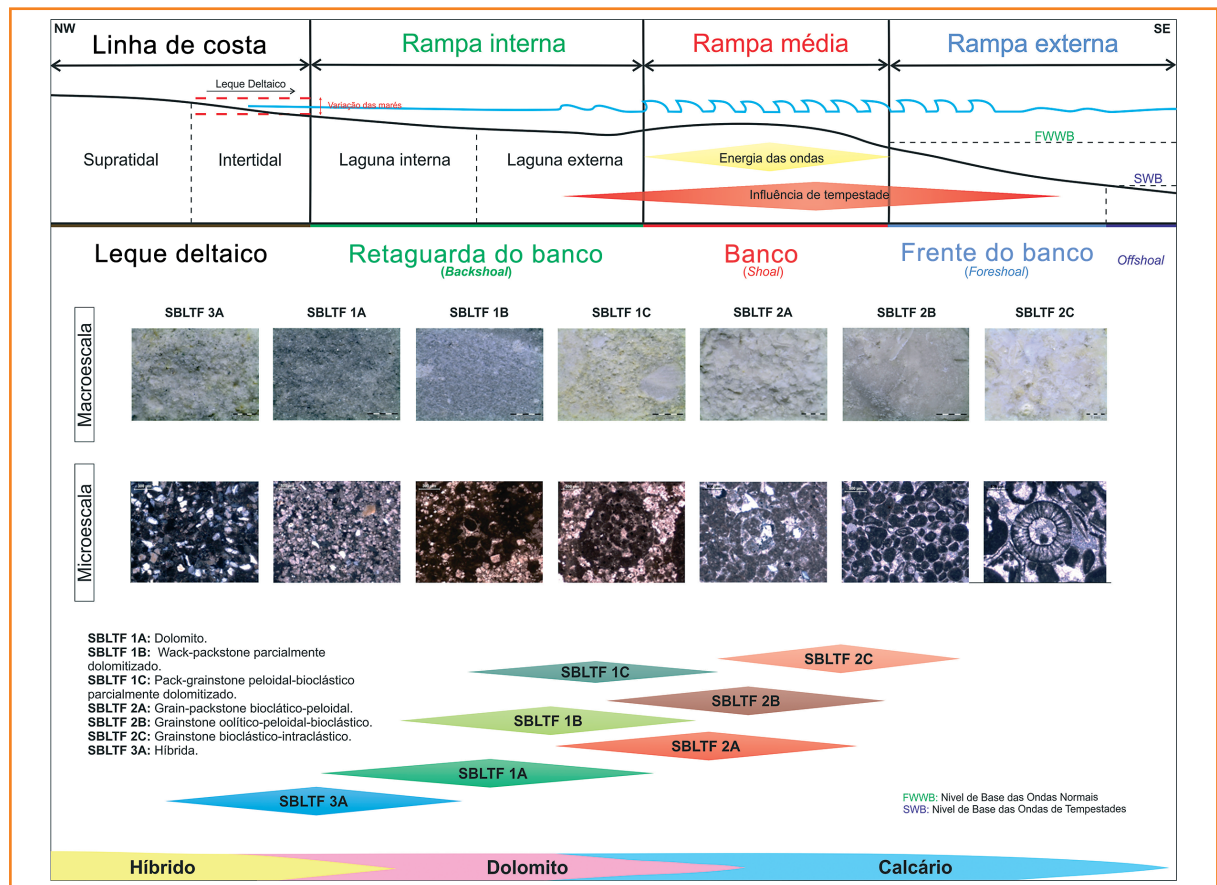
A partir da associação dos principais constituintes da rocha, utilizando-se de análise microscópica e macroscópica, foram distintas sete sublitofácies (SLTFs). Estas foram agrupadas em quatro conjuntos de litofácies (LTFs).

A primeira corresponde aos dolomitos (1A); a segunda é composta por *wackstones* (1B) e *packstones* parcialmente dolomitizados (1C); a terceira por *grainstones* (2A, 2B e 2C) com cimento

de calcita espática e microespática; e a quarta por rochas híbridas (3A). Estas litofácies estão compostas por sete sublitofácies (quadro 1). Estudos anteriores na Formação Riachuelo envolvendo a Pedreira Carapeba (Mendes, 1994; Turbay, 2002; Falcone, 2006; Rocha, 2011) permitem considerar que a deposição das mesmas se processou em um modelo de rampa carbonática, com leve gradiente deposicional (Burchette e Wright, 1992) (fig. 16).

Figura 16
Sublitofácies registradas na Pedreira Carapeba, distribuídas em rampa carbonática. As sete sublitofácies definidas neste estudo são relacionadas a um específico ambiente deposicional, ao longo de uma rampa carbonática ideal. (modificada de Palermo et al., 2010).

Figure 16
Types of Sublitofácies registered in quarry Carapeba distributed in a carbonate ramp. The 7 sublitofácies defined in this study are related to a specific depositional environment, along an ideal carbonate ramp. (Modified from Palermo et al., 2010)



Cada uma das sublito fácies caracterizadas pode ser posicionada no contexto de três principais subambientes identificados no modelo de rampa (fig. 16):

- a) Laguna (sublito fácies 1A, 1B e 1C), de baixa energia na rampa interna ou na retaguarda de bancos rasos;
- b) Bancos rasos/barras arenosas—*shoalsand* (sublito fácies 2A, 2B e 2C), de moderada a alta energia;
- c) Leques deltaicos distais em ambiente lagunar (sublito fácies 3A).

análises de porosidade e permeabilidade

As análises de porosidade consistiram na identificação de tipos de poros presentes nas lâminas

delgadas representativas das lito fácies caracterizadas na Pedreira Carapeba com base na classificação de Choquette e Pray (1970). Os principais tipos de porosidade encontrados correspondem a:

- a) porosidade móldica, associada à dissolução de cristais de dolomita e peloides;
- b) porosidade intragranular, presente essencialmente em fácies do tipo *grainstone*;
- c) porosidade vugular, em fácies indiferenciadas;
- d) porosidade intercrystalina, nas lito fácies dolomitizadas;
- e) porosidade intergranular na fácies híbrida e por vezes em *packstones* peloidais;
- f) porosidade em fraturas, geralmente associadas a fácies *pack-grainstone* (fig. 17).

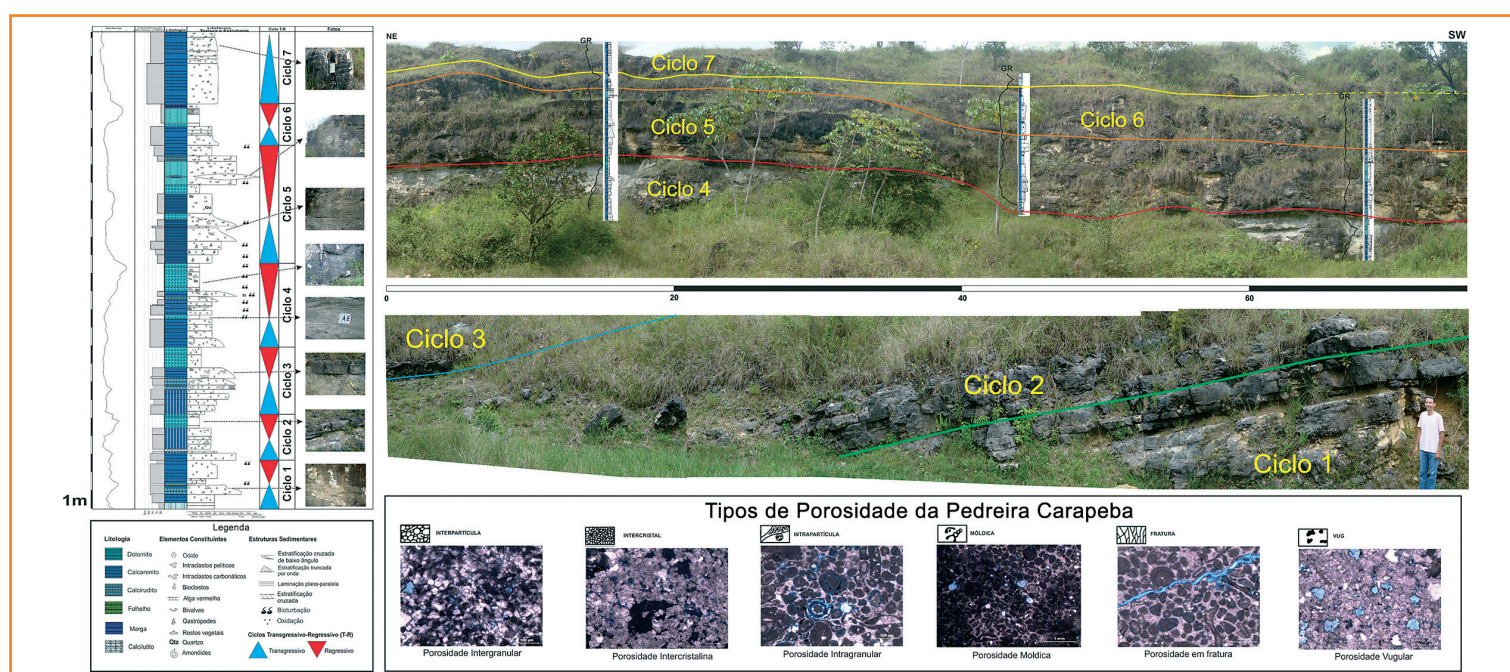


Figura 17 – Fotodocumentação dos tipos de poros presentes nas lito fácies caracterizadas na Pedreira Carapeba (conforme classificação de Choquette e Pray, 1970). Cada tipo de poro, como descrito no texto acima, está associado às lito fácies. Estas podem ser visualizadas no perfil composto ao lado esquerdo, e sua extensão lateral pode ser vista em todo o paredão frontal no centro deste fotomosaic.

Figure 17 - Photo-documentation of the kinds of pores present in characterized lithofacies in the Carapeba Quarry (according to the classification by Choquette e Pray, 1970). Each kind of pores as described above is associated to the lithologies; this can be visualized in the composite log on the left side, and its lateral extension can be viewed across the frontal wall in the center of this photomosaic.

Os estudos em microescala terão continuidade com a identificação das relações do sistema permoporoso com a macro- e microporosidade, empregando detalhamento a ser desenvolvido com uso de analisador de imagens instalado nos microscópios utilizados e a confrontação com resultados de análises de permeabilidade das amostras correspondentes às lâminas estudadas e que se encontram em processo de realização, através de convênio com

o Laboratório de Petrofísica do Departamento de Mineração e Geologia da Universidade Federal de Campina Grande, vinculado à Rede Carmod.

súmula dos processos diagenéticos

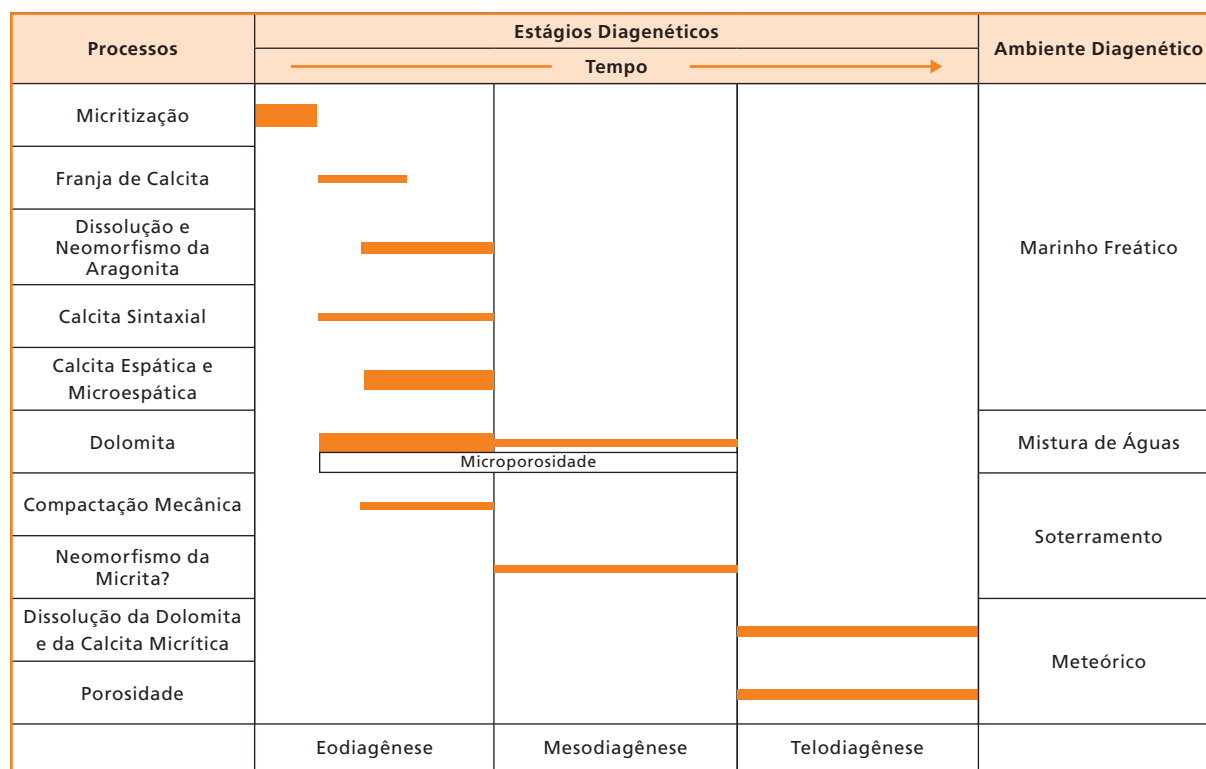
A sequência de eventos diagenéticos interpretada com base nas observações macro- e microscópicas até agora realizadas está sumarizada na figura 18.

Figura 18

Sequência de eventos diagenéticos registrados. Os comprimentos das barras refletem o tempo relativo em que os processos ocorrem, e a espessura reflete a sua importância nas amostras analisadas (modificado de Rocha, 2011).

Figure 18

Sequence of recorded diagenetic events. The lengths of the bars reflect the relative time in which processes occur and the thickness reflects their importance in the samples (modified of Rocha, 2011).



A dolomitização é o processo diagenético mais relevante no contexto analisado na pedra-rosa. Como regra geral, o tamanho do cristal em dolomitos é uma função do número de sítios de nucleação e das taxas de crescimento. Partindo desse princípio, acredita-se que as dolomitas de cristalinidade mais fina, ocorram em substituição de carbonatos precursores mais finos, como *mudstones* e a matriz de *wackestones*, com algum conteúdo peloidal e bioclástico.

Para os calcarenitos parcialmente dolomitizados, associou-se à bioturbação, e consequentemente à diferença de permeabilidade causada pela estrutura biogênica, a heterogeneidade no processo de dolomitização. A presença de bioturbação promoveu a circulação preferencial de fluidos dolomitizantes, levando à completa dolomitização dessas porções da rocha, enquanto nas zonas não bioturbadas, a dolomita se restringe a alguns cristais planares e uédricos dispersos. Nessas últimas, a dolomitização é seletiva, possivelmente associada à composição dos grãos dolomitizados, podendo implicar que a mineralogia dos envelopes micríticos ou dos grãos já foi de calcita com alto teor de magnésio, conforme abordam Buchbinder e Friedman (1970).

O modelo diagenético de dolomitização considerado como operante nos intervalos

descritos considera a atuação de fluidos meteóricos infiltrados através das franjas de fluidos meteóricos que invadem a zona de sedimentação carbonática nas lagunas e das barras carbonáticas, misturando-se com a franja de fluidos marinhos, levando a condições favoráveis à dolomitização (Modelo de Mistura de Águas – Dorag) (fig. 19). O modelo de misturas de águas para a dolomitização é facilmente sustentado pelas evidências de regressão marinha durante a deposição do Membro Maruim, apontadas por Mendes (1994), associadas a ciclos de Milankovitch. Dados apresentados por Diaz *et al.* (2009) demonstram que a assinatura de isótopos de oxigênio indica a influência de água meteórica no fluido dolomitizante e que a assinatura isotópica de carbono diagnóstica que o cimento, precursor da matriz dolomitizada, foi depositado em ambiente marinho. Apesar disso, admite-se que haja progressão da dolomitização durante a mesodiagênese, pois há desenvolvimento de romboedros de dolomita sobre outros cristais de dolomita menores.

Processos de dissolução tanto da calcita micrítica, quanto da dolomita ocorrem associados à percolação de fluidos meteóricos, infiltrados nos depósitos pela exposição dos mesmos (telodiagênese). Em consequência desse processo, há geração de porosidade secundária.

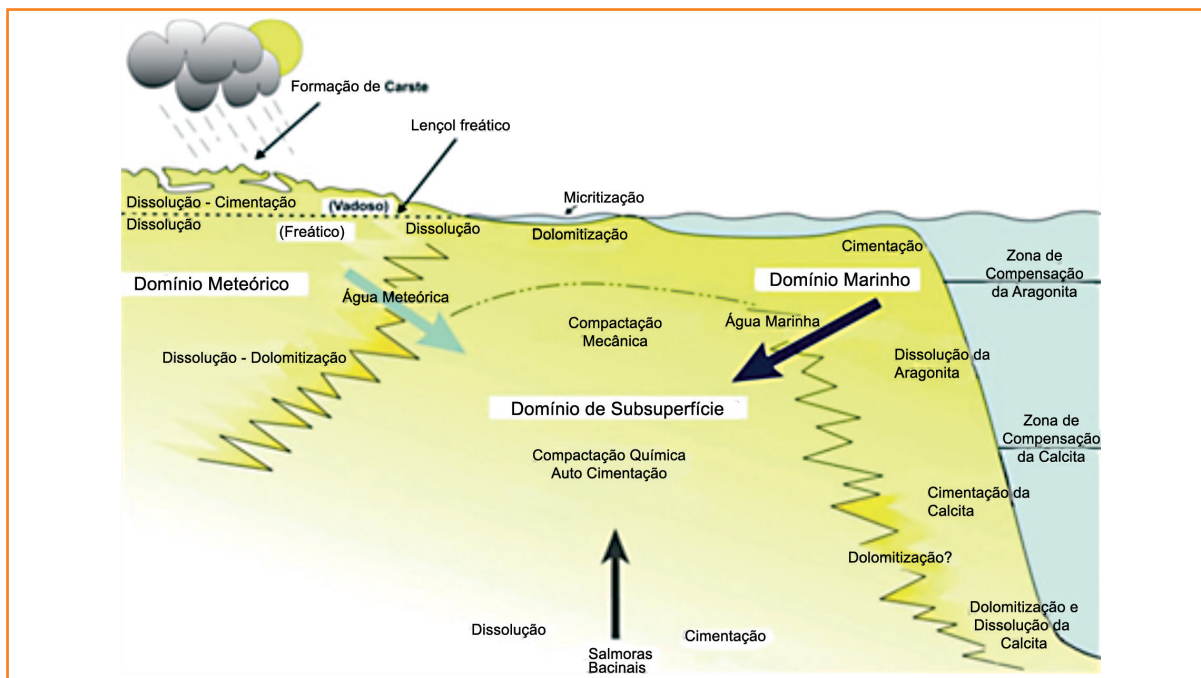


Figura 19 Contexto deposicional e eodiagenético em análise como possível responsável pelos intervalos dolomitizados encontrados no Membro Maruim, na Pedreira Carapeba (compilado de Rocha, 2011).

Figure 19 Depositional and eodiagenetic context in analysis as possibly responsible for the dolomitized intervals found in Member Maruim, Quarry Carapeba (Compiled by Rocha, 2011).

imageamento de afloramento com laser scanner (Lidar)

O *laser scanner* utiliza a tecnologia Lidar (*Light Detection Ranging*) para realizar medições de alta precisão, que se assemelham a escaneamentos, de superfícies e objetos em três dimensões e permite, por meio do uso de *softwares* específicos, a visualização e modelagem de seus dados.

A metodologia empregada para a realização deste trabalho foi compartimentada, basicamente,

em duas etapas:

- i) Coleta;
- ii) Tratamento e Integração de dados.

Os dados adquiridos com a ferramenta *Laser scanner* no afloramento compõem-se de duas nuvens de pontos adquiridas em duas “estações”. a primeira, denominada E1, é a principal, pois o imageamento englobou grande parte da pedreira, porém com foco principal em toda a sua parte frontal; a segunda estação (E2) focou essencialmente a região noroeste da pedreira, precisamente na parte basal da seção estratigráfica (fig. 20).

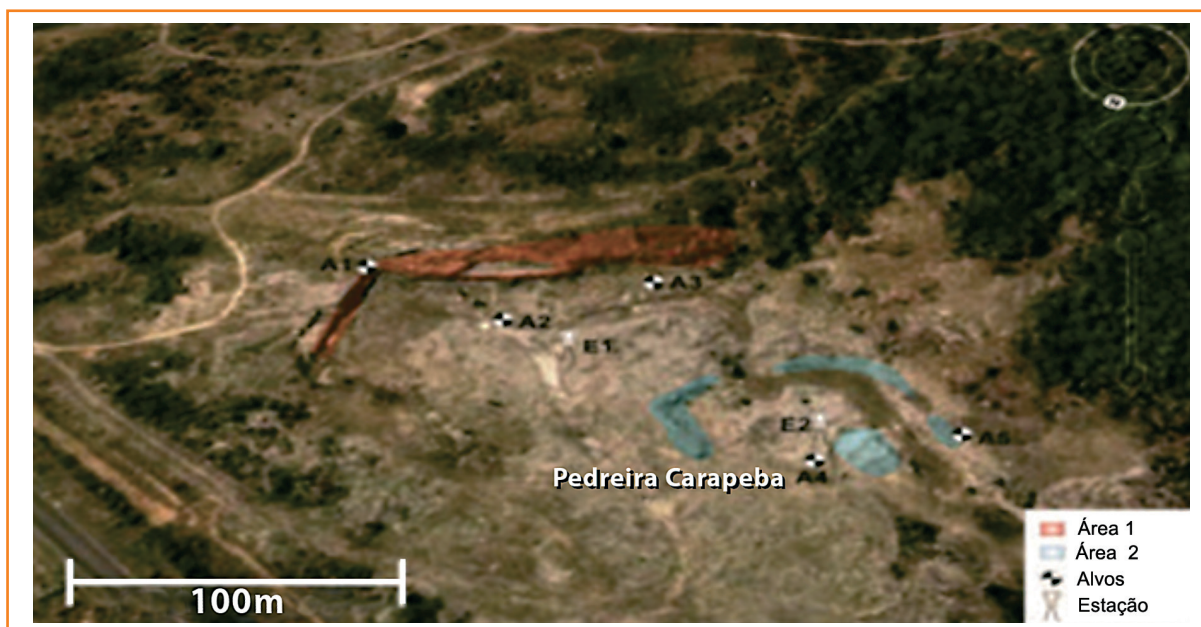


Figura 20 Planejamento da localização dos alvos e das estações para a aquisição da nuvem de pontos na Pedreira Carapeba. Imagem modificada de Google Earth, 2011.

Figure 20 Planning for location of targets and stations to acquire point cloud on the Carapeba quarry. Modified image from Google Earth, 2011.

mapeamento estratigráfico e de perfis de reflectância

A motivação para utilizar esta ferramenta no projeto baseia-se no fato de que a intensidade de reflectância emitida pelo *laser* do equipamento faz com que as rochas, quando atingidas, respondam mediante as suas propriedades, ou seja, as litologias que possuem diferentes propriedades refletivas podem ser automaticamente diferenciadas e mapeadas por meio das respectivas respostas de intensidade de reflectância da rocha.

O Modelo Digital do Afloramento foi trabalhado a partir da seleção das melhores áreas (fig.

21). A etapa de mapeamento estratigráfico digital de afloramento apoiou-se na identificação de fácies com base em suas propriedades refletivas com alta resolução por meio da produção de perfis de intensidade de reflectância. Estes dados de reflectância brutos foram extraídos do modelo digital da pedreira, onde foi possível gerar um perfil de espessura x intensidade de reflectância do *laserscanner*. Tais resultados foram integrados às descrições litológicas realizadas nos perfis da pedreira (fig. 22) e reconhecidos os valores relativos de reflectância para as litologias caracterizadas.

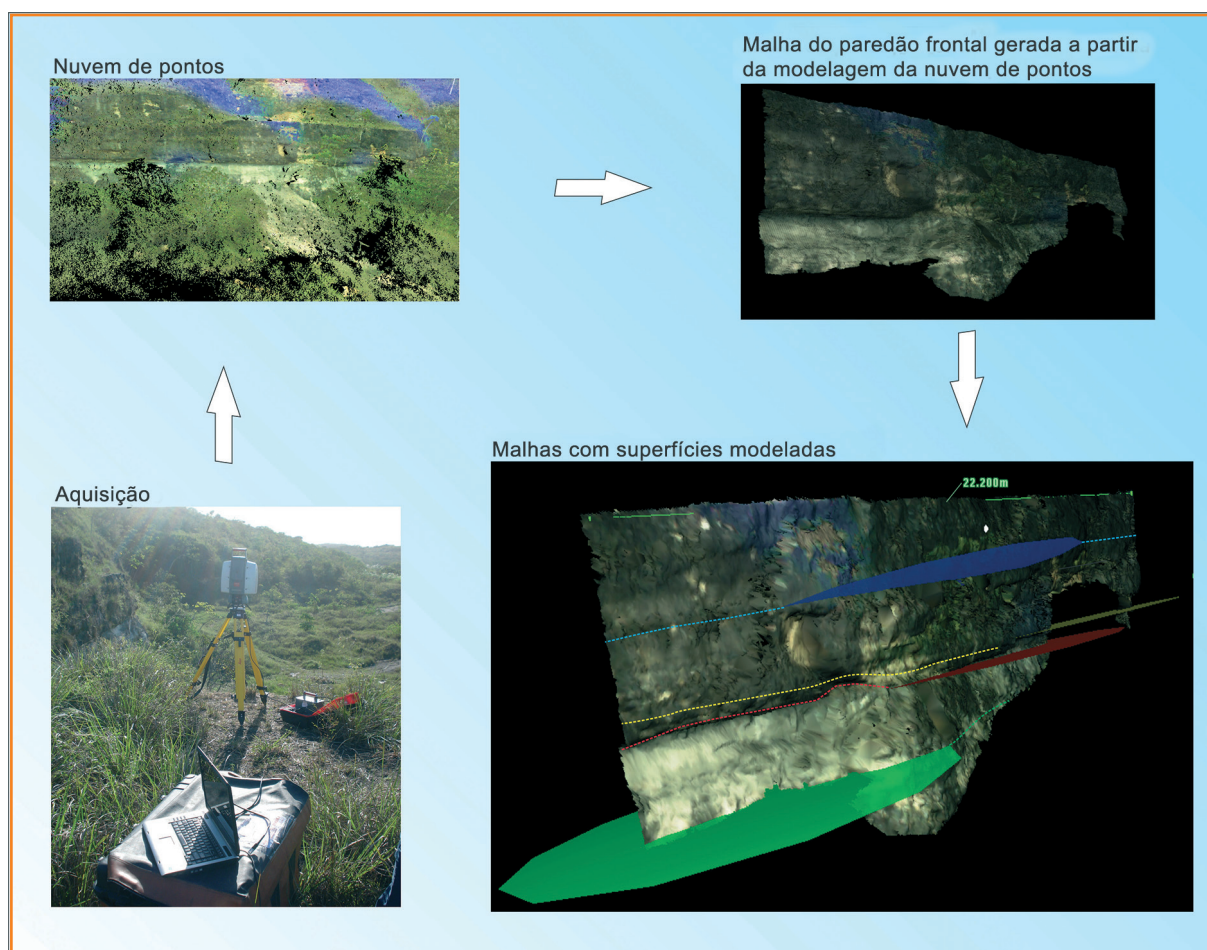


Figura 21 – Etapas da criação do modelo digital do afloramento e aplicação de técnicas na Estação 1. Na etapa de aquisição, podemos visualizar o equipamento lasescanner montado e pronto para escaneamento. No quadro “nuvem de pontos”, podemos ver a nuvem de pontos coletada sobre a superfície do afloramento para criação da malha. O último quadro, intitulado “Malhas com superfícies modeladas”, se trata da superfície do afloramento com limites de topo e base do afloramento adquirido através do modelo digital do afloramento e das descrições litológicas (Araújo, 2011).

Figure 21 – Creation stages of the outcrop digital model and application of techniques in Station 1. In the acquisition stage we can see the laser-scanner equipment mounted and ready for scanning. Under the frame “point cloud” we can visualize the cloud points collected on the outcrop surface to create the mesh. The last frame titled “meshes with modeled surfaces” comes from the outcrop surface with top and bottom limits of the outcrop acquired through the outcrop digital model and lithologic descriptions (Araújo, W. B., 2011).

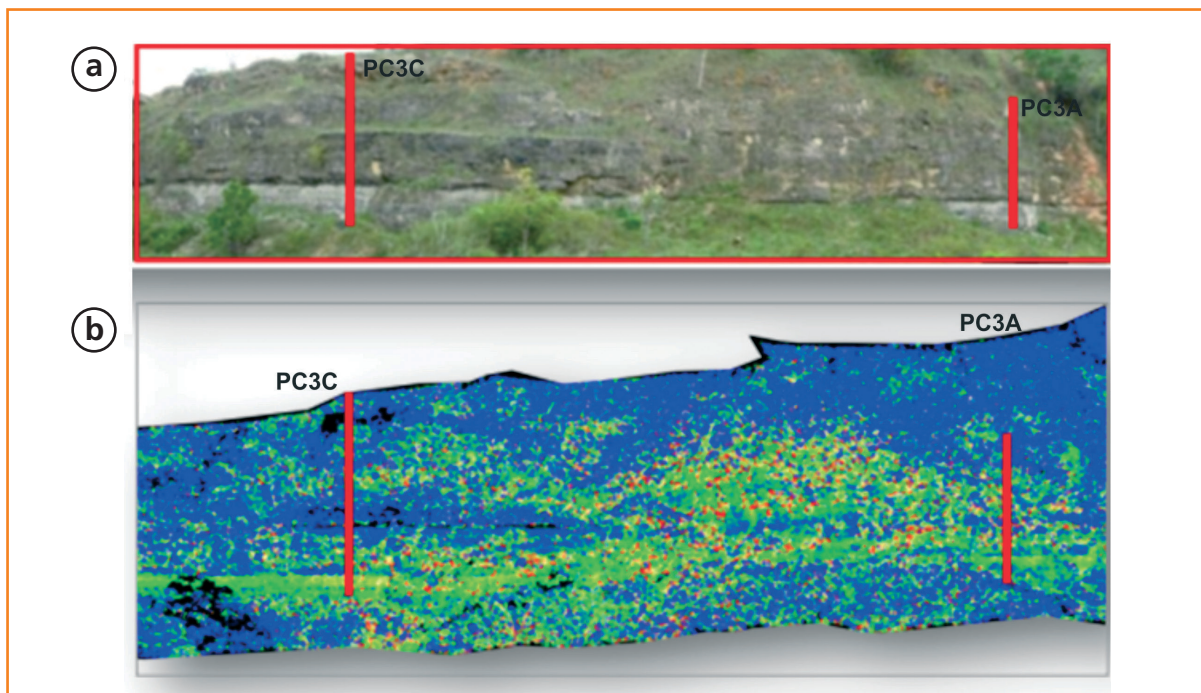


Figura 22 – Fotomosaico da Pedreira Carapeba. O quadrado em vermelho localizado na figura (a) trata-se da localização espacial da figura (b), e os traços verticais vermelhos indicam a localização espacial dos perfis de reflectância e litológicos coletados (Araújo, 2011).

Figure 22 – Carapeba Quarry photo mosaic. The red square located at the figure (a) comes from the spatial location of figure (b) and the red vertical lines indicate the spatial location of the reflectance profiles and lithological collected (Araújo, 2011).

O trabalho consistiu na realização de uma análise dos atributos da nuvem de pontos da Pedreira Carapeba nas regiões predefinidas como dolomitizadas e não dolomitizadas, para agrupamento dos valores referentes a diferentes intensidades de reflectância. A integração dos perfis litofaciológicos com os dados adquiridos no imageamento 3D foi realizada por meio da extração da nuvem de pontos gerada pelo laserscanner e da modelagem no *software CycloneModel*, obtendo como produto final perfis de reflectância (fig.23). Assim, foi possível integrar os perfis litofaciológicos, de modo a compreender qual a relação entre a reflectância e as características físicas da rocha. De modo geral, nesta análise constatamos ser possível identificar valores contrastantes de intensidade das reflectâncias, onde as camadas dolomitizadas possuem, no geral, uma intensidade de reflectância maior do que a das camadas de calcarenito não dolomitizadas.

Foram observados alguns valores altos anômalos de reflectância nos calcarenitos. Após comparação com as descrições litológicas realizadas, tais valores foram atribuídos a camadas de maior

concentração de cristais de calcita precipitada, associadas, respectivamente, à presença de concentrações de *vugs* com franjas de calcita e à presença de grandes acumulações de gastrópodes de dimensões de até 12cm, com o seu interior preenchido por calcita. Este efeito ocorre porque os cristais de calcita possuem cor branca, bastante refletiva.

Com base na nuvem de pontos criada na etapa de “modelagem dos dados” e nos valores relativos de reflectância obtidos no estudo comparativo de perfis de reflectância e perfis litológicos, foi possível modelar as propriedades da nuvem de pontos geral e obter a distribuição espacial (lateral e vertical) dos pontos de maiores reflectâncias, que correspondem, no seu geral, a camadas dolomitizadas.

Observa-se uma diferenciação das zonas mais dolomitizadas (em verde) das outras zonas, que são compostas de rochas carbonáticas com menores ou nenhum teor de dolomitização e de vegetação (ambas em azul). O método mostra uma correlação lateral dos corpos dolomitizados devido às suas distintas propriedades físicas em relação aos outros corpos presentes no afloramento.

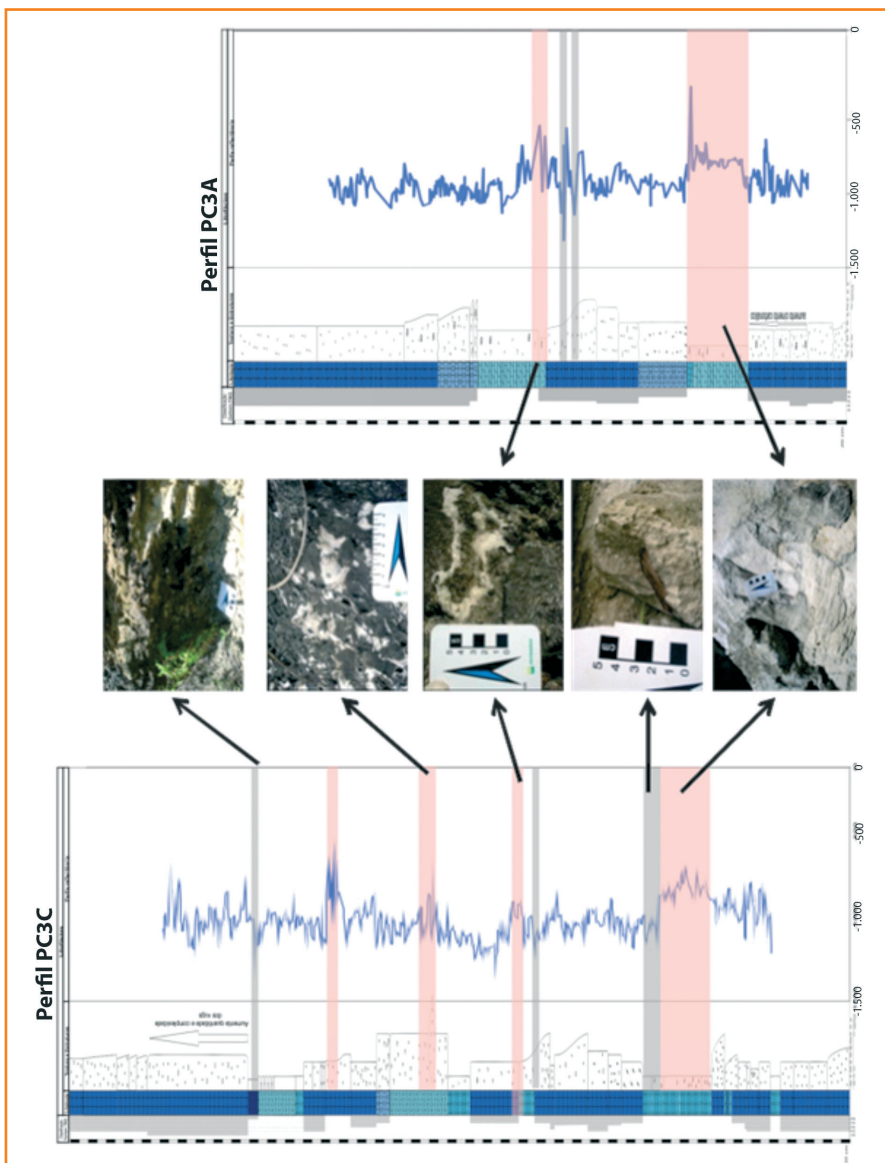


Figura 23 - Correlação lateral dos perfis PC3A e PC3C. As faixas de coloração rosada indicam as zonas com picos de alta intensidade de reflectância, e as de coloração cinza, as zonas com baixos picos de intensidade de reflectância (Araújo, 2011).

Figure 23 – Lateral logs PC3A and PC3C correlation. The pink color bands indicate areas with high intensity of peak reflectance and the gray colored areas have low reflectance intensity peak (Araújo, 2011).

aquisição de dados GPR

Com o intuito de gerar um modelo virtual de afloramento 3D mais detalhado, ao final do projeto, foi realizada uma etapa de aquisição de dados de GPR na Pedreira Carapeba. Tais dados foram adquiridos pela equipe da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), coordenada pelo professor Dr. Francisco Pinheiro Lima Filho, e integram a Rede Carmod.

O planejamento da escolha das zonas para a aquisição das malhas de GPR procurou abranger as áreas topograficamente mais planas e contínuas situadas sobre os locais de levantamento dos perfis litológicos no paredão da pedreira. Sendo assim, foram selecionadas cinco áreas (malhas) para realizar a aquisição com o GPR (fig. 24).

Os dados coletados se encontram em estado bruto, e seu processamento está sendo realizado em parceria com o laboratório de processamento da UFRN.

estado da arte da aplicação de dados multiescalares adquiridos na construção de modelos 3D de afloramentos análogos em rochas carbonáticas: o exemplo da Pedreira Carapeba

O produto atual da caracterização multiescalar do afloramento Pedreira Carapeba consiste na construção do modelo geológico 3D, do paredão frontal da pedreira. Para a realização desse modelo, são utilizados dados coletados nas etapas de campo (macro- e mesoescalas) e laboratório (microescala), após terem sido tratados, analisados e interpretados. Os dados utilizados na modelagem consistiram em: nuvem de pontos adquiridos com laserscanner e superfícies limítrofes rastreadas na nuvem de pontos; perfis litofaciológicos com integração de microfácies definidas em lâmina delgada; perfis de raios gama; marcadores estratigráficos definidos na análise estratigráfica e direções e inclinações das camadas de referência estratigráfica (fig. 25a e 25b).

A partir dos marcadores estratigráficos, das superfícies rastreadas na nuvem de pontos e das direções e inclinações das camadas, foram geradas as superfícies no modelo 3D do bloco de modelagem da Pedreira Carapeba (fig. 25c), que permitiram a visualização da geometria geral dos horizontes estratigráficos do afloramento, definidos pelos ciclostratigráficos-regressivos.

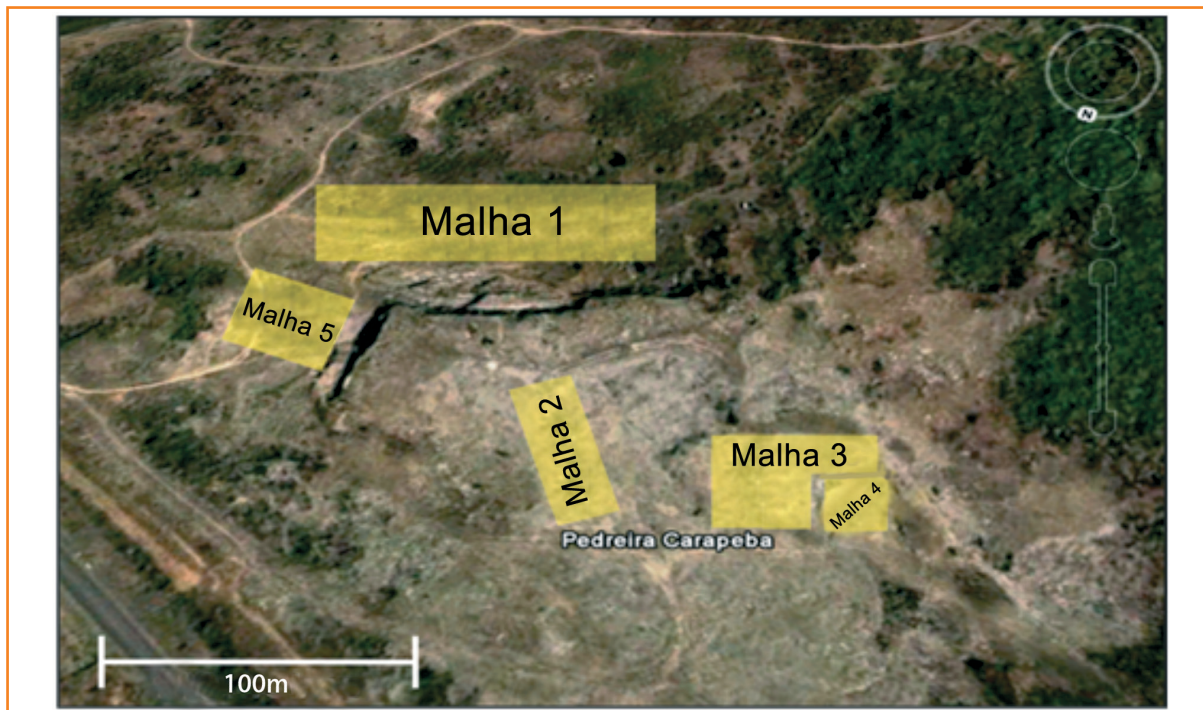


Figura 24
Imagem de satélite da Pedreira Carapeba com o planejamento da localização da aquisição das malhas de GPR, evidenciadas em amarelo (modificado de Google Earth, 2011).

Figure 24
Satellite image of Carapeba quarry with the planning for the location and acquisition of GPR meshes, highlighted in yellow (modified from Google Earth, 2011).

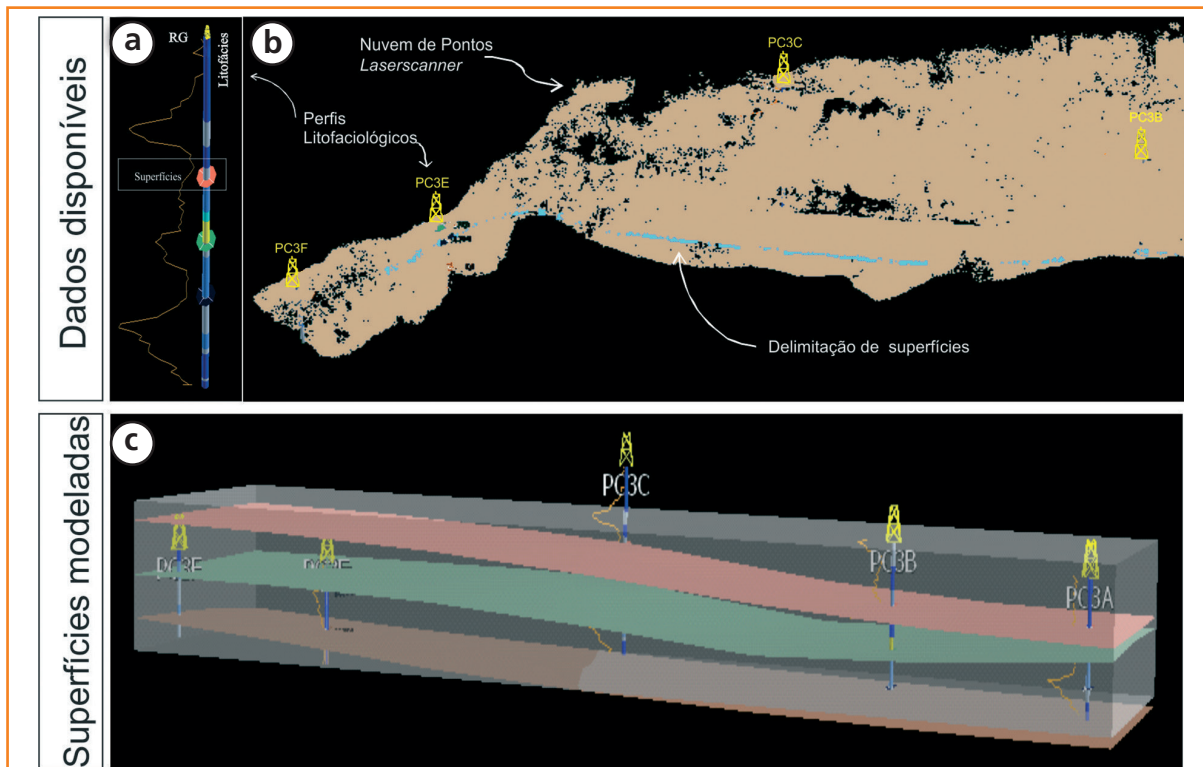


Figura 25 - Modelo-base da Pedreira Carapeba, com indicação dos dados utilizados na modelagem e modelo de horizontes gerado. (a) Detalhe dos dados de perfis utilizados; (b) Conjunto de dados utilizados, onde se observa a nuvem de pontos adquirida com laserscanner, uma das superfícies rastreadas na nuvem de pontos e a localização dos perfis descritos; (c) Bloco com o modelo 3D de horizontes, representativo das unidades estratigráficas definidas na análise estratigráfica genética dos perfis litofaciológicos.

Figure 25 - Carapeba Quarry base model, indicating the data used in the modeling and model-generated horizons. (a) Detail data from vertical logs; (b) Dataset used, with laser-scanner point set, point set surface tracked in laser-scanner data and location of the logs described; (c) Block with a 3D model of horizons representative of the stratigraphic units defined in stratigraphic analysis.

A modelagem da distribuição 3D das litofácies da Pedreira Carapeba teve como base os topos dos ciclos transgressivos-regressivos modelados anteriormente (fig. 25c) e os dados litofaciológicos codificados (fig. 26a e 26b). No ciclo T-R 5, foi demarcada ainda a superfície máxima transgressiva, com o objetivo de identificar as variações

litofaciológicas internas dos ciclos e em condições de deposição em máxima transgressão.

A partir deste modelo 3D de fácies e do faixamento por superfícies máximas regressivas foi possível identificar a evolução temporal e a variação lateral da distribuição dos depósitos encontrados na pedreira (fig. 26).

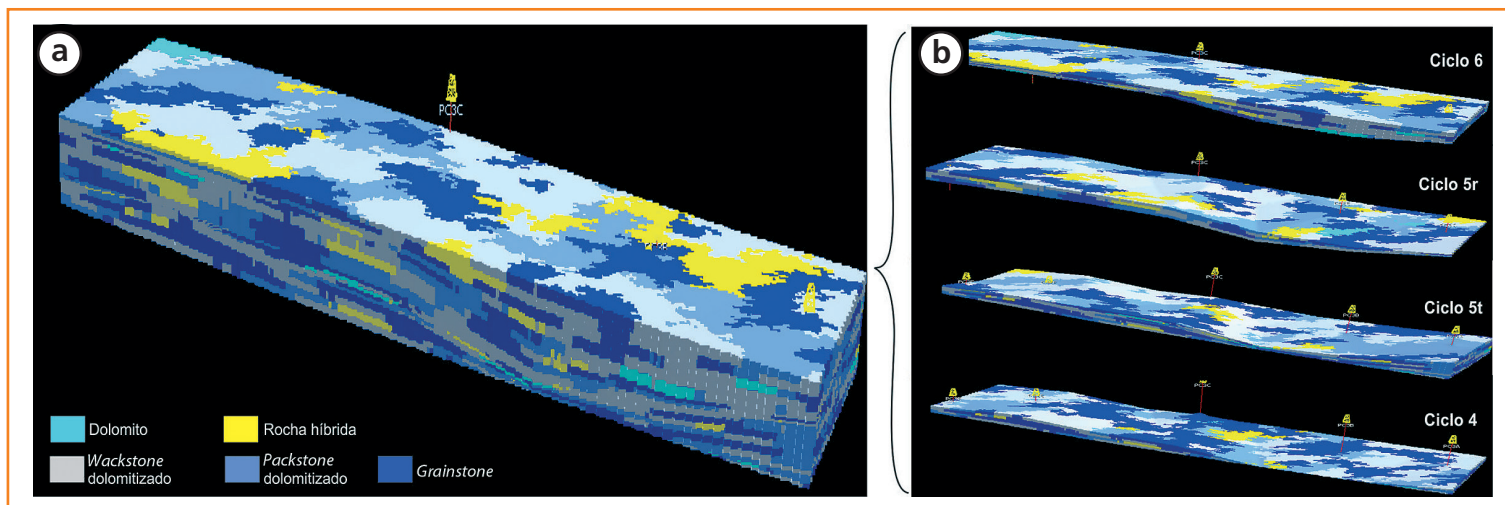


Figura 26 - Modelo 3D de distribuição de fácies da Pedreira Carapeba. (a) Modelo geral de distribuição das fácies definidas a partir dos perfis litofaciológicos na Pedreira Carapeba; (b) Distribuição espacial das litofácies de acordo com os máximos regressivos de cada ciclo. Observar que o ciclo 5 está dividido em 5t e 5r, em que o primeiro representa a superfície máxima transgressiva, e o segundo, a superfície regressiva máxima.

Figure 26 - 3D facies model of Carapeba quarry. (a) General model of facies distribution defined from the lithofaciologic logs; (b) Spatial distribution of lithofacies in accordance with the maximum regressive of each cycle. Note that cycle 5 is divided into 5r and 5t, wherein the first is the maximum transgressive surface and the second is the maximum regressive surface.

expectativas de aplicação da modelagem 3D na simulação de fluxo e planejamento de malha de poços a partir de análogos de afloramentos

Como já referido, a modelagem 3D de propriedades multiescalares de reservatórios, seguida da simulação de fluxo, tem por objetivo prever o comportamento dos fluidos em meios porosos, de forma a auxiliar nas interpretações sobre o intervalo de interesse, contribuindo, assim, na tomada de decisões que visam aumentar a recuperação final dos reservatórios.

O Projeto Camures-Carbonato tem a simulação de fluxo como o passo a se seguir à Modelagem 3D. Este procedimento será conduzido após a conclusão dos estudos de caracterização dos sistemas porosos em lâmina delgada, os quais, associados aos dados de permoporosidade petrofísica, permitirão melhor entendimento da distribuição destas propriedades na multiescala.

Este artigo apresenta apenas os resultados de “modelagem e simulação” com dados de macro- e mesoescala, coletados pela equipe de geologia de reservatório, os quais foram organizados e utilizados pela equipe de engenharia de reservatório no planejamento de poços e simulação de fluxo sobre o modelo 3D elaborado. Nestes procedimentos foram empregados *softwares* de Modelagem Geológica RMS (Roxar) e o Simulador de Fluxo Tempest (Roxar), este último para prever o comportamento dos fluidos nos intervalos reservatório identificados e modelados.

A aplicação ocorrerá de forma realística através de dados presentes em literaturas especializadas, a fim de que tal estudo possa servir de parâmetro para estudos futuros e de pesquisa para casos reais na indústria (Nascimento, 2010).

O modelo 3D da Pedreira Carapeba foi desenvolvido a partir da busca de maior aproximação do modelo real "possível", adotando o ilustrado nas figuras 27a, 27b e 27c.

Após definidos os *grids* das zonas, seus parâmetros foram exportados para o simulador Tempest (fig. 27d). A figura 27c integra o grid do simulador com dados de análogos disponíveis na literatura, pois os dados petrofísicos reais da Pedreira

Carapeba ainda não estão disponíveis. Tais dados consistem em parâmetros de porosidade, permeabilidade, compressibilidade de rocha, contatos WGO, entre outros.

Foram realizadas e avaliadas possíveis diferentes configurações de locações de poços verticais e direcionais como produtores/injetores, ou modelo *five spot*. Este planejamento tem sido feito no RMS através das ferramentas *multi-wellview* (multivisualização de poços com fácies e raios gama que auxiliam no controle de qualidade) e *multi-wellfences* (fig. 28), que auxiliam no planejamento de poços para aumento do fator de recuperação do reservatório.

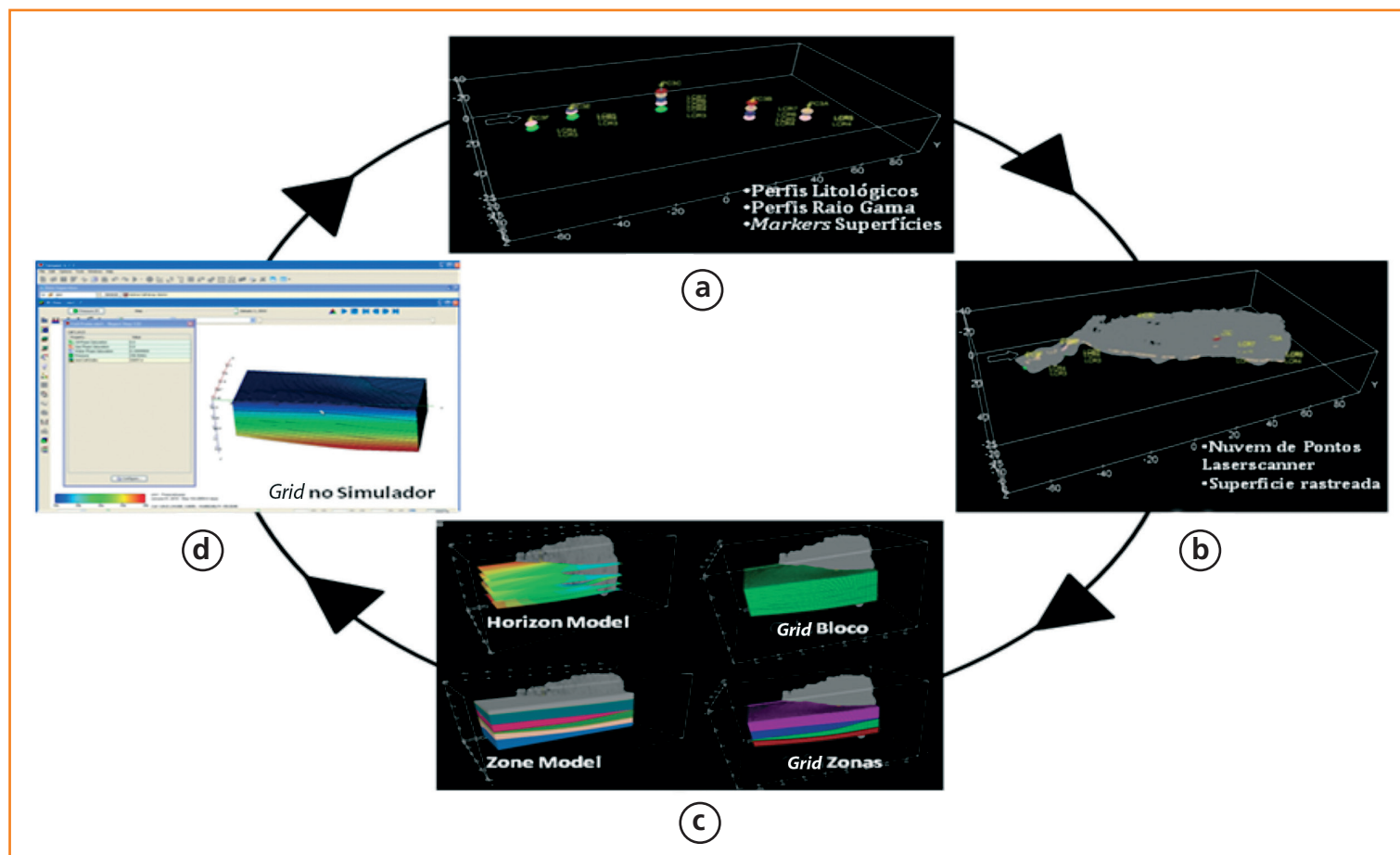
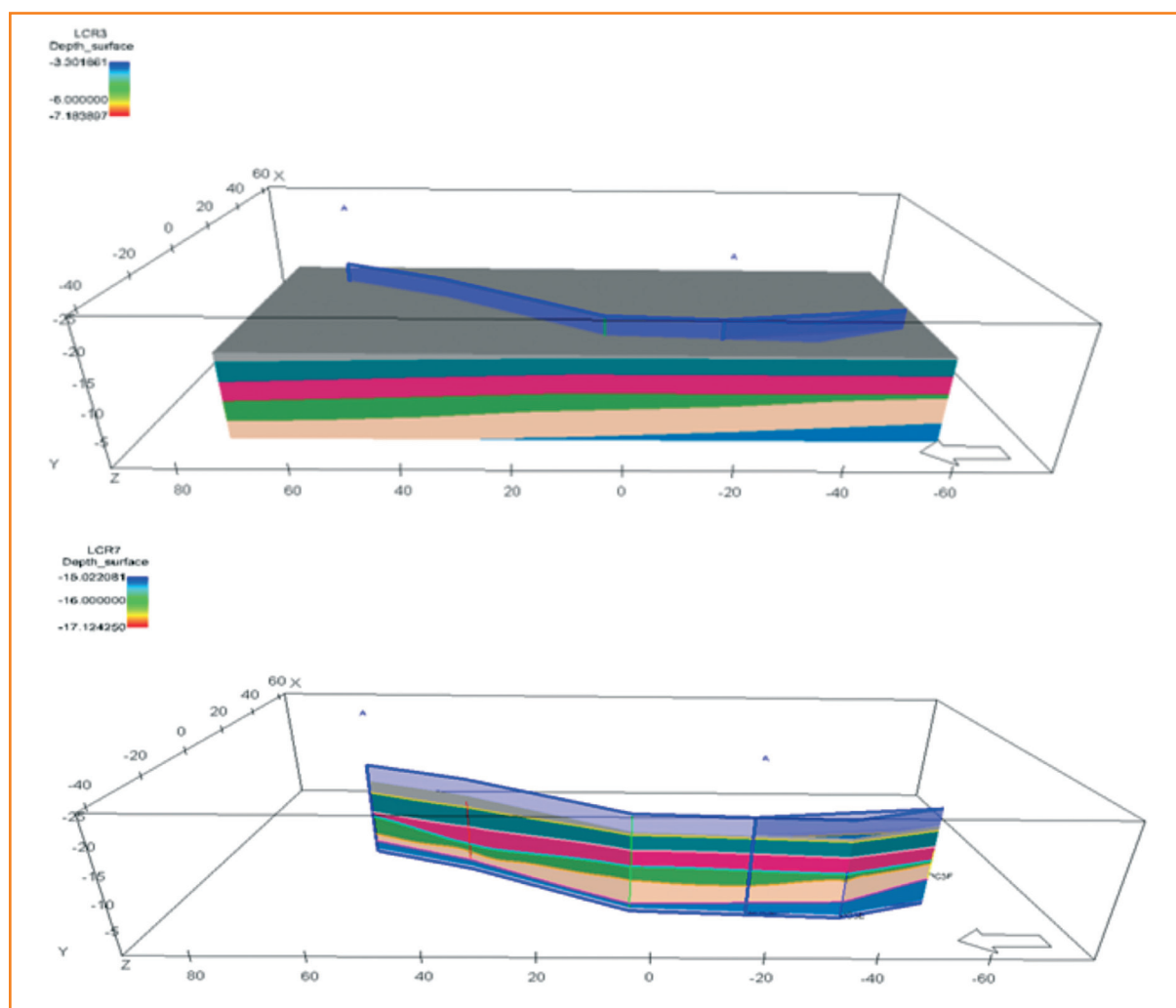


Figura 27 - Workflow da Modelagem Geológica a Simulação de Fluxo (RMS e Tempest). a) Dados de perfis utilizados; b) Nuvem de pontos (laserscanner) e superfície delimitada na mesma; c) Modelo de horizontes e de gridagem da Pedreira Carapeba; d) Grid final da Pedreira Carapeba importado no software de simulação de fluxo (Tempest).

Figure 27 - Geological Modeling and Flow Simulation Workflow (RMS and TEMPEST) a) Lithologic logs data; b) Laser-scanner cloud points and picked surface; c) Horizon and Zone Models and Gridding of Carapeba Quarry; d) Carapeba Quarry grid imported in flow simulation software (TEMPEST).

Figura 28
Ferramenta
MultiWellViewer aplicada
na Pedreira Carapeba,
software RMS.

Figure 28
Multi-Tool Viewer applied
well in Carapeba quarry,
RMS software



conclusões

O estudo multiescalar das rochas carbonáticas em afloramentos análogos constitui, portanto, importante ferramenta de avaliação de potencial de reservatórios em subsuperfície, em especial aqueles correspondentes a litofácies semelhantes e condicionadas a histórias sedimentares e diagenéticas análogas.

Na Pedreira Carapeba, foram identificadas diferentes litofácies, representativas do contexto geológico do Membro Maruim, Formação Riachuelo, na porção emersa da Sub-Bacia de Sergipe, permitindo estabelecer as seguintes conclusões:

O empilhamento litofaciológico na pedra representa a interdigitação de ambientes lagunares, bancos rasos e de leques deltaicos distais, aportando sedimentos terrígenos no ambiente lagunar no qual adentram, e são submetidos a constantes

avanços e recuos da lâmina d'água marinha, sofrendo periódicos influxos de fluidos meteóricos subterrâneos.

A dolomitização não se restringe apenas às litologias finas de cor cinza, como sugerem as observações de campo. O processo está presente em diferentes litofácies, sendo registrado de modo heterogêneo nos intervalos de calcarenito. Os efeitos dos fluidos dolomitizantes aparecem mais pronunciados em litofácies bioturbadas. Esse processo ocorre durante a eodiagênese, em ambiente de misturas de águas, sendo dominantes nas fácies lagunares e de retaguarda de bancos, podendo chegar até as fácies de bancos rasos, pela regressão dos fluidos marinhos e avanço da franja de água doce, durante os eventos regressivos.

Verifica-se que, apesar de os perfis de raios gama não responderem às mudanças mineralógicas processadas pela dolomitização, os seus picos coincidem nas litologias associadas ao incremento

de grãos terrígenos portadores de elementos radioativos, tais como feldspatos potássicos e micas (muscovita). Estes aportam ao ambiente lagunar juntamente com os fluxos de sedimentos terrígenos quando as cunhas de água doce subterrâneas promovem a dolomitização. Esta assinatura é típica de áreas onde há deposição intercalada de carbonatos de bancos rasos e de áreas lagunares, como estabelecido por Aigner *et al.* (1995).

Além da dolomitização, outros processos diagenéticos afetam esses carbonatos, sendo os principais: micritização, dissolução e neomorfismo da aragonita e precipitação de calcita em franjas e em mosaico. Estudos petrológicos, incluindo análises isotópicas de carbono, oxigênio e magnésio, deverão ser realizados em associação aos estudos petrográficos complementares sobre as demais amostras coletadas no afloramento estudado.

A aplicação da Metodologia Camures e das diferentes ferramentas de investigação empregadas no presente estudo revelou-se de real significado para o entendimento dos comportamentos e distribuição das litologias descritas. Este procedimento deverá agora ser implementado, na segunda fase do projeto, incluindo outros afloramentos e unidades carbonáticas da Bacia Sergipe-Alagoas.

Os produtos até o momento concluídos, bem como aqueles que se encontram em processamento com base nos atributos e informações incluídos no banco de dados do Projeto Camures-Carbonato, representam o avanço da aplicação da Metodologia Camures em reservatórios carbonáticos análogos no Brasil, uma vez que a mesma só havia sido empregada em reservatórios análogos siliciclásticos terrígenos. Esta abordagem metodológica segue linhas de pesquisa atualmente desenvolvidas por pesquisadores em outros países, a exemplo de Thomas Aigner (Palermo *et al.*, 2010), na Alemanha, e Maria Mutti, na Itália.

agradecimentos

Agradecemos à Petrobras, através das gerências da Rede Carmod, a oportunidade de podermos desenvolver a aplicação da Metodologia Camures, anteriormente utilizada por nossa equipe em rochas reservatórios siliciclásticas, no estudo de potenciais afloramentos análogos de reservatórios carbonáticos e híbridos localizados na Bacia Seripe-Alagoas.

Agradecemos ao professor Paulo Tibanao seu apoio na capacitação de nossa equipe na caracterização de rochas carbonáticas em afloramentos e através de análises petrográficas, permitindo assim um significativo crescimento de nosso conhecimento de equipe no tema.

Agradecemos à Roxar, que, através de um programa de parceria, nos permitiu avançar nos procedimentos de modelagem e simulação, permitindo assim a integração dos estudos de geologia e engenharia de reservatório, objetivo final a ser consolidado em nossa instituição, a Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Agradecemos o empenho de diversos setores da UFS e da Fundação de Apoio à Pesquisa e Extensão de Sergipe (Fapesse), que tem contribuído cada vez mais para a melhoria continuada dos processos que envolvem a gestão e administração de projetos de parceria universidade-empresa.

Agradecemos, a todos os elementos da Equipe Progeologia, que contribuíram para a “construção” deste trabalho, nomeadamente os acadêmicos de Geologia da UFS Marcio Vinicius Dantas, Samuel Alécio Figueiredo, Gustavo Weidmann, Izaura Carvalho Oliveira, Raisa Elias Teodoro Santos Pereira e Thaylane Souza e ao Sr. Luiz Mario Hardman Côrtes.

referências bibliográficas

AIGNER, T.; SCHAUER, M.; JUNGHANS, W. D.; REINHARDT, L. Outcrop gamma-ray logging and its applications: examples from the German Triassic. **Sedimentary Geology**, Tübingen, v. 100, n. 1-4, p. 47-61, Dec.1995.

ARAÚJO, W. B. **Caracterização digital de afloramento de rochas carbonáticas, Membro Maruim, Formação Riachuelo, Sub-Bacia de Sergipe**. 2011. Tese (Graduação) - Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2011.

BANDEIRA JR, A.N. Sedimentologia e microfácies calcárias das formações Riachuelo e Cotinguiba da Bacia de Sergipe-Alagoas. **Boletim Técnico da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.21, p.17-69, 1978.

BURCHETTE T. P.; WRIGHT, V. P. Carbonaterampdepositional systems. **Sedimentary Geology**, Tübingen, v.79, n. 1-4, p. 3-57, Aug. 1992.

- BUCHBINDER, B.; FRIEDMAN G. M.; Selective dolomitization of micritic envelopes: a possible clue to original mineralogy. **Journal of Sedimentary Research**, Tulsa, v.40, n. 1, p. 514-517, Mar. 1970.
- CAMPOS NETO, O.P.A.; LIMA, W.S.; CRUZ F.E.G. Bacia Sergipe-Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 405-415, nov.2007.
- CHOQUETTE, P. W.; PRAY, L. Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. **AAPG Bulletin**, Tulsa, v. 54, p. 207-250.1970.
- CRUZ, L. R. **Caracterização tectono-estratigráfica da sequência transicional na sub-bacia de Sergipe**.169 f.2008. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Natal, 2008.
- DIAZ, M. L. R.; PEREIRA, E.; RODRIGUES, R. **Caracterização diagenética dos carbonatos da Formação Riachuelo, cretáceo da Bacia Sergipe-Alagoas, a partir de dados isotópicos de $\delta^{18}O$ e $\delta^{13}C$** . Rio de Janeiro: UERJ/PRH17, 2009.
- FALCONE C. M. O. **Sedimentação mista carbonato-siliciclástico durante o Albo-aptiano na porção emersa da Bacia Sergipe-Alagoas**. 193f. 2006. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologias, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2006.
- GARCIA, A. J. V.; EASTWOOD, M. E. Um procedimento gráfico para a descrição de perfis estratigráficos. In: SIMPOSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, 1981. Curitiba. **Atas...** São Paulo: SBG,1981. v. 2. p. 1-13.
- KOEHRER, B. S., HEYMANN, C., PROUSA, F., AIGNER, T. Multiple-scale facies and reservoir quality variations within a dolomite body – Outcrop analog study from the Middle Triassic, SW German Basin. **Marine and Petroleum Geology**, Tübingen, v. 27, n. 2, p. 386-411, Feb. 2010.
- KOUTSOUKOS, E. A. M.; MELLO, M. R.; AZAMBUJA FILHO, N. C.; HART, M. B. MAXWELL, J. R. The upper Aptian-Albian succession of the Sergipe Basin, Brazil: an integrated paleoenvironmental assessment. **AAPG Bulletin**, Tulsa, v. 75, n. 3, p. 479-498, Mar. 1991.
- KOUTSOUKOS, E. A. M.; DESTRO, N.; AZAMBUJA FILHO, N. C.; SPADINI, A. R., Upper Aptian-lower Coniacian carbonate sequences in the Sergipe Basin, northeastern Brazil. In: SIMO, T., SCOTT, B., MASSE, J. P. (Eds.). **Cretaceous Carbonate Platforms: an overview**. Tulsa: AAPG, 1993. , p. 127-144. (AAPG Memoirs, 56)
- MENDES, J. M. C. **Análise estratigráfica da seção neoptiana/eocenomaniana (Fm. Riachuelo) na área do Alto de Aracaju e adjacências**. 166 f. 1994. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- NASCIMENTO, E. D.; **Estudo Paramétrico para modelagem e simulação computacional de reservatórios carbonáticos em sub-sal**. 176 f. 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- PALERMO, D., AIGNER, T., NARDON, N., BLENDINGER, W. Three-dimensional facies modeling of carbonate sand bodies: outcrop analog study in an epicontinental basin (Triassic, southwest Germany). **AAPG Bulletin**, Tulsa, v. 94, n. 4, p. 475–512, 2010.
- ROCHA, Liana Matos. **Caracterização multiescalar aplicada a Carbonatos Albianos da Formação Riachuelo, Membro Maruim, na Sub-Bacia de Sergipe**. 2011. Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, 2011.
- TURBAY, C. V. G. **Estudo paleoambiental dos carbonatos do Albiano superior na Bacia de Sergipe: uma abordagem microfaciológica**. 133 f. 2002. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação de em Análise de Bacias e Faixas Móveis, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- TUCKER, M. E. **Sedimentary rocks in the field: a practical guide**. England: John Wiley & Son, 2003. 236p.

expanded abstract

Outcrops in carbonate and hybrid rocks of Sergipe-Alagoas Basin have been studied under the Project "Multi scale characterization of analogous carbonates reservoirs from Sergipe-Alagoas Basin"/ CAMURES-Carbonate, aiming to build 3D Reservoirs Models of potentially analogous reservoirs in the sub-surface. The multiscale characterization of outcrops is the integration coming from the mega/macro scale to the micro scale, collected throughout the vertical and lateral extent of the outcrop in order to understand the spatial distribution of heterogeneities and the sedimentary and diagenetic processes controlling them.

This methodological approach was primarily applied to the Carapeba Quarry outcrop, characterized by interbedded deposits of calcarenites and calcimud-stones, locally dolomitized, belonging to the Maruim Member, Riachuelo Formation. The database used in this work consisted of the description and sampling of 19 lithofaciologic logs, together with gamma ray logs and thin sections in interest intervals, 3D data imaging and GPR.

The integration of outcrop analysis with the thin sections allowed the recognition of seven sub-lithofacies that were grouped into four sets of lithofacies: Dolomites; partly dolomitized wackstones and packstones; grainstones with sparry and microsparry calcite cement and hybrid rocks. They are interpreted as deposited in a slightly gradient carbonate ramp model. These lithofacies represents three main sub-environments identified in the ramp model, the lagoon, shallow shoals and distal deltaic fans in lagoonal environment. The main kinds of porosity found over the petrographic studies correspond to: a) Moldic porosity, coupled with the dolomite crystals dissolution and peloids b) Intragranular porosity, which is essentially present in grainstone facies c) Vugular porosity in undifferentiated facies d) Intercrystalline porosity in dolomitized lithofacies e) Intergranular porosity in hybrid facies and sometimes peloids packstones and finally, f) porosity in fractures, usually associated with pack-grainstone facies.

The dolomitization is the most relevant diagenetic process in the analyzed context in Carapeba Quarry. The dolomitization diagenetic model considered operant in the described intervals signals the participation of meteoric fluids infiltrated

through fresh water fringes that invade the meteoric carbonic sedimentation zone in lagoons, and the carbonic bars, mixing with the fringe of marine fluid carrying the conditions conducive to dolomitization (Water Mixture Model - Dorag).

The modeling in macro-scale is used in addition to stratigraphic and lithofaciologic data the imaging technique using laser scan, where from the point clouds (LIDAR) it has been possible to model the properties of the point clouds and get the spatial distribution (lateral and vertical) of the greatest reflectance points, which corresponds in its general to dolomitized layers.

The stratigraphic analysis of Carapeba Quarry allowed the definition of seven 5th order transgressive-regressive cycles. The transgressive cycles are characterized by the presence of marine facies (in intermediate and outer ramp environment), with predominant lithofacies characterized by oolitic/peloidal and bioclastic grain-packstone defining the implementation and subsequent progradation of shoal sand deposits over lagoon deposits. The current product of multi scale characterization of the Carapeba Quarry consists of 3D lithofacies modelling of carbonic and mixed reservoirs, for integration with flow simulation.

autores



Antônio Jorge Vasconcellos Garcia

Projeto Camures-Carbonato
Convênio Universidade Federal de
Sergipe/Petrobras/Fundação de Apoio
à Pesquisa e Extensão de Sergipe

garciageo@hotmail.com

Antônio Jorge Vasconcellos Garcia possui graduação em Geologia, mestrado e doutorado em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1978, 1982, 1992, respectivamente). Pós-Doutorado pela Universidade de Uppsala, Suécia, em 1996. Especialização em Gestão da Qualidade, com ênfase na Gestão de Equipes Multidisciplinares, em 1999. Coordenou projeto voltado à exploração petrolífera na Bacia Lusitânica (Projeto Atlantis), envolvendo a Universidade Federal de Sergipe (UFS) e as Universidades de Lisboa e Coimbra, desenvolvido para a Petrobras, no âmbito do Programa Profex. É professor efetivo do curso de Geologia da UFS e coordenador do Laboratório Progeologia/Núcleo de Petróleo e Gás (Nupeg)/UFS, onde coordena a caracterização multiescalar de reservatórios análogos de afloramentos nas bacias Sergipe-Alagoas e Lusitânica, em Portugal. Atua nas seguintes linhas de pesquisa: Geologia do Petróleo, Geologia de Rocha Reservatório, Modelagem e Simulação (Geo-Engenharia (Geoengenharia de Petróleo), Geologia Sedimentar, Modelagem Diagenética Preditiva e Gestão de Matriz Energética.



Filipa Maria Cabrita da Cunha Pereira

Projeto Camures-Carbonato
Convênio Universidade Federal de
Sergipe/Petrobras/Fundação de Apoio
à Pesquisa e Extensão de Sergipe

filipacpereira@yahoo.com

Filipa Maria Cabrita da Cunha Pereira possui graduação pela Universidade de Lisboa (2005). Mestrado em Geociências e Análise de Bacias, pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Atuou como geóloga plena em projetos de caracterização multiescalar de reservatórios análogos de afloramentos no Laboratório Progeologia/Núcleo de Petróleo e Gás (Nupeg)/UFS, contratada pela Fundação de Apoio à Pesquisa e Extensão de Sergipe (Fapese)/UFS. Atuou em projeto voltado à exploração petrolífera na Bacia Lusitânica (Projeto Atlantis), envolvendo a UFS e as Universidades de Lisboa e Coimbra, desenvolvido para a Petrobras no âmbito do Programa Profex.



Wendel Barbosa Araújo

Projeto Camures-Carbonato
Convênio Universidade Federal de
Sergipe/Petrobras/ Fundação de Apoio
à Pesquisa e Extensão de Sergipe

wendel_geo@hotmail.com

Wendel Barbosa Araújo é geólogo formado na primeira turma de Geologia da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Atuou em projetos de pesquisa com Fundação de Apoio à Pesquisa e Extensão de Sergipe (Fapese)/Petrobras/UFS voltados à caracterização multiescalar de reservatórios siliciclásticos e carbonáticos (Camures Siliciclástico e Camures-Carbonato). Possui experiência em mapeamento regional, utilização de Laser Scanners, integração dos dados para modelagem de reservatórios, estratigrafia de depósitos siliciclásticos e carbonáticos, criação de mapas 2D e 3D. Trabalha como geólogo na empresa Ecopetrol.



Liana Matos Rocha

Petrobras
Petrografia de Carbonatos

liana_sabocha@hotmail.com

Liana Matos Rocha é graduada em Geologia pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Atuou durante a graduação em projetos de pesquisa com foco na caracterização multiescalar de reservatórios siliciclásticos e carbonáticos (Camures Siliciclástico e Camures-Carbonato) a partir de dados de afloramentos e poços na Bacia Sergipe-Alagoas. Trabalhou no projeto Camures-Carbonato como geóloga em projetos de pesquisa através do convênio Fundação de Apoio à Pesquisa e Extensão de Sergipe (Fapese)/UFS/Petrobras, com foco em mapeamento regional, petrografia e petrofísica de rochas carbonáticas. É geóloga na empresa Petrobras, sediada na UO-Seal.



Daniela Dantas de Menezes Ribeiro

Projeto Camures-Carbonato
Convênio Universidade Federal de
Sergipe/Petrobras/ Fundação de
Apoio à Pesquisa e Extensão de Sergipe

daniela.ribeiro@ig.com.br

Daniela Dantas de Menezes Ribeiro é formada em Geografia pela Universidade Tiradentes (Unit) em 2007. Possui mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Federal de Feira de Santana (UEFS), na linha de pesquisa Geotecnologias Aplicado. Estudante do MBA em Gestão de Projetos, pela Universidade Tiradentes. Aluna do doutorado em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), na linha de pesquisa Hidrogeologia e Geologia Ambiental. Trabalha no Projeto Camures-Carbonato com desenvolvimento da base cartográfica e integração de dados multiescalares.



Flávia Moura Pereira Leal

Projeto Camures-Carbonato
Convênio Universidade Federal de
Sergipe/Petrobras/ Fundação de Apoio à
Pesquisa e Extensão de Sergipe
Cartografia Digital e Geoprocessamento

flaviaprogeologia@hotmail.com

Flávia Moura Pereira Leal geógrafa (licenciada) pela Universidade Tiradentes (Unit) em 2008 e graduanda de Geologia pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Atuou no Projeto Caracterização Multiescalar em Reservatórios Carbonáticos Análogos da Bacia Sergipe-Alagoas – Segunda Fase, realizando as atividades de georreferenciamento de dados e elaboração de roteiros de campo.



Gleidson Lima Correia

Projeto Camures-Carbonato
Convênio Universidade Federal de
Sergipe/Petrobras/ Fundação de Apoio à
Pesquisa e Extensão de Sergipe

gleidson.se@hotmail.com

Gleidson Lima Correia é graduando em Engenharia de Petróleo pela Universidade Federal de Sergipe (UFS) desde 2010. Atua como técnico em exploração de petróleo com foco em modelagem geológica 3D e simulação de fluxo em reservatórios petrolíferos carbonáticos e siliciclásticos.