



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS**

**DETALHAMENTO DA GEOLOGIA DAS UNIDADES
CARBONÁTICAS DO GRUPO BAMBUÍ NA REGIÃO DE
ALVORADA DO NORTE, GOIÁS**

Agnel Bengala da Cruz

Orientador: José Eloi Guimarães Campos
Co-orientadora: Adriana Chatack Carmelo

Brasília, Março de 2012.



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS**

**DETALHAMENTO DA GEOLOGIA DAS UNIDADES
CARBONÁTICAS DO GRUPO BAMBUÍ NA REGIÃO DE
ALVORADA DO NORTE, GOIÁS**

Agnel Bengala da Cruz

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. **José Eloi Guimarães Campos** - Orientador

Prof. Dr. **Alexandre Uhlein** - UFMG

Profa. Dra. **Lucieth Cruz Vieira** - UnB

SUMÁRIO

CAPÍTULO I INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 JUSTIFICATIVA	3
1.4 MATERIAIS E MÉTODOS	3
1.5 Referencial Teórico da Sedimentação Carbonática	5
1.5.1 Planície de maré	6
1.5.2 Plataformas	6
1.5.3 Processos diagenéticos	7
1.5.3.1 Compactação	7
1.5.3.2 Micritização	8
1.5.3.3 Cimentação	8
1.5.3.4 Dissolução	9
1.5.3.5 Silicificação	10
1.5.3.6 Dolomitização	10
1.6 Classificação das rochas carbonáticas	10
1.6.1 Classificação de Folk (1959, 1962)	10
1.6.2 Classificação de Dunham (1962)	11
1.6.3 Classificação de Embry & Klovan (1971)	11
1.7 Organização do Trabalho	12
CAPÍTULO II GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA	13
2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	13
2.1.1 Evolução dos Conceitos	13
2.1.2 Estratigrafia	16
2.2 GEOLOGIA DA POLIGONAL ESTUDADA	21
2.3 - DESCRIÇÃO DAS FÁCIES CARBONÁTICAS	26
2.3.1 Associação faciológica SL (DL + DR + CM + MRG)	29
2.3.2 Associação LJ1 (CM + FL)	31
2.3.3 Associação LJ2 (CM + FL+ MRG)	33
2.3.4 Associação LJ3 (CAi + CM + FL)	34
2.3.5 Associação LJ4 (CRi + CM + FL)	38
2.3.6 Associação LJ5 (CRi + CAi + CM + FL)	39

CAPÍTULO III ISÓTOPOS DE CARBONO E OXIGÊNIO	43
3.1 - Isótopos de Oxigênio	43
<i>3.1.1 - Características do sistema isotópico do Oxigênio</i>	43
3.2 - Isótopos de Carbono	45
<i>3.2.1 - Características do sistema isotópico de carbono</i>	45
3.3 - Amostragem e Métodos Analíticos	46
3.4 - Resultados Isotópicos	47
3.4.1 - Assinatura isotópica de Carbono e Oxigênio da Formação Sete Lagoas	47
3.4.2 - Assinatura isotópica de carbono e oxigênio da Formação Lagoa do Jacaré	47
3.5 - Discussões	52
CAPÍTULO IV INTEGRAÇÃO DE DADOS E DISCUSSÕES	54
4.1 INTRODUÇÃO	54
4.2 PALEOGEOGRAFIA	54
4.3 AMBIENTES DEPOSICIONAIS	56
4.4 ESPESSURA DO GRUPO BAMBUÍ NA REGIÃO	61
CAPÍTULO V POSSÍVEIS PLAYS PETROLÍFEROS: POTENCIALIDADE EXPLORATÓRIA PARA HIDROCARBONETOS	63
5.1 INTRODUÇÃO	63
5.2 SISTEMA PETROLÍFERO APLICADO AO GRUPO BAMBUÍ	65
5.2.1 Rocha geradora	65
5.2.2 Rocha Reservatório	67
5.2.3 História de Maturação	68
5.2.4 Estágio de Maturação	70
5.2.5 Migração	72
5.2.6 Rocha Selante	73
5.2.7 Trapas	75
5.3 POTENCIAL DA REGIÃO PARA HIDROCARBONETOS	76
CAPÍTULO VI CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXO 1 TABELA DE DESCRIÇÃO DE PONTOS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I	1
Figura 1.1 - Localização da área de estudo. B= Alvorada do Norte; C= Simolândia; D= Buritinópolis; E= Mambai; F= Damianópolis. (Quadrado preto = região de Alvorada do Norte).	2
Figura 1.2 - Fluxograma do tratamento da imagem Landsat/TM.	3
Figura 1.3 - Levantamento da seção vertical do paredão córrego das Dores (PCD).	5
CAPÍTULO II	13
Figura 2.1 - Arcabouço geológico e distribuição da Bacia do São Francisco no cráton homônimo. A localização da área de estudo é evidenciada pelo quadrado vermelho. Modificado de Alkmim (2004).	13
Figura 2.2 - Coluna estratigráfica simplificada da Bacia do São Francisco. (Modificado de Alkmim 2004).	16
Figura 2.3 - Estratigrafia do Grupo Bambuí. (Segundo Dardenne 1978).	20
Figura 2.4 - Mapa geológico da região de Alvorada do Norte. (PB - pedreira Britacal; PCD - paredão córrego da Dores). Modificado da carta geológica do Brasil ao milionésimo, folha SD. 23.	21
Figura 2.5 - Dolomito apresentando acamamento horizontal.	22
Figura 2.6 - (A) Folhelhos calcíferos laminados; (B) Siltitos apresentando fraturas E-W; (C) Litoarenito fino observado em lâmina delgada, evidenciando fragmentos de rochas argilosas.	23
Figura 2.7 - (A) Calcário apresentando acamamento horizontal e ondulado; (B) Brecha carbonática com matriz micrítica e cristais alongados de sílica; (C) Ocorrência de estilólitos contornando os grãos carbonáticos.	24
Figura 2.8 - (A) Contato do siltito laminado com siltitos maciços denominados de verdetes; (B) Lâmina delgada dos pelitos, evidenciando bandas claras de composição quartzosa e escuras de ilita.	24
Figura 2.9 - (A) Visão geral da forma de preservação da Formação Três Marias em serras e cristas elevadas; (B) Banco de arcóseos mostrando acamamento horizontal; (C) Lâmina delgada com luz polarizada mostrando a natureza subarcoseana da rocha.	25
Figura 2.10 - (A) Vista geral da forma de ocorrência dos arenitos do Grupo Urucuia; (B) Bloco de arenito com acamamento/laminação horizontal.	26
Figura 2.11 - (A) Vista geral do depósito detrítico-laterítico da Formação Chapadão; (B) Depósitos de areias não coesas, desestruturadas e oxidadas.	26
Figura 2.12 - Associação SL e estruturas sedimentares.(A = Dololuto e Dolarenito; B = Calcário micrítico laminado).	30
Figura 2.13 - (A) Dolomita com material calcítico preenchendo as fraturas (seta vermelha); (B) Detalhe de cristais romboédricos de dolomita em fotografia de seção delgada (seta amarela).	31
Figura 2.14 - Distribuição da associação LJ1 e estruturas sedimentares do calcário micrítico (<i>mudstone peloidal</i>).	32
Figura 2.15 - Fotomicrografia do calcário micrítico. (A e B) seta vermelha mostrando as feições de estilólitos. Evidência de recristalização e cimentação de calcita (seta amarela). (A) seta verde mostra a presença de pelóide.	32
Figura 2.16 - Associação LJ2 e respectivas estruturas sedimentares.	33
Figura 2.17 - Associação LJ2 e estruturas sedimentares associadas.	34

Figura 2.18 - Associação LJ3 e respectivas estruturas sedimentares. (CAi = Calcarenito intraclástico; CM = Calcário micrítico).	35
Figura 2.19 - Associação LJ3 e estruturas sedimentares. (CAi = Calcarenito intraclástico; CM = Calcário micrítico; Ns = Nódulos silicosos).	36
Figura 2.20 - Associação LJ3 e respectivas estruturas sedimentares (Traço amarelo representa canal erosivo).	37
Figura 2.21 - (A) Detalhe de marmorização de calcário, mostrando a presença de calcita em blocos (seta vermelha); (B) Ocorrência de oólito (seta verde), e com detalhe de estilólito com possível porosidade secundária associada; (C) Seta vermelha mostrando a ocorrência de oóide composto e a seta amarela evidenciando a intensa recristalização que afetou os oóides.	38
Figura 2.22 - Associação LJ4 e estruturas sedimentares.	39
Figura 2.23 - Associação LJ5 e estruturas sedimentares.	40
Figura 2.24 - Associação LJ5 e estruturas sedimentares, bem expostas em antiga pedreira.	41
Figura 2.25 - Fotomicrografia mostrando que apesar da intensa recristalização da rocha, esta não modificou a textura original, sendo possível identificar os intraclastos não afetados (seta vermelha); e a intensa recristalização que afetou alguns intraclastos carbonáticos (seta amarela).	42
CAPÍTULO III	43
Figura 3.1 - Distribuição de composição isotópica no principal reservatório terrestre com valores de $\delta^{18}\text{O}$ expresso com relação ao SMOW (<i>Standard Mean Ocean Water</i>). Compilado de Allègre 2008.	44
Figura 3.2 - Perfil isotópico do Grupo Bambuí: Seção da pedreira Britacal (PB) e do paredão córrego das Dores (PCD) com a composição isotópica de carbono e oxigênio.	51
CAPÍTULO IV	54
Figura 4.1 - Plataforma mista controlada pela paleogeografia na região de estudo.	55
Figura 4.2 - A. Rampa siliciclástica-carbonática, controlada pela presença de zona fótica em águas limpas na porção externa da plataforma onde a entrada de terrígenos é limitada; B. Plataforma mista com controle definido pela paleogeografia que permite a presença de águas rasas, limpas e quentes, lado a lado com porções mais profundas onde ocorre a deposição de terrígenos; C. Plataforma carbonática turbidítica com interdigitação de fácies clásticas arenosas e pelíticas; D. Plataforma mista com deposição de barras de calcários oolíticos com terrígenos a partir da dinâmica de elevação / rebaixamento eustático do nível do mar e E. Sedimentação mista controlada por tectônica de blocos que possibilita a presença de águas profundas e rasas lado a lado (Segundo Campos <i>et al.</i> submetido).	56
Figura 4.3 - Modelo de distribuição dos subambientes plataformais e respectivas icnofácies. (Compilado de Walker & Plint 1992).	57
Figura 4.4 - Ciclos retrogradacionais e progradacionais associados ao Subgrupo Paraopeba do Grupo Bambuí (incluindo as formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade).	59
Figura 4.5 - Seção ampliada esquemática do Grupo Bambuí na região de Alvorada do Norte e de outras porções.	62
CAPÍTULO V	63
Figura 5.1 - Seção geológica esquemática com a localização do poço 1-RC-1-GO. Modificado de Tonietto 2010. Contato inferido entre o Grupo Bambuí e o embasamento marcado pela linha tracejada preta.	64
Figura 5.2 - Tipos de exsudações de óleo e gás. (Compilado de Magoon & Dow 1994).	65
Figura 5.3 - Detalhe da rocha geradora.	66

Figura 5.4 - Detalhe em lâmina delgada da rocha reservatório potencial na região de Alvorada do Norte.	68
Figura 5.5 - Diagrama de Van Krevelen mostrando a progressão térmica da matéria orgânica. Fonte: Compilado de Petroleum Geology (1999) da Baker Hughes.	70
Figura 5.6 - Conversão de materia orgânica em hidrocarbonetos. Fonte: Compilado de Petroleum Geology (1999) da Baker Hughes.	71
Figura 5.7 - Classificação do tipo de rocha selante baseada no comportamento reológico dos materiais. (Compilado de Magoon & Dow 1994).	74
Figura 5.8 - Afloramento de rocha selante da Formação Serra da Saudade presente na região de Alvorada do Norte.	74
Figura 5.9 - Detalhe de domo com possível acumulação de gás.	75
Figura 5.10 - Desenho esquemático do sistema petrolífero da região de Alvorada do Norte.	76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Divisão litoestratigráfica do Grupo Bambuí, baseado em Dardenne (1978, 1981) e ambientes de sedimentação. Modificado de Lima (2005).	15
Tabela 2.2 - Tabela 2.2 - Síntese das principais feições das fácies descritas.	29
Tabela 3.1 - Composição de elementos de isótopos de carbono e oxigênio de amostras do perfil PB.	48
Tabela 3.2 - Composição de elementos de isótopos de carbono e oxigênio de amostras do perfil PCD.	49
Tabela 5.1 - Correlação generalizada dos indicadores de maturação (Compilado de Waples 1985 <i>in</i> Law 1999).	69

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela força constante e por possibilitar a realização desse momento.

Agradeço em especial ao Professor e amigo José Eloi pela sua orientação, paciência e pelas valiosas discussões geológicas e ensinamentos prestados durante todas as etapas desse trabalho.

À Professora Adriana Chatack pelo apoio e colaboração neste projeto.

Agradeço a Capes/Reuni pela concessão da bolsa e a empresa Britacal por permitir a minha entrada na pedreira.

Agradeço também ao laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geologia da Universidade de Brasília, na pessoa do Professor Roberto Ventura pelo apoio e serviços prestados.

À meu colega e amigo Bruno Castro e a turma Santola de Brasília pelos momentos alegres e descontraídos compartilhados.

Agradeço em especial a minha esposa Ivanete pelo apoio psicológico, paciência e companheirismo e aos meus pais Manuel Alves da Cruz e Isabel António Bengala que sempre me incentivaram e torceram sempre por mim apesar da distância continental.

Ao Programa de pós-graduação do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, pela possibilidade da realização desta pesquisa.

Agradeço a todas as pessoas que direta e indiretamente contribuíram para execução deste projeto.

RESUMO

As rochas carbonáticas da área de estudo pertencem ao Grupo Bambuí da porção oeste da bacia do São Francisco. A estratigrafia na região de estudo compõe uma seção ampliada com espessura de 1700 metros que inclui todas as unidades do Grupo Bambuí. A acumulação e preservação desta seção ampliada é atribuída a grande taxa de sedimentação. O controle da paleogeografia local é marcado pelo relevo ondulado responsável pelo desenvolvimento de diferentes condições paleoambientais e processos deposicionais contrastantes em uma plataforma mista carbonática-siliciclástica. Neste trabalho foram selecionadas, para as determinações de isótopos de carbono e oxigênio, duas seções em que os carbonatos apresentam excelente controle da estratigrafia vertical. O principal objetivo do estudo isotópico foi diferenciar as unidades carbonáticas e identificar diferentes eventos deposicionais e diagenéticos. Os dolomitos (dololutito e dolarenito) e os calcários micríticos intercalados com lentes de margas, apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ entre -0,58 e +0,94‰, com diminuição gradativa em direção ao topo. Este conjunto é correlacionável à Formação Sete Lagoas (Base do Grupo Bambuí). Os valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ dessa unidade apresentam intervalos variando de -8,62 a -4,47‰. Em direção ao topo da estratigrafia da seção carbonática, os dados isotópicos revelam valores fortemente positivos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ variando entre +9‰ e +14,77‰. Esta sucessão predominantemente carbonática corresponde à Formação Lagoa do Jacaré. Os valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ são negativos que variam de -9 a -3,62‰, sendo que tais variações são fortemente controladas pela proporção de carbonato e constituintes clásticos.

O potencial da região para a produção de hidrocarbonetos é limitado a ocorrências de gás termoquímico, uma vez que a história de soterramento avançada não permite mais a preservação de óleo. O potencial para formação de quantidades econômicas de gás é considerado reduzido e o risco exploratório muito elevado.

Palavras-chave: Isótopos de C e O, Grupo Bambuí, rochas carbonáticas e sistema petrolífero.

ABSTRACT

Carbonate rocks of the Neoproterozoic Bambuí Group outcrop on the western portion of the São Francisco basin. The stratigraphy in the studied area encloses a enlarged section (1700 meters thickness) that includes all the units of the Bambuí Group. The accumulation and preservation of this enlarged section are associated to a high sedimentation rate. The basement relief allowed the development of different sedimentary conditions and contrasting depositional processes, thus controlling the local paleogeography of a carbonate-clastic mixed platform. In this work, carbon and oxygen isotopes were obtained in two sections in which the carbonate succession present excellent control of the vertical stratigraphy. The main objective of the isotope study is to differentiate the carbonate units and to identify different depositional and diagenetic events. The intercalated dolomites (dololutite and dolarenite) and micritic calcareous rocks with impure limestone lenses present values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ between (-0.58 the +0.94‰), with gradual reduction in direction to the top. This succession is correlated to the Sete Lagoas Formation (Base of Bambuí Group). The isotopic values of $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ for this unit present intervals varying from -8.62 to -4.47‰. Towards the top of the carbonate succession, the isotopic data disclose strong positive values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ that varies between +9‰ and +14.77‰. This carbonate succession corresponds to the Lagoa do Jacaré Formation. The $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ isotopic are negative varying from -3.62 to -9 ‰, being strongly controlled by the carbonate and clastic constituent ratio.

The potential of the region for hydrocarbon production is limited to thermo chemical gas occurrences, due to the advanced history of burial that does not allow the oil preservation. The potential to formation of economic amounts of gas is considered low and the exploration risk is very high.

Keywords: C and O isotopes, Bambuí Group, carbonate rocks, petroleum system.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

As rochas carbonáticas são formadas em diversos tipos de plataformas e modificadas por processos diagenéticos desde precoces até muito tardios. Dentre os processos diagenéticos modificadores destacam-se: micritização, dissolução, recristalização e cimentação e, mais raramente, dolomitização.

Para a melhor compreensão das condições deposicionais, paleogeográficas e diagenéticas das rochas carbonáticas foram realizados estudos de mapeamento geológico, descrição de litofácies, análises faciológica e estratigrafia isotópica com uso de isótopos estáveis de carbono e oxigênio. A aplicação deste conjunto de ferramentas foi muito importante para avaliação das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí na região estudada.

A Bacia do São Francisco (BSF), localizada na região do Brasil central, com área total de 354.800 km², de idade proterozóica, apresenta potencialidade petrolífera nas rochas carbonáticas que constituem o Grupo Bambuí (Babinski & Takaki 1987, Braun 1988, Fugita & Clark Filho 2001). Neste contexto, as unidades litoestratigráficas mais promissoras para conter hidrocarbonetos gerados em calcários ricos em matéria orgânica são observadas na Formação Lagoa do Jacaré. Estudos de Fugita & Clark Filho (2001) comprovaram a presença de gás durante a perfuração do poço 1-RC-1-GO, situado na região de Alvorada do Norte, porém o poço não apresentou viabilidade econômica.

O Grupo Bambuí se encontra depositado, pelo menos em parte, em uma bacia do tipo *foreland*, gerada por dobramentos, cavalgamentos e sobrecarga tectônica durante a orogênese brasileira (Alkmin & Martins-Neto 2001). Desta evolução resultou a Faixa Brasília ao longo da margem oeste do Cráton São Francisco, após colisões arco-contidente e continente-contidente ocorridas no intervalo entre 800 Ma e 600 Ma (Pimentel *et al.* 2000).

A tectônica compressional do ciclo Brasileiro provocou o soergimento da Faixa Brasília à superfície, expondo a cobertura sedimentar neoproterozóica da Bacia do São Francisco, sendo o Grupo Bambuí o mais representativo na área de pesquisa.

A área escolhida para o estudo (Figura 1.1) é a região de Alvorada do Norte, nordeste do estado de Goiás, que compreende parte de cinco municípios: Alvorada do Norte, Simolândia, Buritinópolis, Mambaí e Damianópolis. O acesso ao local, a partir de Brasília é efetuado pela BR-020, em direção a cidade de Alvorada do Norte e Simolândia. A partir de Simolândia percorrendo aproximadamente 4 km, encontra-se o trevo da GO-236. Seguindo a

GO-236 por 5 km encontra-se a cidade de Buritinópolis. Ainda na direção nordeste a 46 km de Buritinópolis está localizada a cidade de Mambai. O Acesso a Damianópolis se dá pela GO-108 em direção ao sul e está a 18 km da cidade de Mambai. O acesso a outras localidades da área de estudo se faz por estradas secundárias não pavimentadas.

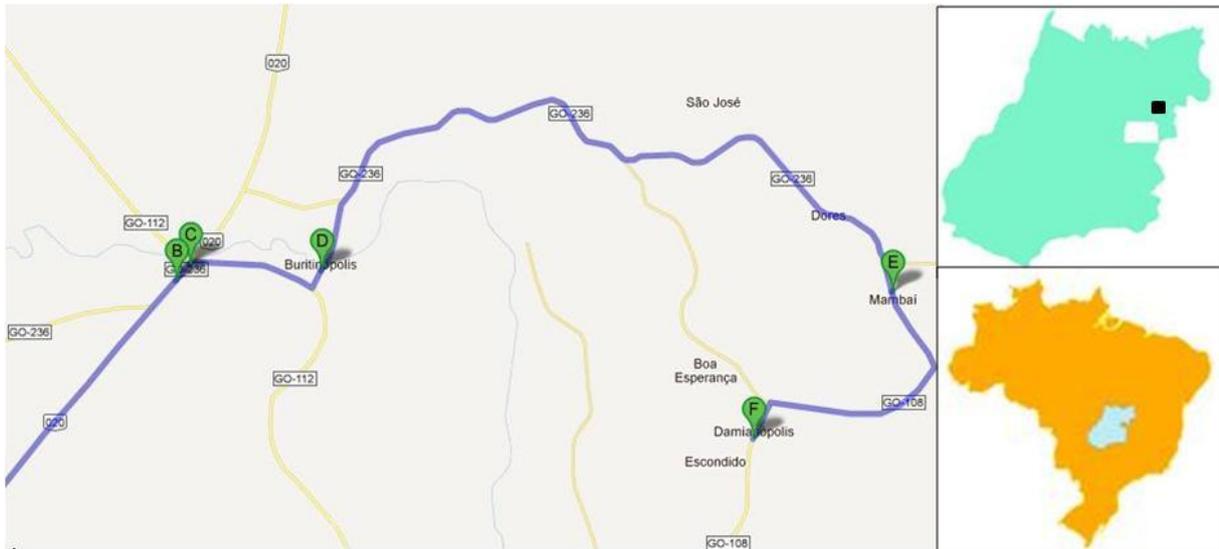


Figura 1.1 - Localização da área de estudo. B= Alvorada do Norte; C= Simolândia; D= Buritinópolis; E= Mambai; F= Damianópolis. (Quadrado preto = região de Alvorada do Norte).

1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo desta pesquisa foi estudar em detalhe, as unidades carbonáticas do Grupo Bambuí na região de Alvorada do Norte com ênfase na estratigrafia isotópica e condições de deposição.

Para alcançar o objetivo pretendido foi necessário considerar as seguintes metas:

- Detalhar a descrição das fácies carbonáticas e aplicar análise de associação de fácies com ênfase nas sucessões carbonáticas;
- Determinar a espessura do Grupo Bambuí na região de estudo;
- Realizar estudo da estratigrafia de isótopos estáveis de Carbono e Oxigênio, para identificar diferentes eventos deposicionais e diagenéticos ocorridos nos carbonatos do Grupo Bambuí. Também, as informações isotópicas possibilitou melhor entendimento das variações faciológicas e a importância de construções algais na deposição dos calcários;
- Detalhar os sistemas deposicionais das formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade, caracterizando a litoestratigrafia da base do Grupo Bambuí na área de estudo;

- Caracterizar as rochas carbonáticas a partir do estudo petrográfico, definição de fácies e análise faciológica;
- Avaliar o potencial do sistema petrolífero na região.

1.3 JUSTIFICATIVA

Apesar do grande número de estudos sobre o Grupo Bambuí, a região de Alvorada do Norte ainda tem restrito conhecimento (principalmente sobre os carbonatos).

Portanto, a principal justificativa para o desenvolvimento da seguinte pesquisa foi ampliar o conhecimento sobre o Grupo Bambuí na região nordeste do estado de Goiás.

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi iniciada a partir de levantamento bibliográfico e obtenção de imagens de sensores remotos, Landsat/ TM-5 (WGS/ PTO: 220/ 70) e SRTM, com objetivo de avaliar e caracterizar o contexto regional e geomorfológico da região.

Foi utilizada a imagem do sensor multiespectral Landsat/TM, obtida em 27 de julho de 2009, com a seguinte divisão de bandas espectrais: 1, 2 e 3 (região do visível), banda 4 (região do infravermelho próximo) e bandas 5 e 7 (região do infravermelho médio). Foram geradas composições coloridas resultantes da aplicação de ampliação linear de contraste, como, por exemplo, RGB/ 542, que se mostrou adequada para aplicações em cartografia geológica.

Além da composição colorida foram aplicadas outras técnicas de processamento sobre a imagem Landsat/ TM como ilustrado no fluxograma da Figura 1.2.

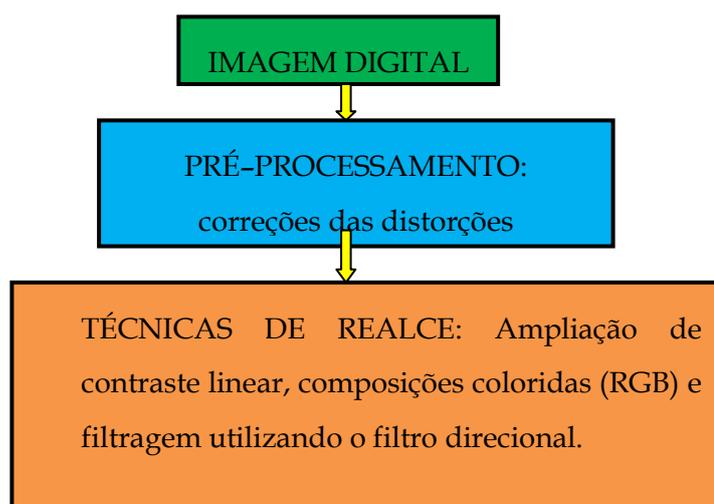


Figura 1.2 - Fluxograma do tratamento da imagem Landsat/TM.

Os trabalhos de campo consistiram principalmente do levantamento de seções de rochas carbonáticas nas proximidades da região de Alvorada do Norte expostas ao longo da rodovia BR-020, na pedreira da empresa Britacal, no paredão próximo ao córrego das dores, além de seções em estradas secundárias totalizando 20 seções de detalhes das quais 10 foram utilizadas para ilustrar o presente trabalho.

As seções verticais de detalhe foram levantadas nas escalas de 1:150 a 1:200. Quando possível as espessuras das seções foram medidas e em outros casos foram estimadas.

As seções ao longo da rodovia BR-020 estão empilhadas lateralmente, com espessura individual máxima de 5 metros.

A seção da pedreira da empresa Britacal (PB) possui no total 42.7 metros e está localizada a nordeste da área de pesquisa como mostra a Figura 2.4.

No levantamento da seção vertical do paredão córrego das Dores (PCD), com total de 57.5 metros, foi feita uma amostragem detalhada de meio em meio metro das diferentes litofácies das unidades carbonáticas do Grupo Bambuí. Para a realização dessa amostragem foi necessário utilizar a técnica de *rapel* por um profissional contratado, e que foi acompanhado e monitorado visualmente (Figura 1.3).

Para a caracterização das fácies serão avaliados parâmetros como: tipo e tamanho dos componentes aloquímicos, tipo de porosidade, tipo de contato entre os grãos, entre outros. Também, os processos diagenéticos serão identificados com ênfase nos processos de cimentação, compactação, dissolução e recristalização.

A base cartográfica utilizada no campo foi a imagem de sensoriamento orbital Landsat/TM 5, obtida do site do INPE. Os caminhamentos foram efetuados e distribuídos em toda área, tendo sido percorridos, em sua maioria de carro. Em outros casos pequenos caminhamentos foram realizados fora do eixo de estradas. O procedimento padrão executado nos pontos consistiu em registro do ponto em GPS (precisão média de 6 metros), descrição geológica, obtenção de imagens e coleta de amostras.

Os estudos de isótopos estáveis foram conduzidos em seções integradas ou contínuas de fácies carbonáticas, com avaliação do $\delta^{13}\text{C}$ e do $\delta^{16}\text{O}$. Detalhes sobre a metodologia são apresentados no item especificamente dedicado a esta matéria.

Para a análise de microscopia ótica foram confeccionadas e descritas 12 lâminas delgadas da área do estudo no laboratório de microscopia da Pós Graduação do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.



Figura 1.3 - Levantamento da seção vertical do paredão córrego das Dores (PCD).

As análises de isótopos estáveis de Carbono e Oxigênio foram realizadas pelo espectômetro de massa de fonte gasosa Delta V, na qual utilizou-se o equipamento Gas Bench II (online).

1.5 Referencial Teórico da Sedimentação Carbonática

O ambiente deposicional constitui uma entidade geográfica natural onde ocorre a acumulação de sedimentos. A sedimentação carbonática pode ser considerada como produto de interação entre três parâmetros: físicos, químicos e bioquímicos.

a) Parâmetros físicos: associados aos mecanismos de erosão e acumulação dos sedimentos carbonáticos previamente depositados sob a ação de ondas e correntes de marés.

Estes processos não envolvem erosão a partir de uma área fonte, mas ocorrem na própria plataforma carbonática.

b) Parâmetros químicos: precipitação química de carbonatos em condições favoráveis de pH, óxido-redução, temperatura, pressão parcial de CO_2 , solubilidade, dentre outros.

c) Parâmetros bioquímicos: precipitação de CaCO_3 a partir de processos de construção e aglutinamento de organismos bioconstrutores (corais, briozoários, etc.), atividade orgânica para secretar exoesqueletos, além do próprio metabolismo de invertebrados marinhos, algas e cianobactérias.

1.5.1 Planície de maré

A planície de maré ocorre em regiões protegidas ao longo da costa, onde a ação de ondas é insignificante. Shinn (1986) caracteriza as oscilações das marés sobre a linha de costa em três subambientes da compartimentação de planície de maré: supramaré, intermaré e inframaré.

A zona de supramaré é aquela situada acima do nível da maré alta normal. Este ambiente é permanentemente exposto e, periodicamente, inundado por maré de tempestades ou marés de sigízia.

Shinn *et al.* (1986) caracterizam a zona de supramaré pelas seguintes estruturas: laminação horizontal, cruzada e ondulante, gretas de ressecamento, pseudomorfos de cubos de sais, estruturas algais e intraclastos em forma de brechas intraformacionais ou lamelares.

O ambiente de intermaré é aquele situado entre as marés alta e baixa normais, portanto permanece ora emerso ora submerso. Esta zona é muito favorável para a formação de espessos pacotes de calcarenito oolítico constituindo as conhecidas barras de oólitos (ou *shoals*), que funcionam como barreiras separando as fácies de supra e inframaré.

O subambiente de inframaré inclui sedimentos depositados no mar adentro e nos canais de maré do próprio sistema, portanto, permanentemente abaixo da maré baixa.

Os depósitos de inframaré são diferenciados em duas possíveis situações: as lagunas carbonáticas e as rampas carbonáticas. No caso de plataformas com barreira, a laguna constitui o principal ambiente de sedimentação e é caracterizada pela sua grande diversidade fóssilífera e pela presença de laminações algais, com grande atuação de processos diagenéticos de substituição, como a dolomitização. Em relação a plataforma sem barreira, as rampas carbonáticas são diretamente influenciadas pela ação de ondas de tempestade representado por depósitos com estruturas *hummocky*, níveis de brechas tempestíficas e oólitos trazidos em suspensão pelas correntes de tempestade.

1.5.2 Plataformas

Tucker & Wright (1990) propõem cinco grandes tipos de plataformas carbonáticas em função da sua morfologia:

a) A plataforma com barreira (*rimmed-shelf*) - é uma plataforma de águas rasas com uma forte mudança de inclinação para águas mais profundas. Recifes e biohermas são situados na borda de plataforma, nas áreas de maior energia que limitam a circulação da água na laguna. Ao longo da linha de costa, dependendo da energia e da influência das marés podem-se desenvolver planícies de maré ou complexos praia-barreira;

b) Rampa carbonática (*homoclinal ramp*) - é uma superfície suavemente inclinada que geralmente tem uma linha de costa de alta energia ou rampa interna que passa até zonas mais externas a águas profundas mais tranquilas afetadas periodicamente por tempestades. Nas zonas próximas à linha de costa podem se desenvolver complexos praia-barreira/ planícies de maré-delta com laguna;

c) Plataforma epirogênica (*epeiric platform*) - são áreas cratônicas muito extensas e relativamente planas que estão cobertas por um mar raso. Na margem da plataforma a inclinação pode ser muito suave (tipo rampa) ou abrupta. Dentro da plataforma pode apresentar bacias de águas profundas contornadas por rampas homoclinais e plataformas com bordas. Plataformas epirogênicas são dominadas pelos sedimentos de baixa energia e depositados em contexto de supramaré a intermaré. Neste caso o relevo da porção continental tende a ser arrasado;

d) Plataforma isolada - consistem de águas rasas com margens abruptas cercadas de águas profundas. O tamanho dessa plataforma é muito variado e a sua distribuição de fácies é muito controlada pelas direções dos ventos dominantes e pelas tempestades. As margens destas plataformas podem ser do tipo rampa ou com presença de barreira;

e) Plataformas inundadas (*drowned*) são no geral plataformas que sofrem rápida ascensão do nível do mar, de maneira que as fácies de águas profundas se depositam sobre as fácies de águas mais rasas.

Além da proposta de Tucker & Wrigth (1990), há ainda a possibilidade de ocorrência de plataformas mistas em que a deposição de carbonatos se dá simultaneamente com sedimentos terrígenos. Neste caso, o controle da paleogeografia de fundo da bacia deve desempenhar papel relevante na sedimentação.

1.5.3 Processos diagenéticos

Os processos diagenéticos mais importantes que atuam de forma mais comum em rochas carbonáticas são: micritização, cimentação, recristalização, compactação, dissolução, dolomitização e silicificação.

1.5.3.1 Compactação

Os processos de compactação podem ser subdivididos em duas categorias: mecânicos (ou físicos), e químicos, sendo estes comuns em rochas carbonáticas (Bathurst 1986). A compactação mecânica começa a atuar logo após a deposição do sedimento, enquanto a compactação química engloba a dissolução de minerais sob pressão.

A compactação mecânica produz, entre outros efeitos, empacotamento, fraturamento e rotação de grãos, além de apresentar uma redução considerável de espessura em sedimentos lamosos, por perda de água. A compactação sempre leva à redução da porosidade.

As texturas mais comuns resultantes da compactação química são os estilólitos e os filmes de dissolução. Estilólitos são estruturas proeminentes em muitos carbonatos e correspondem a uma interface serrilhada entre duas massas de rocha, com uma aparência suturada em seção transversal. Em geral a amplitude da sutura é maior do que o diâmetro dos grãos. Os filmes de dissolução são lâminas onduladas de resíduos insolúveis, para os quais faltam as distintas suturas dos estilólitos. Em geral os filmes de dissolução ocorrem entre os grãos, e não os cortando, apresentando forma anastomosada (estas estruturas são mais comuns em carbonatos argilosos). Em alguns casos cristais de dolomita se formam ao longo de filmes de dissolução.

1.5.3.2 Micritização

Em geral o processo de micritização ocorre de diferentes maneiras, como atividade de bioturbação por microrganismos (em condições eodiagénéticas), por segregação diagenética ou pode resultar da abrasão de carbonatos preexistentes (Folk 1962).

Este processo ocorre geralmente nas bordas dos grãos, mas se o processo é muito intenso pode gerar grãos totalmente micritizados (Scholle 1978, Tucker & Wright 1990). Em alguns casos, grãos aloquímicos originalmente classificados como oóides podem ser erroneamente interpretados como intraclastos, quando o processo de micritização for intenso.

Micrita ou calcário microcristalino refere-se apenas a carbonatos primários de granulometria equivalente a argila, compostos por cristais com dimensões entre 1µm e 4µm.

Rochas compostas por cristais maiores que 5µm não devem ser denominadas micríticas e quando os cristais têm dimensões situadas entre 5µm e 15µm, utiliza-se o termo microesparito (Folk 1959).

1.5.3.3 Cimentação

A cimentação das rochas carbonáticas tem como principais minerais a aragonita, calcita magnesiana, calcita com baixo teor de magnésio e dolomita, cada qual ocorrendo em ambiente diagenético determinado e com forma cristalográfica específica. É um dos principais processos diagenéticos que afetam as rochas carbonáticas e ocorre a partir da precipitação química em cavidades pré-existentes nos sedimentos ou rocha (Harris *et al.* 1985, Tucker & Wright 1990).

A mineralogia dos cimentos depende da química da água, particularmente da pressão de CO₂, da razão Mg/Ca e do *input* de carbonato. Geralmente os cimentos dividem-se, com base na sua textura, em duas grandes categorias: 1 - aqueles que tendem a contornar a superfície dos poros (de maneira contínua ou descontínua) e 2 - aqueles que tendem a preencher completamente os poros.

Os cimentos do tipo 1 tendem a ser relativamente precoces e incluem muitas variedades texturais: cimentos em menisco (descontínuos, concentrados nos contatos entre os grãos), microestalactínicos (descontínuos, também conhecidos como gravitacionais), sintaxiais (em continuidade ótica com o seu suporte), fibrosos, em paliçada, dentre outros.

Quando estes cimentos contornam poros intergranulares são denominados circumgranulares (Moore 1989). Os cimentos do tipo 2 geralmente são posteriores aos do tipo 1 e sua feição textural característica é o mosaico, formado por cristais anedrais-subedrais, como consequência do seu crescimento competitivo. Os mosaicos formados por cristais cujos tamanhos são similares entre si denominam-se equidimensionais. Os tipos de cimento tipo 2 mais frequente são:

a) cimento do tipo drusa (ou drusiforme) é um cimento no qual o tamanho dos cristais de um mosaico vai aumentando progressivamente desde as paredes do poro até o centro da cavidade.

b) Cimento poiquilotópico (ou sintaxial) é quando os cristais de um mosaico são tão grandes que englobam aos grãos aloquímicos do arcabouço.

c) Cimento em blocos são cristais grossos de calcita, não alongados, os quais aparecem como cimento em cavidades.

d) Cimento prismático consiste em cristais grossos e alongados de calcita, os quais delineiam cavidades ou ocorrem sobre cimento marinho fibroso e bioclastos. Este cimento ocorre provavelmente em fase inicial de soterramento (Choquette & James 1987).

e) Cimento equidimensional, quando o tamanho e forma dos cristais do mosaico formado são similares entre si.

1.5.3.4 Dissolução

Dissolução ocorre como resultado da passagem de fluidos subsaturados na fase carbonática. Os sedimentos carbonáticos são bastante susceptíveis à dissolução, levando à remoção de bioclastos, outros fragmentos esqueléticos e outros componentes aloquímicos e ao aumento de porosidade. Cimentos precoces também podem ser submetidos aos processos de dissolução. A dissolução por pressão é muito frequente em sedimentos carbonáticos,

apresentando faixas de estilólitos que podem reduzir a espessura original em até 40% (Suguoio 2003).

1.5.3.5 Silicificação

A silicificação, como a dolomitização, pode ocorrer durante a diagênese precoce ou tardia na forma de substituição seletiva de fósseis ou através do desenvolvimento de nódulos de *chert* e camadas silicosas. A sílica pode também ocorrer como cimento em alguns calcários, em que os principais tipos de sílica diagenética são: cristais de quartzo euédricos, microquartzo e calcedônia (Tucker 1992).

Este processo é comumente observado em sucessões carbonáticas interdigitadas a sedimentos terrígenos, sendo que neste caso os fluídos que migram a partir dos sedimentos clásticos resultam na silicificação das rochas carbonáticas.

1.5.3.6 Dolomitização

Além desta fase mineral ocorrer na forma de cimento, na maioria dos casos, a dolomita presente em rochas carbonáticas é originada por processos de substituição.

Embora a cristalização da dolomita represente uma reação espontânea, esta precipitação não ocorre diretamente a partir da água do mar. Moore (1989) explica a dolomitização no modelo de zona de mistura baseado na termodinâmica.

Segundo Blatt *et al.* (1980), a água do mar é supersaturada em relação ao íon Mg, e a razão pela qual a dolomita não se precipitar diretamente a partir da água do mar relaciona-se aos seguintes controles: fato de a solução ser diluída com relação ao magnésio e pela lenta taxa de cristalização (questão de cinética da reação). Folk & Land (1975) afirmam que para que ocorra a dolomitização a razão entre as atividades dos íons Mg/Ca deve ser aproximadamente de 1:1. Além deste controle deve haver condições de pH e de óxido-redução favoráveis.

1.6 Classificação das rochas carbonáticas

As rochas carbonáticas podem ser classificadas segundo diferentes proposta, dentre as quais se destacam as de: Folk (1959, 1962), Dunhan (1962) e Embry & Klovan (1971).

1.6.1 Classificação de Folk (Folk 1959 e 1962)

Os carbonatos são divididos com base no tamanho dos grãos aloquímicos e na composição dos seus grãos. Em relação ao tamanho dos grãos os carbonatos são classificados

em calcirrudito (maioria dos grãos > 2mm), calcarenito (maioria dos grãos entre 2 e 0,062 mm) e calcilutito (maioria dos grãos < 0,062 mm).

Atualmente o emprego da classificação de Folk segue o critério de aglutinação de prefixos na seguinte ordem: componente aloquímico + composição + componente ortoquímico + granulometria.

Os componentes aloquímicos incluem bioclitos, oóides (oncólitos e oólitos), pelóides e intraclastos com as seguintes terminologias: *bio* - grãos esqueléticos, *oo* - oóides, *pel* - pelóides e *intra* - intraclastos.

A composição é designada pelos prefixos *calci* quando calcítico ou *dol* quando as rochas foram dolomitizadas.

O ortoquímico é designado por *micr* ou *espar*, respectivamente quando ocorrer matriz micrítica ou cimento esparítico.

No caso do carbonato apresentar apenas o constituinte ortoquímico e ausência dos grãos utiliza-se o nome calcimicrito ou calcimicalutito.

1.6.2 Classificação de Dunham (1962)

As rochas carbonáticas foram divididas com base na sua textura em: *grainstone* (grão suportado sem micrita), *packstone* (grão suportado com micrita), *wackestone* (grão flutuando na matriz micrítica) e *mudstone* (lama carbonática suportada com menos de 10% de grãos aloquímicos). A evidência de trapeamento de sedimentos durante a deposição do carbonato caracteriza o *boundstone*.

1.6.3 Classificação de Embry & Klovan (1971)

Utiliza basicamente a classificação de Dunham (1962), com modificações e acréscimos, em especial no que se refere a calcirruditos e a bioconstruções.

Estes autores consideram calcirruditos aquelas rochas com mais de 2% dos seus componentes com dimensões maiores que dois milímetros, podendo ser sustentados pela matriz micrítica, *floatstones*, ou sustentados pelos aloquímicos, denominados *rudstones*.

Em relação a bioconstruções em que os componentes originais formam camadas durante a deposição pela construção de esqueletos de organismos cimentados organicamente são denominados de *boundstone*.

No presente trabalho será adotada a classificação do Folk em conjunto com a classificação de Dunham. Nos casos em que ocorreu intensa recristalização das rochas carbonáticas, dificultando dessa forma a identificação da matriz e de alguns componentes aloquímicos, empregou-se apenas a classificação do Embry & Klovan.

1.7 Organização do Trabalho

Os resultados desta pesquisa foram apresentados em 6 capítulos. O **Capítulo I** refere-se à Introdução, consta de uma breve apresentação, da localização, objetivos, justificativa, métodos e por fim, o referencial teórico sobre sedimentação carbonática. O **Capítulo II** traz a geologia da área de pesquisa em seu contexto regional e local.

A estratigrafia isotópica de carbono e oxigênio é apresentada no **Capítulo III**. O **Capítulo IV** é referente a integração dos dados e breves discussões. No **Capítulo V** é apresentado o potencial petrolífero da porção estudada da bacia, incluindo discussões sobre possíveis *plays* para gás. Por fim o **Capítulo VI** refere-se à conclusões e recomendações da pesquisa.

CAPÍTULO II

GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA

2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área de estudo abrange parte da porção oeste da Bacia do São Francisco, onde afloram rochas neoproterozoicas pertencentes ao Grupo Bambuí (Supergrupo São Francisco) (Figura 2.1).

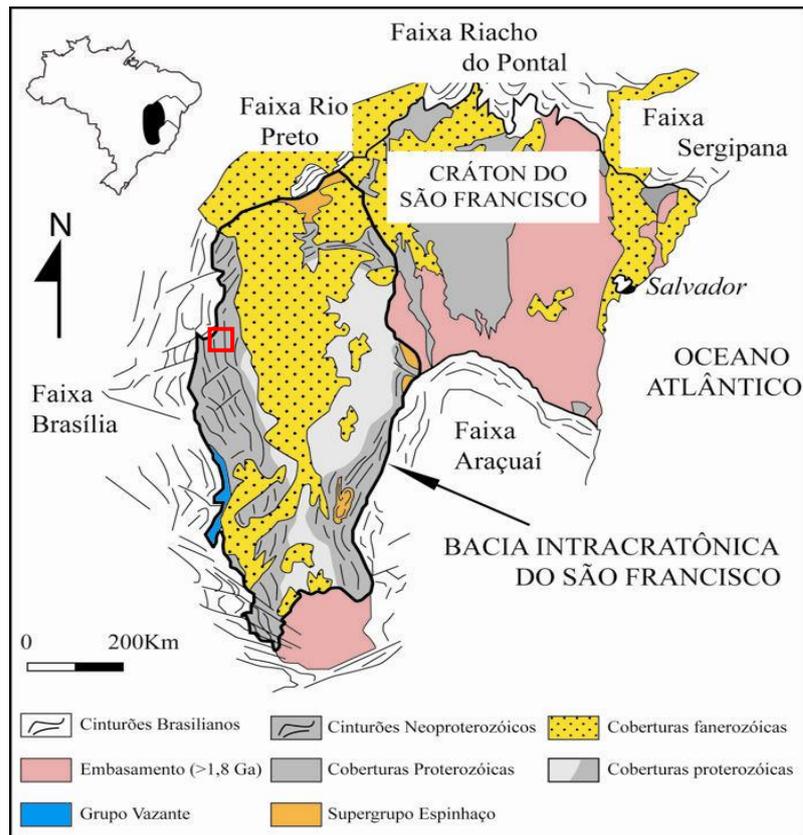


Figura 2.1 - Arcabouço geológico e distribuição da Bacia do São Francisco no cráton homônimo. A localização da área de estudo é evidenciada pelo quadrado vermelho. Modificado de Alkmim (2004).

2.1.1 Evolução dos Conceitos

Os primeiros registros geocientíficos, relatados no século XIX, da área ocupada pelo Grupo Bambuí, constituem no geral, roteiros de viagens efetuadas por naturalistas e geocientistas, onde são descritos os aspectos geológicos, geográficos, climáticos e botânicos da região percorrida.

Um dos primeiros trabalhos de cunho geológico foi o de Von Eschwege (1832, *in* Costa *et al.* 1970), que descreveu, na cachoeira de Pirapora, uma formação arenosa, essencialmente horizontal, superposta a xistos argilosos a qual denominou de "Arenito Pirapora". A sequência de calcários, xistos e arenitos que ocorre na região foi por ele considerada como pertencente aos Terrenos de Transição 'Übergangsgebirge', sendo essa a

primeira designação estratigráfica aplicada ao Grupo Bambuí (Eschwege 1833, *in* Costa *et al.* 1970).

Derby (1880, *in* Lima 2005), em seu "Reconhecimento Geológico do Valle do Rio São Francisco", utiliza a expressão "Série de São Francisco", posteriormente modificado por Rimann (1917, *in* Lima 2005) para Série Bambuí caracterizando sequências pelíticas e carbonáticas, situadas nos arredores da cidade de Bambuí.

Costa & Branco (1961) foram os primeiros que estabeleceram uma divisão litoestratigráfica de âmbito regional para a "Série" (Grupo) Bambuí, quando da elaboração da seção estratigráfica entre Belo Horizonte e Brasília. Dividiram a Série nas formações Carrancas, Sete Lagoas e Rio Paraopeba, esta última composta pelos membros Serra de Santa Helena (base), Lagoa do Jacaré, Três Marias e, no topo, Serra da Saudade.

Barbosa (1965, *in* Braun 1988) engloba as formações Samburá e Paranoá e propõe o nome Serra Gineta para a Formação Serra de Santa Helena. Deve-se a Almeida (1967), a classificação da "Série Bambuí" na categoria de grupo.

Oliveira (1967) efetuou perfis regionais em Minas Gerais, Bahia e Goiás e estabeleceu uma subdivisão em cinco formações, da base para o topo: Formação Vila Chapada (conglomerados e pelitos), Formação Sete Lagoas (calcários), Formação Serra de Santa Helena (pelitos), Formação Lagoa do Jacaré (calcários e pelitos) e Formação Três Marias (arcóseos e pelitos).

Braun (1968, *in* Braun 1988), divide o Grupo Bambuí em três formações: Paranoá (incluindo Fácies Carrancas), Paraopeba (incluindo Fácies Sete Lagoas, Lagoa do Jacaré, Serra de Santa Helena e Samburá) e Três Marias.

Dardenne (1981) dividiu a sequência sedimentar Bambuí em três magacilos regressivos em uma sucessão tipo *shallowing upward*, depositados em ambiente marinho raso, de plataforma epéirica. Os megacilos regressivos iniciaram-se com uma rápida transgressão de fácies marinha sublitorâneas, passando progressivamente para fácies marinhas litorâneas e supralitorâneas, tendo a Formação Três Marias atingida pelas fácies fluviais continentais.

Em sua classificação litoestratigráfica caracterizou seis formações, da base para o topo: Jequitaiá, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias (Tabela 2.1).

Braun (1988) descreve a Formação Paraopeba na categoria de subgrupo que é constituída pelas formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade, representando assim um conjunto basal discriminado da Formação Três Marias que está sobreposta a este subgrupo.

Nobre-Lopez (1995) desenvolveu um trabalho de reconhecimento de fácies nas rochas carbonáticas de Arcos e Pains, na região sudoeste da bacia. Foi identificada uma plataforma carbonática regressiva, com fácies calcarenitos com hummocky na base, passando para fácies depositadas por influência de marés, com estromatólitos de águas rasas.

Uhlein *et al.* (2004) apresentaram um roteiro geológico regional, na porção meridional da Bacia Bambuí, com ênfase na caracterização das diversas litofácies e sistemas deposicionais relacionados a evolução geológica do Grupo Bambuí.

Tabela 2.1 - Divisão litoestratigráfica do Grupo Bambuí, baseado em Dardenne (1978, 1981) e ambientes de sedimentação. Modificado de Lima (2005).

Formação	Características litológicas	Espessura (m)	Sequência	Ambientes de sedimentação
Três Marias	Siltitos, arenitos e arcóseos cinzas a verde-escuros.	~100	Megaciclo III (argiloarenosa).	Ambiente Fluvial. Ambiente marinho a litorâneo. Ambiente marinho litorâneo agitado submetido à influência das ondas e correntes de maré, exposição subaérea temporária nas zonas intermarés.
Serra da Saudade	Folhelhos, argilitos e siltitos verdes, com lente de calcário subordinadas.	25-200		
Lagoa do Jacaré	Calcários oolíticos e psolíticos, cinza escuros, fétidos, siltitos e margas.	0-100	MegacicloII (argilocarbonatada).	Ambiente marinho litorâneo, agitado submetido à influência das ondas e correntes de maré.
Serra de Santa Helena	Folhelhos e siltitos cinza a cinza esverdeados.	220-150		
Sete Lagoas	Calcários dolomíticos e calcários microcristalinos finamente laminados, de cor cinza. Dolomitos beges litográficos, laminados com intraclastos, oólitos e estromatólitos colunares.	250-200	Megaciclo I (argilo carbonatada).	Água profunda Ambiente marinho sublitorâneo, abaixo do nível de base das ondas e correntes de maré, profundidade moderada.
Jequitaí	Paraconglomerado com matriz argilosa esverdeada e seixos de quartzitos, calcários, dolomitos, cherts, gnaisses, micaxistos, granitos e rochas vulcânicas.	0-20		Ambiente glacial.

2.1.2 Estratigrafia

A Bacia do São Francisco está inteiramente contida no Cráton do São Francisco, que possui como principais unidades litoestratigráficas aflorantes o Supergrupo Espinhaço, o Supergrupo São Francisco, o Grupo Santa Fé e os sedimentos cretáceos dos grupos Areado, Mata da Corda e Urucuia (Figura 2.2).

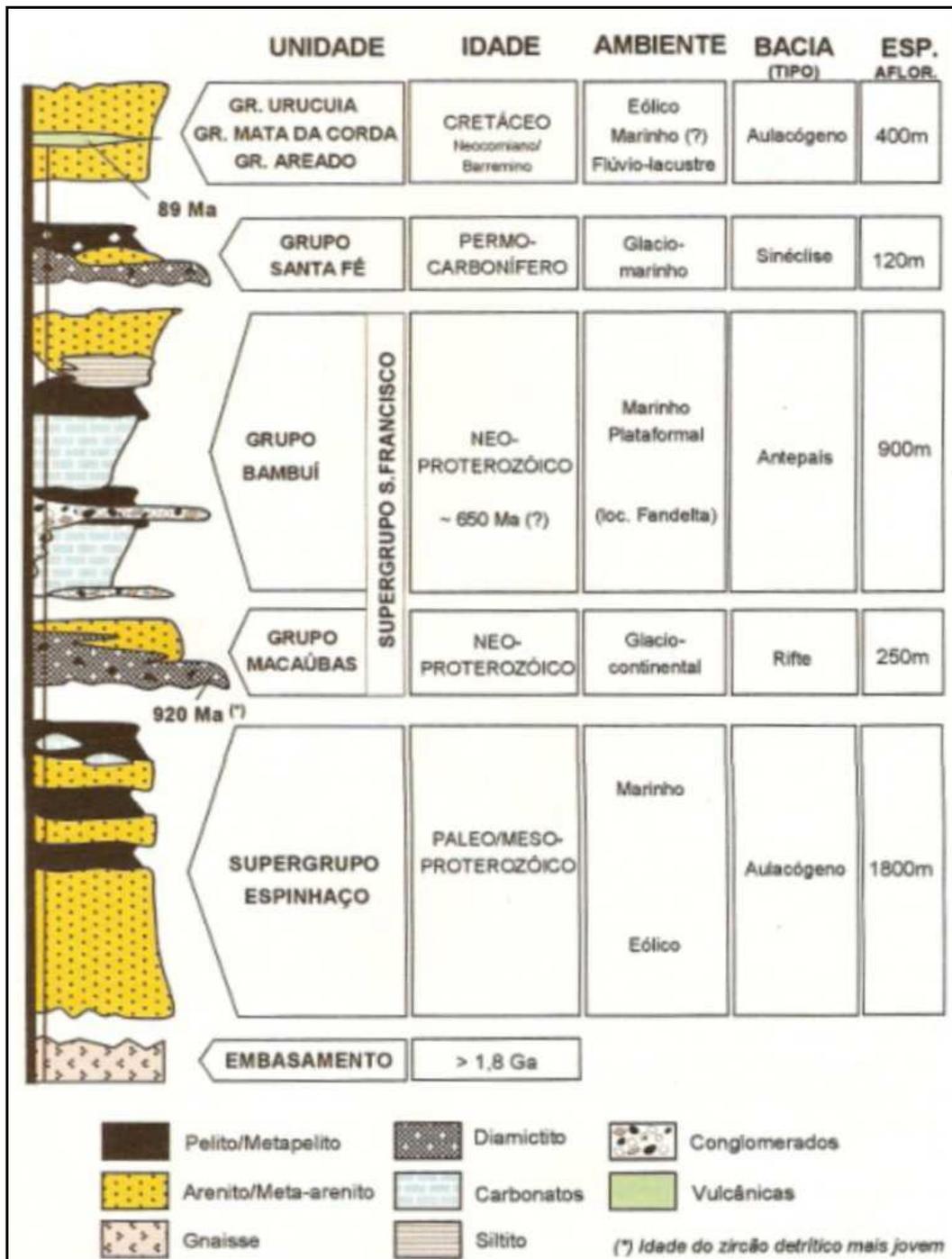


Figura 2.2 - Coluna estratigráfica simplificada da Bacia do São Francisco. (Modificado de Alkmim 2004).

Embasamento

É constituído por rochas granito-gnáissicas e traços tectônicos mais velhos que 1,8 Ga que afloram ao sul da Bacia do São Francisco (Alkmim & Martins Neto 2001) e na porção central do Cráton (nas regiões de São Domingos, GO e Correntina, BA).

Os dados de refração sísmica indicam que a parte rasa do embasamento da Faixa Brasília (zona externa e eixo metamórfico) e oeste do cráton do São Francisco são semelhantes, com velocidade de 5,90 - 6,0 km/s para o embasamento (Soares *et al.* 2006).

Supergrupo Espinhaço

Na Bacia do São Francisco, cuja distribuição do Supergrupo Espinhaço, é restrita ocorre apenas nas Serras do Cabral e da Água Fria, em Minas Gerais. Essa distribuição tem como unidade mais representativa a Formação Galho do Miguel, constituída de quartzitos de origem eólica, na Serra do Cabral (Alkmim & Martins Neto 2001).

Grupo Macaúbas

O Grupo Macaúbas está disposto discordantemente sobre o Supergrupo Espinhaço.

Esta unidade é composta por quartzitos e sedimentos conglomeráticos, passando para grauvacas, com a presença de tilitos, filitos e xistos verdes (Dardenne & Walde 1979).

Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí corresponde a uma sequência de rochas carbonáticas alternadas com terrígenos, depositados em ambiente de sedimentação exclusivamente marinho.

A idade da deposição é considerada neoproterozóico sendo obtida a partir de análises de estromatólitos colunares presentes em dolomitos e a partir de estudos de geoquímica isotópica. Estes estudos fornecem idades de deposição no intervalo compreendido entre 750 a 600 Ma. (Babinski *et al.* 1999, *in* Alkmim & Martins-Neto 2001). O Grupo Bambuí foi afetado pela deformação associada à orogênese Brasiliana, e em alguns locais apresenta metamorfismo incipiente.

Formação Sete Lagoas

Na Faixa Brasília as litologias constituintes dessa formação compõem uma sucessão predominantemente de margas e pelitos onde aparecem lentes carbonáticas (calcários e dolomitos) de diferentes dimensões. As fácies carbonáticas são predominantes e ocorrem em espessas camadas contínuas na região cratônica estável de Januária, Itacarambi, Moltalvânia no estado de Minas Gerais e na Serra do Ramalho, no estado da Bahia (Dardenne & Walde 1979).

Formação Serra de Santa Helena

Definida por Braun, 1988 é representada por siltitos cinza e esverdeados, margas, folhelhos pretos, lentes e lâminas calcáreas. Em algumas áreas de ocorrência esta unidade apresenta-se rica em muscovita detrítica que acumula no plano de acamamento. Também podem ocorrer de forma local, camadas de arenitos líticos muito finos e grauvacas líticas ricas em illita.

Formação Lagoa do Jacaré

Carateriza-se esta unidade os calcarenitos, calcilitos, calcáreos microcristalinos negros e calcários sílticos que constituem a litologia na área central da bacia, sobretudo no estado de Goiás (Braun 1988). Localmente os calcáreos pretos apresentam odor fétido na superfície recém partida.

Formação Serra da Saudade

Definida por Branco & Costa (1961) é representada por siltitos e argilitos cinzas, intercalados por camadas mais arenosas, sendo estas de maior espessura no topo da formação, com truncamentos de camadas de baixo ângulo. No noroeste de Minas Gerais ocorrem siltitos maciços de cor esverdeada, os quais são denominados de “verdetes”.

Formação Três Marias

Braun (1988) caracteriza esta formação como um conjunto de siltitos, grauvacas líticas e arcóseos com coloração que varia de verde a marrom-escuro, intercalados com siltitos calcíferos, siltitos argilosos, com predominância de arcóseos de granulometria fina a média.

Estruturas sedimentares como acamamento plano-paralelo, marcas onduladas, laminações cruzadas e *hummockys* são comumente observadas.

Grupo Santa Fé

O Grupo Santa Fé aflora na porção central da Bacia do São Francisco e é representado por depósitos de bases de geleiras, glácio-lacustres, fluvio-glaciais e pró-glaciais eólicos de idade Permo-carbonífera (Dardenne *et al.* 1990). O mesmo é constituído por diamictitos, arenitos heterogêneos (calcíferos e argilosos), folhelhos com seixos pingados e conglomerados com diferentes características.

Grupo Areado

As rochas do Grupo Areado assentam-se em discordância erosiva angular sobre o Grupo Bambuí ou sobre o Grupo Santa Fé caracterizando um hiato deposicional maior que 400 Ma. Sua sedimentação é típica de sistemas aluviais completos que associam com ambientes fluviais, lacustres e campos de dunas eólicas.

O Grupo Areado é dividido, da base para o topo, nas formações Abaeté (leque aluvial), Quiricó (lacustre) e Três Barras (flúvio-deltaico e eólico). Essas sequências apresentam correlação com outras unidades do Gondwana oriental, representadas pelo Sistema Continental Intercalar (Angola) e pela Série Lualaba (Zaire e Congo), de idade Eocretáceo (Chaves 1991).

Grupo Mata da Corda

As rochas do Grupo Mata da Corda encontram-se estratigraficamente dispostas sobre os sedimentos do Grupo Areado ou diretamente sobre as rochas neoproterozóicas do Grupo Bambuí, evidenciando assim uma discordância angular erosiva de âmbito regional. Estas rochas apresentam idade Neocretácia (cerca de 60 a 65 Ma.).

O Grupo Mata da Corda é composto por rochas vulcânicas e subvulcânicas alcalinas máficas e sedimentos vulcanoclásticos, respectivamente atribuídas as formações Patos e Capacete.

Grupo Urucuia

O Grupo Urucuia ocorre em uma calha com direção N-S, bordejada pelo Arco do São Francisco, faixas Brasília e Araçuaí / Espinhaço, onde se desenvolveu um deserto (Sgarbi *et al.* 2001). Assim, esta unidade constitui a unidade de maior distribuição geográfica na Bacia Sanfranciscana, alcançando mais de 600m, em sua porção meio-norte (Gaspar 2006).

Este grupo é composto essencialmente por arenitos e está dividido, da base para o topo, nas seguintes unidades: a) Formação Posse, caracteristicamente de clima árido, apresentando quartzo-arenitos e arcóseos em sequência tipo *red beds* e; b) Formação Serra das Araras, composta por arenitos, argilitos e conglomerados vermelhos depositados em planícies aluviais com contribuição eólica.

Formação Chapadão

A Formação Chapadão (Ladeira & Brito 1968) corresponde às coberturas de natureza detrítica e laterítica que ocorrem em amplas áreas recobrindo todas as rochas descritas anteriormente. Correspondem a colúvios, elúvios e alúvios arenosos, desestruturados, não coesos e sem cimentos.

A oeste da Serra Geral de Goiás esta unidade corresponde aos materiais arenosos espalhados a partir da erosão regressiva dos arenitos do Grupo Urucuia.

Estratigrafia do Grupo Bambuí

Estratigraficamente o Grupo Bambuí pertence ao Supergrupo São Francisco como definido por Pflug & Renger (1973).

O Grupo Bambuí é uma sucessão pelito-carbonática-arcoseana presente em toda a extensão da porção externa da Faixa Brasília e também compõe a ampla cobertura neoproterozóica do Cráton São Francisco.

A coluna estratigráfica proposta por Dardenne (1978) pode ser levantada em praticamente todas as áreas de ocorrência da sucessão Bambuí (Figura 2.3).

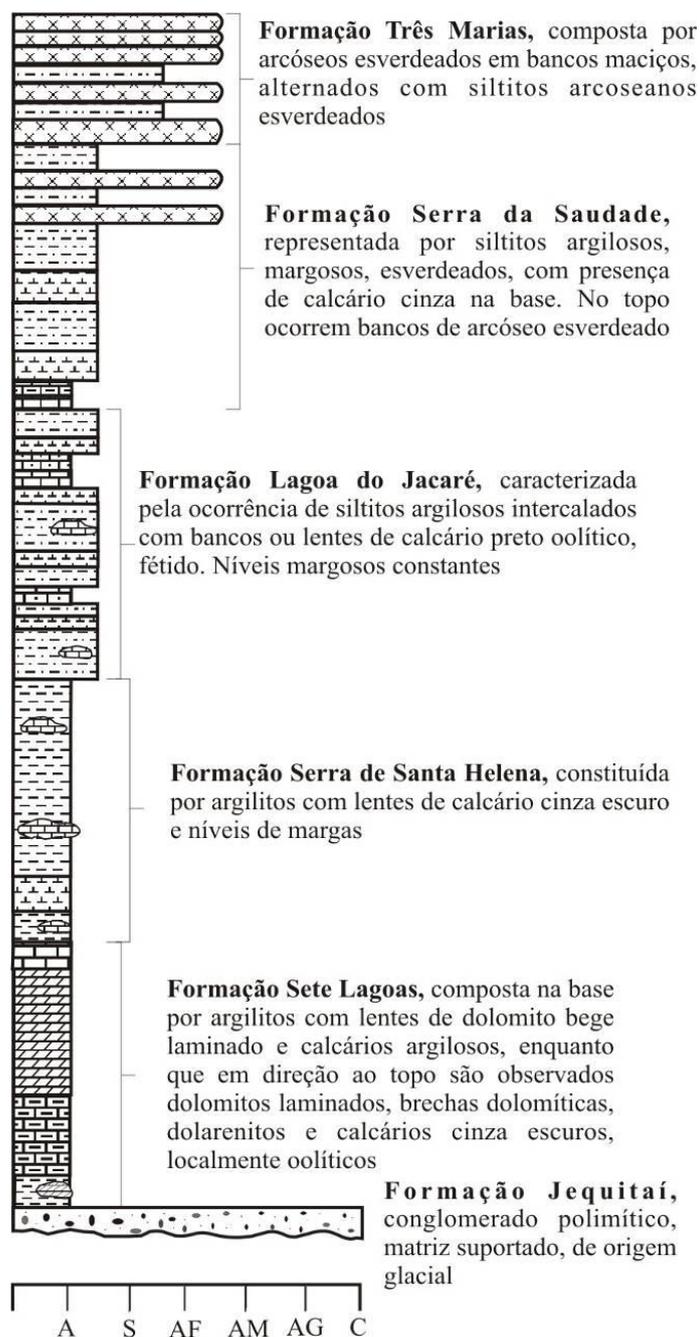


Figura 2.3 - Estratigrafia do Grupo Bambuí. (Segundo Dardenne 1978).

2.2 GEOLOGIA DA POLIGONAL ESTUDADA

Foi estudada uma área de 1944 km², (Figura 2.4) para a qual foram desenvolvidos 10 caminhamentos e descritos quase 292 pontos. A localização da área compreende as coordenadas UTM 380000/326000 Leste e 8390000/8424000 Norte. O Grupo Bambuí é a unidade mais representativa na região do presente estudo, ocupando cerca de 90% da área.

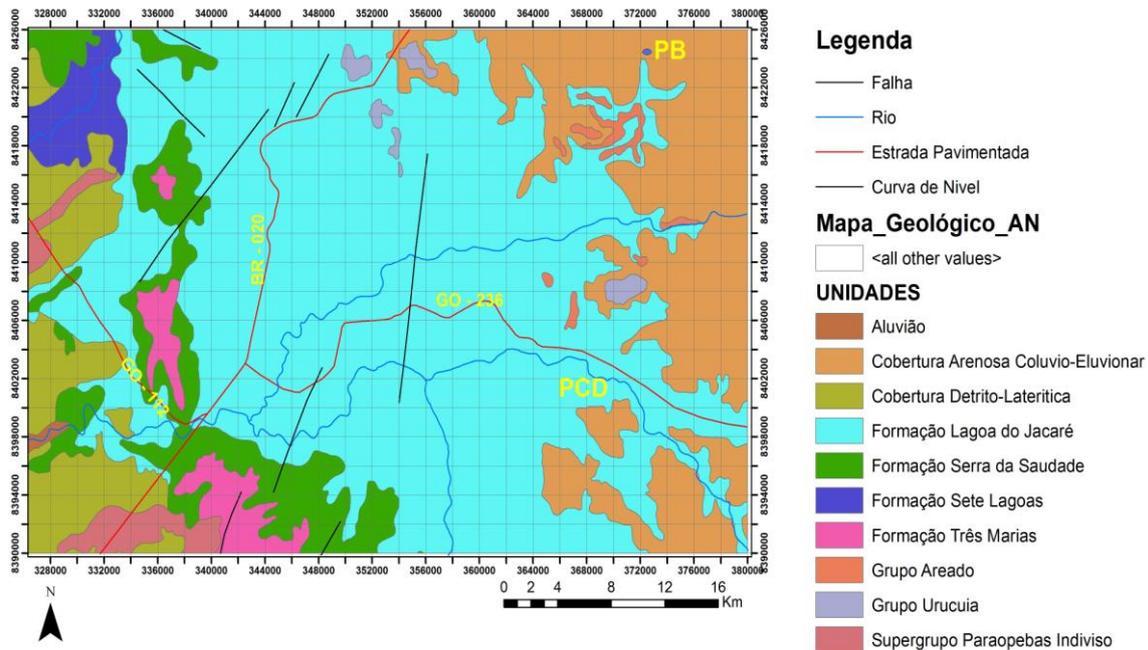


Figura 2.4 - Mapa geológico da região de Alvorada do Norte. (**PB** - Pedreira Britacal; **PCD** - Parredão Córrego da Dores). Modificado da carta geológica do Brasil ao milionésimo, Folha SD. 23.

O Grupo Bambuí representa o embasamento pré-cambriano das unidades fanerozóicas na porção norte da Bacia Sanfranciscana distribuída a leste da área em estudo.

A área apresenta razoável número de exposições rochosas, contudo, boa parte delas encontra-se com acentuado grau de alteração, sobretudo as rochas pré-cambrianas. Esse fato, porém, não prejudicou, sobremaneira, uma descrição segura das litologias devido à sua marcante estruturação e seu controle topográfico e geomorfológico. Foram descritos 292 pontos, sendo que sua descrição é apresentada em anexo.

As rochas calcáreas e pelíticas, ocorrem interdigitadas de modo repetitivo, o que causa dificuldades para atribuir determinados pacotes rochosos a uma formação. A forma mais adequada de se atribuir fácies ou associação de fácies a determinada formação é a partir do entendimento regional da estratigrafia e a partir da caracterização de litotipos com feições e estruturas diagnósticas.

Na região estudada predominam rochas neoproterozóicas pertencentes ao Grupo Bambuí, que compreende da base para o topo as formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias como observado na estratigrafia regional.

Os sedimentos do Grupo Bambuí são recobertos discordantemente pelos arenitos avermelhados finos a médios do Grupo Urucua. Além dos arenitos da Formação Posse ocorrem sedimentos arenosos de idade Neógena/Quaternária que capeiam as unidades supracitadas e são atribuídas à Formação Chapadão. Esta unidade é essencialmente composta por sedimentos arenosos inconsolidados de natureza detrítica e mais localmente laterítica.

A Formação Sete Lagoas é caracterizada pelos dolomitos e calcários micríticos com intercalações de lentes de margas. Estas rochas afloram somente na pedreira Britacal e representa uma porção muito pequena da área estudada de aproximadamente 1% área (Figura 2.5). A maior parte da área de ocorrência da Formação Sete Lagoas está recoberta pelas formações Posse e Chapadão.



Figura 2.5 - Dolomito apresentando laminação horizontal e tonalidade rosada típica desta fácies da Formação Sete Lagoas..

Os afloramentos da Formação Serra de Santa Helena são representados principalmente por folhelhos calcíferos, subordinadamente siltitos laminados e raramente litoarenito muito fino, muitas vezes são recortados por fraturas (Figura 2.6A e B). Petrograficamente observa-se em maior porção os minerais de quartzo e ocorrem fragmentos líticos argilosos com presença de cimento calcífero (Figura 2.6C).

Os calcários e os pelitos da Formação Lagoa do Jacaré representam as rochas mais abundantes da região de estudo. A estrutura sedimentar mais marcante é a estratificação plano-paralela (Figura 2.7A). Em alguns casos os calcários ocorrem com intercrescimento de materiais silicosos (Figura 2.7B), referente a processos de diagênese tardia. Este intercrescimento é representado por cristais alongados de sílica amorfa e calcedônia onde a matriz é totalmente cimentada. Ocorre a presença de clivagem estilolítica contornando os grãos carbonáticos (Figura 2.7C).



Figura 2.6 - (A) Folhelhos calcíferos laminados; **(B)** Siltitos apresentando fraturas E-W; **(C)** Litoarenito fino observado em lâmina delgada, evidenciando fragmentos de rochas argilosas.

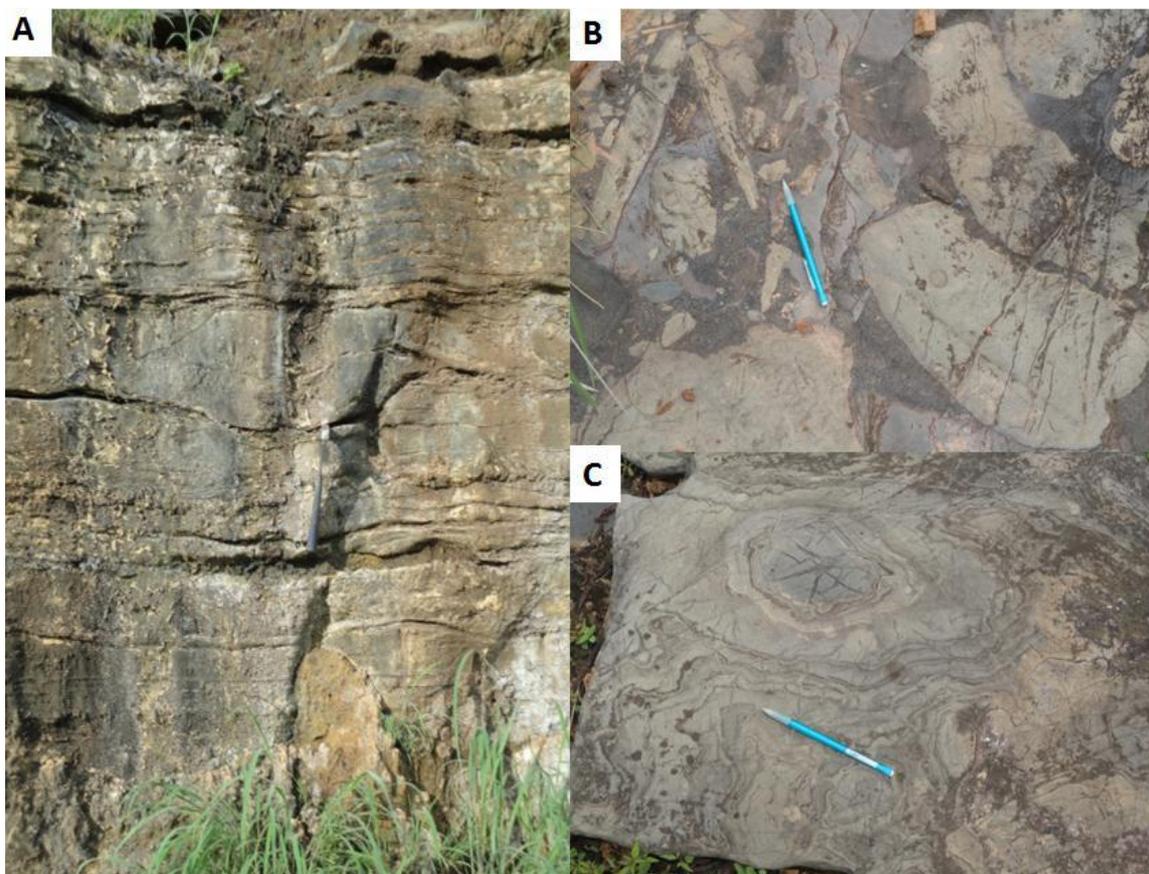


Figura 2.7 - (A) Calcário apresentado acamamento horizontal e ondulado; **(B)** Brecha carbonática com matriz micrítica e cristais alongados de sílica; **(C)** Ocorrência de estilólitos contornando os grãos carbonáticos.

A Formação Serra da Saudade é caracterizada por siltitos marrons, folhelhos, verdetes e restritas lentes de calcário. Na Figura 2.8A observa-se contato subhorizontal dos siltitos com os verdetes. Petrograficamente os pelitos apresentam laminação sendo as bandas mais claras de composição quartzosa, enquanto as bandas mais escuras são de composição ilítica (Figura 2.8B).

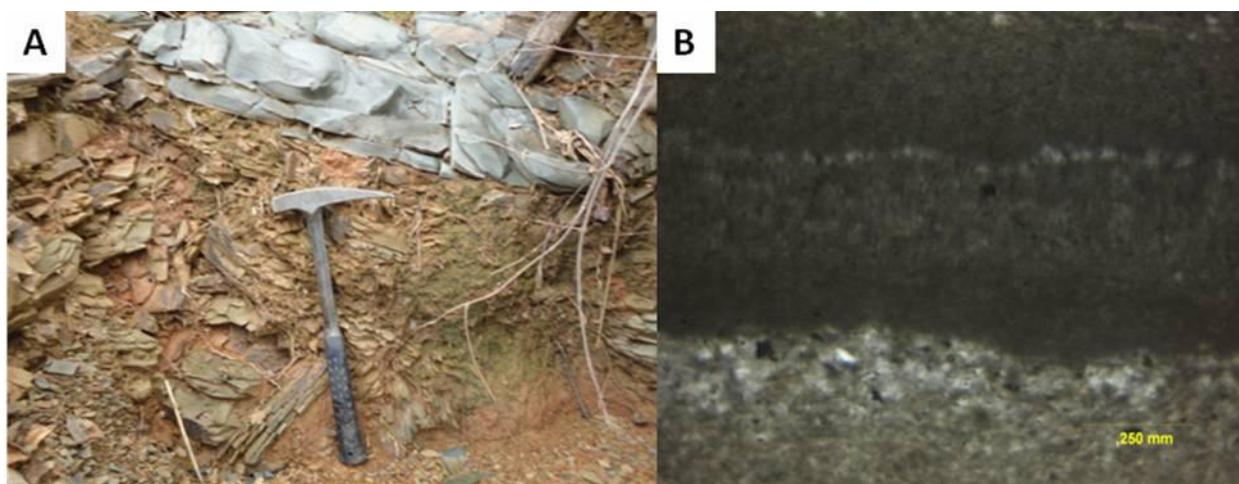


Figura 2.8 - (A) Contato do siltito laminado com siltitos maciços denominados de verdetes; **(B)** Lâmina delgada dos pelitos, evidenciando bandas claras de composição quartzosa e escuras de ilita.

Já a Formação Três Marias é caracterizada pelos arcóseos e/ou arenitos arcoseanos (Figura 2.9B), com acamamento horizontal. Essas rochas afloram nas cotas mais elevadas na área de estudo e ocorrem em contato transicional com os pelitos da Formação Serra da Saudade (Figura 2.9A). A rocha mais diagnóstica desta unidade é petrograficamente classificada como subarcóseo (Figura 2.9C).

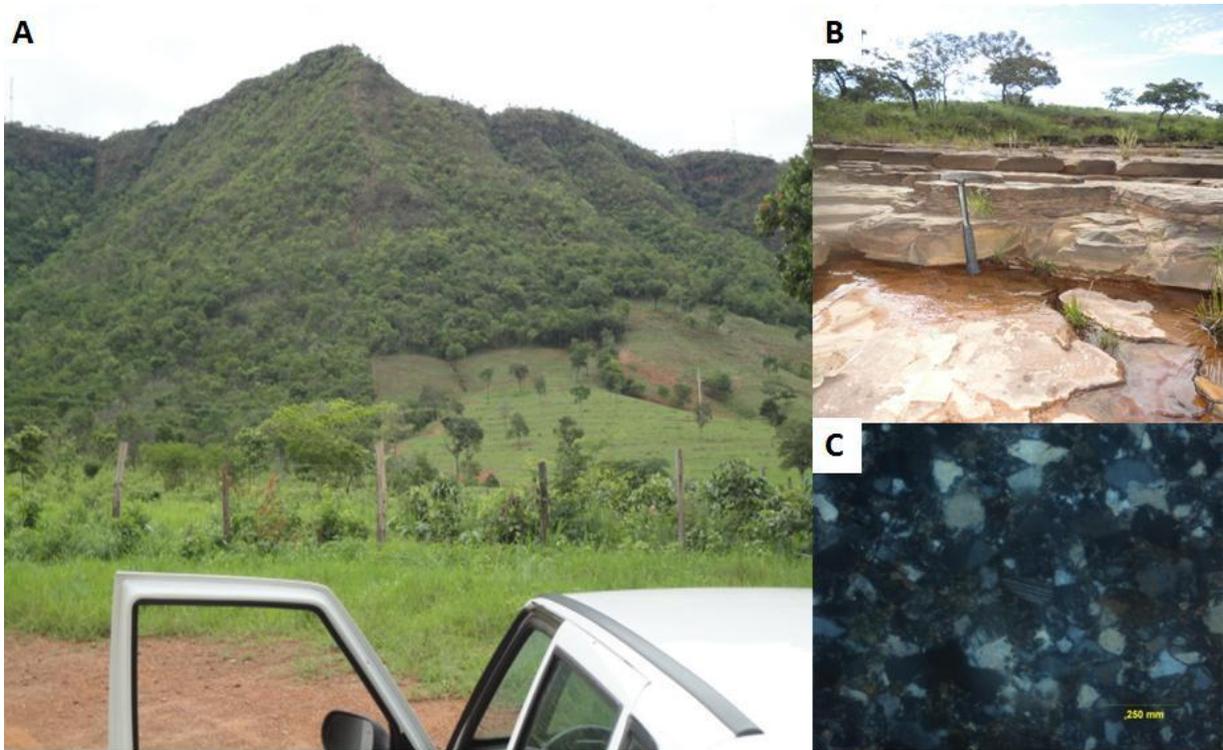


Figura 2.9 - (A) Visão geral da forma de preservação da Formação Três Marias em serras e cristas elevadas; **(B)** Banco de arcóseos mostrando acamamento horizontal; **(C)** Lâmina delgada com luz polarizada mostrando a natureza subarcoseana da rocha.

O Grupo Urucuia ocorre na forma de morros testemunhos isolados na porção leste da área estudada (Figura 2.10A). Tratam-se de arenitos rosados a avermelhados, finos a médios, localmente com bimodalidade granulométrica, laminados e estratificados (Figura 2.10B).

Apesar da restrição de boas exposições pode-se afirmar que se trata de arenitos da Formação Posse, a partir da observação de estratificações cruzadas acanaladas de grande porte, estruturas de queda e avalanche de grãos, bimodalidade granulométrica e presença de grãos esféricos e polidos.

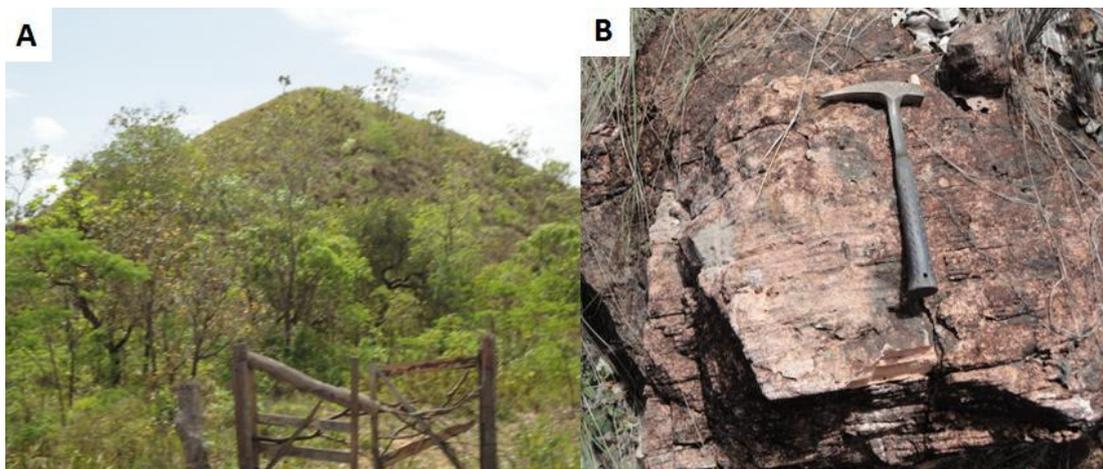


Figura 2.10 - (A) Vista geral da forma de ocorrência dos arenitos do Grupo Urucuia; **(B)** Bloco de arenito com acamamento/laminação horizontal.

As coberturas Neógenas / Quaternárias são compostas por depósitos lateríticos, colúvios, elúvios e alúvios arenosos pertencentes a Formação Chapadão (Figura 2.11A) Esta unidade ocorre na sua maioria na parte oeste da área de estudo. Esta unidade é essencialmente representada por areias friáveis a pouco litificadas (Figura 2.11B), sem estruturação e representam o retrabalhamento dos arenitos do Grupo Urucuia que sofrem erosão regressiva para leste a partir da Serra Geral de Goiás.

Estes materiais são responsáveis pelo recobrimento de amplas áreas de ocorrência de unidades do Grupo Bambuí. Neste sentido, na área em estudo grande parte da Formação Serra da Santa Helena não está exposta em decorrência das coberturas Neógenas / Quaternárias que podem alcançar mais de três dezenas de metros em áreas planas de chapadas isoladas.

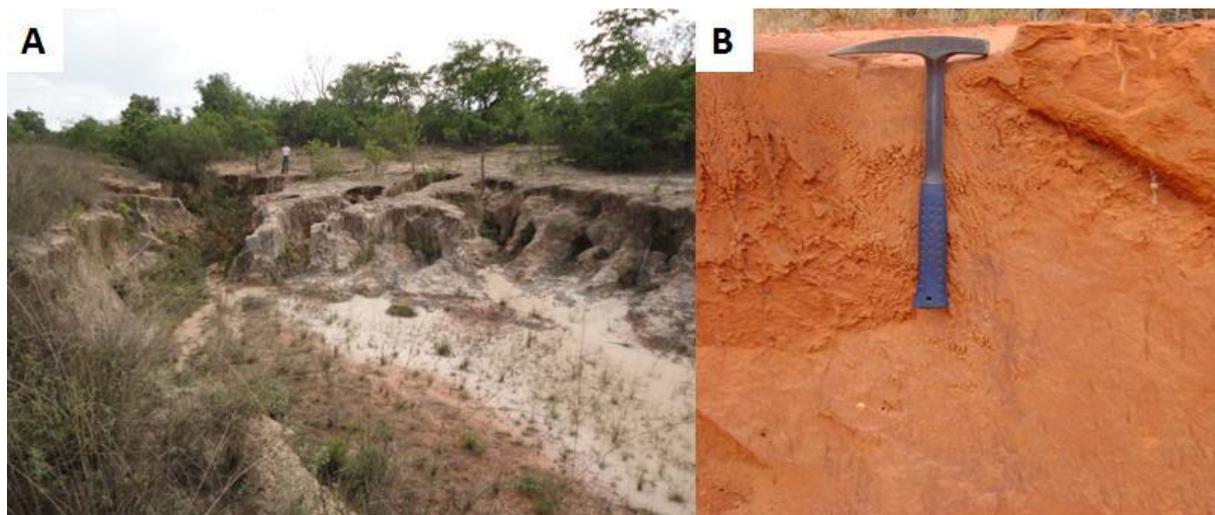


Figura 2.11 - (A) Vista geral do depósito detrítico-laterítico da Formação Chapadão; **(B)** Depósitos de areias não coesas, desestruturadas e oxidadas.

2.3 - DESCRIÇÃO DAS FÁCIES CARBONÁTICAS

O estudo faciológico foi realizado a partir do levantamento de seções verticais e descrição de afloramentos na região de Alvorada do Norte, Mambaí e Buritinópolis.

Para o Grupo Bambuí na região estudada foram definidas sete fácies carbonáticas descritas em toda sucessão carbonática. Para a caracterização destas fácies foram aplicados os seguintes critérios: cor, estruturas sedimentares, composição mineralógica, tipo de componente ortoquímico e granulometria. A nomenclatura utilizada foi definida da seguinte maneira: 1 a 2 letras maiúsculas para o nome da rocha principal que compõe a fácies, seguida ou não de letras minúsculas que abreviam o principal adjetivo que distingue a fácies. As associações de fácies foram numeradas sendo adicionadas letras correspondentes a abreviação do nome da formação estratigráfica a que esta associação pertence.

A seguir é apresentada a descrição das respectivas fácies carbonáticas.

DL - Fácies de dololuto bege, rosa a avermelhado de granulometria fina, localmente afetado por intenso processo de recristalização. A presença de estruturas sedimentares como laminação plano-paralela e acamamento ondulado, posiciona a sedimentação a ambiente de águas mais calmas. O processo de precipitação química é o principal associado à formação desta fácies. Transformações diagenéticas comuns são principalmente a dolomitização e a recristalização que resulta na marmorização da rocha.

DR - Fácies de dolarenito rosa a avermelhado com granulometria natural fina e com granulometria atual média a grossa em função de intensa recristalização. Ocorrem camadas com espessura variando de 25 a 60 cm, internamente laminadas ou internamente maciças. Há ocorrência de acamamento horizontal e ondulado, marcando a alternância de processo químico com ambiente suspensivo. A energia deposicional passa de muito baixa a baixa.

CM - Fácies de calcários micríticos cinza escuro a preto, microcristalino, pouco recristalizado com ocorrência de estruturas sedimentares como acamamento horizontal e ondulado e com ocorrência esporádica de estratificação cruzada tipo *hummocky*.

Uma feição típica desta fácies e particularmente comum na região em estudo é a exalação de odor fétido na superfície recém partida. Tal feição é interpretada como produzida pela liberação de gases aprisionados na porosidade da rocha.

Esta fácies foi depositada num ambiente de águas de baixa energia (inframaré) ocasionalmente submetido a eventos de tempestades.

MRG - Fácies de marga cinza esverdeada, com estrutura interna das camadas maciça ou laminada. Fácies originada por processo simultâneo de precipitação química e suspensão de lamas terrígenas. Ocorrem geralmente em camadas lenticulares entre os substratos carbonáticos e está associado a deposição em águas muito calmas e de baixa energia.

FL - Fácies de folhelho com coloração cinza esverdeado, verde ou cinza escuro. A estrutura interna é a laminação, enquanto as camadas individuais podem apresentar acamamento horizontal, lenticular e raramente ondulado. A espessura desta fácies pode variar desde milímetros (compondo filmes argilosos) até 10 cm, formando camadas pelíticas individualizadas.

Esta fácies é depositada em ambiente de águas mais profundas extremamente calma e de baixa energia. O processo de agitação vertical da lama é dominante.

CAi - Fácies de calcarenito intraclástico / oolítico cinza claro a escuro em camadas com espessuras variáveis de 4 a 20 cm. Os intraclastos são micríticos e podem ser preservados ou intensamente recristalizados. Os oólitos apenas localmente estão preservados, sendo que de forma geral apresentam ampla recristalização.

A história deposicional desta fácies é associada a pelo menos dois estágios de evolução: deposição em águas calmas, passando para águas mais agitadas com retrabalhamento de grãos carbonáticos originando os intraclastos.

As estruturas sedimentares observadas são estratificação horizontal, acamamento ondulado e estratificação cruzada tabular. Esta fácies é interpretada como tendo sido depositada no ambiente de intermaré a supramaré.

CRi - Fácies de calcirrudito intraclástico com granulometria grossa a muito grossa, em que fragmentos de carbonato micrítico flutuam em matriz micrítica que pode ocorrer preservada ou recristalizada.

As estruturas sedimentares comuns são estratificação cruzada e acamamento horizontal. Mais raramente ocorrem acamamento ondulado, brechas lamelares e gretas de contração.

O ambiente deposicional apresenta história complexa, em que há alternância da energia, sendo inicialmente de baixa energia com a deposição de lama micrítica, passando a aumento rápido de energia para o retrabalhamento e formação dos intraclastos (águas agitadas em que se teve retrabalhamento da lama carbonática). Posteriormente há diminuição da energia para que os intraclastos se depositassem com matriz micrítica.

A formação das brechas lamelares é atribuída a exposição subaérea em condições de supramaré. Sua formação é interpretada a partir da seguinte seqüência de eventos: deposição de lama micrítica → exposição subaérea → início de formação de gretas de ressecamento → formação de estruturas tipo tepee → retrabalhamento por correntes (de marés ou ondas) → redeposição em condição de baixa energia. Eventualmente pode ocorrer dolomitização antes do ressecamento e retrabalhamento da lama micrítica original.

A Tabela 2.2 traz a síntese de suas principais características.

Tabela 2.2 - Síntese das principais feições das fácies descritas.

CÓDIGO/ FÁCIES	NOME	DESCRIÇÃO	PROCESSOS	AMBIENTES
DL	Dololutito	Rosa, avermelhado, laminação plano-paralela e acamamento ondulado.	Suspensivos	Inframaré
DR	Dolarenito	Rosa, avermelhado, laminação plano-paralela e acamamento ondulado.	Trativos e suspensivos	Intermaré
CM	Calcário micrítico	Cinza escuro a preto, acamamento horizontal e ondulado.	Suspensivos e precipitação química.	Inframaré
MRG	Marga	Cinza esverdeado, lenticular.	Precipitação química	Inframaré
FL	Folhelho	Castanho avermelhado, verde, acamamento horizontal a ondulado.	Suspensivos	Inframaré
CAi	Calcarenito intraclástico/oolítico	Cinza, acamamento horizontal a ondulado, estratificação cruzada tabular.	Trativos	Intermaré
CRi	Calcirrudito intraclástico	Cinza, granulometria grossa, acamamento horizontal a ondulado, brechas lamelares.	Trativos e exposição subaérea	Intermaré e supramaré

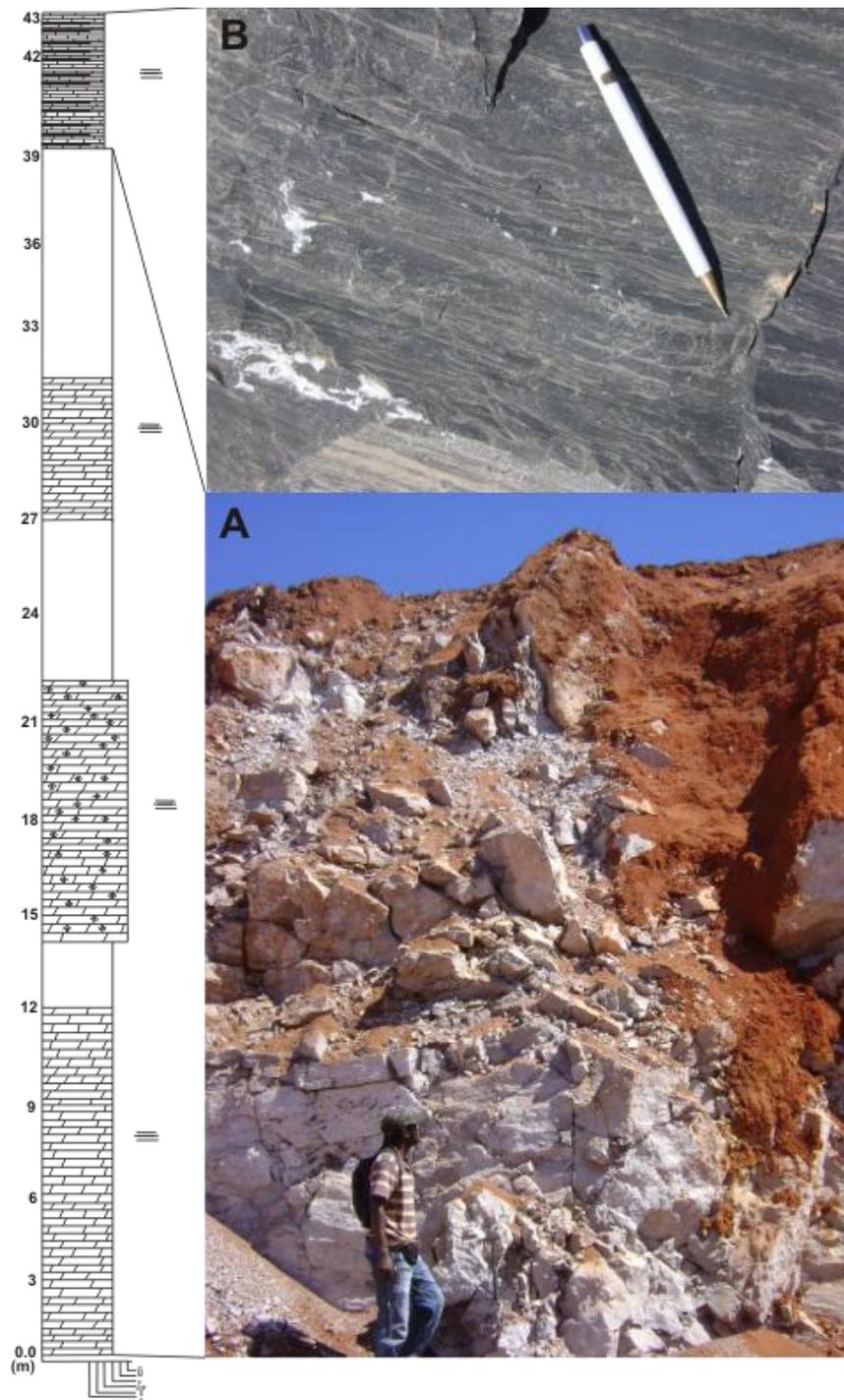
Formação Sete Lagoas

2.3.1 Associação faciológica SL (DL + DR + CM + MRG)

A **Associação SL** é a única associação atribuída a Formação Sete Lagoas, pois ocorre em área restrita. Tal associação é composta pela fácies dololutito (DL), dolarenito (DR) e fácies de calcários micríticos laminados (CM) com intercalações de fácies de margas (MRG) como é representado na Figura 2.12.

Fácies de dololutito são fortemente influenciado pelo processo diagenético de recristalização. Nesta fácies geralmente apresenta pequenas fraturas (centimétricas) onde os níveis mais calcíticos mostram-se muitas vezes preenchendo essas fraturas (Figura 2.13A). Já na Fácies de dolarenito ocorrem fraturas centimétricas a métricas. No topo da associação Sete Lagoas (SL) ocorre fácies de calcários micríticos com intercalações de fácies de margas.

Em lâmina delgada de fácies de dololutito observam-se cristais romboédricos de dolomita na matriz de lama micrítica (Figura 2.13B). Esse evento pode ser explicado primeiramente com início de processo de deposição de lama micrítica em águas calmas de baixa energia, seguido de um processo eodiagenético de dolomitização com a substituição de Ca^{2+} por Mg^{2+} , resultando na cristalização de dolomita. Em seguida a recristalização afetou os cristais de dolomita, e posteriormente a dissolução e cimentação dos cristais de dolomita. Petrograficamente a rocha é classificada como dolomicrito recristalizado (*Mudstone* dolomitizado/recristalizado).



LEGENDA

Litologia

-  Dololuto
-  Calcários micríticos
-  Marga
-  Dolarenito

Estruturas Sedimentares

-  Acamamento horizontal

Figura 2.12 - Associação SL e estruturas sedimentares.(A = Dololuto e Dolarenito rosado, inensamente recristalizado; B = Calcário micrítico cinza, laminado).

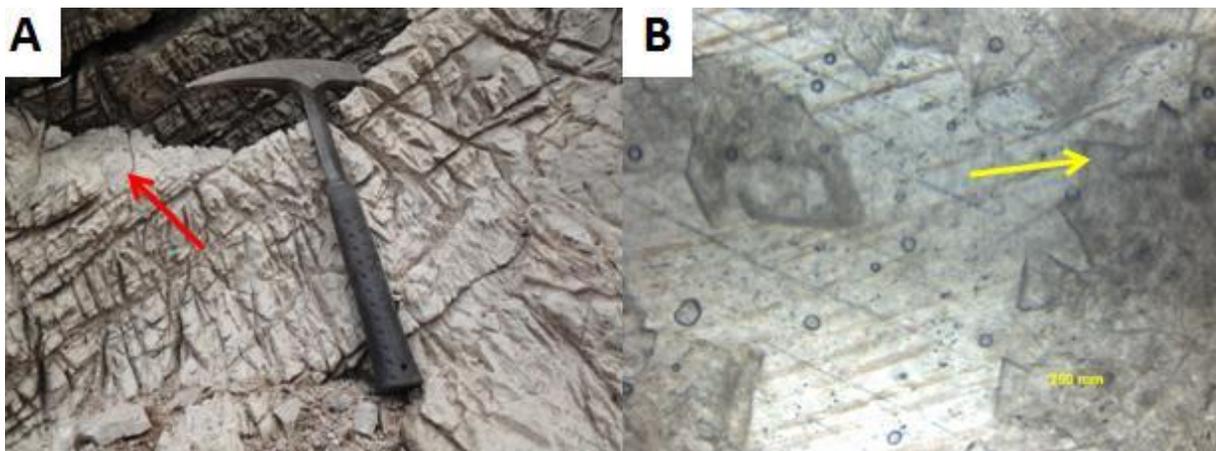


Figura 2.13 - (A) Dolomita com material calcítico preenchendo as fraturas (seta vermelha); **(B)** Detalhe de cristais romboédricos de dolomita em fotografia de seção delgada (seta amarela).

Formação Lagoa do Jacaré

2.3.2 Associação LJ1 (CM + FL)

Esta associação de fácies ocorrem em toda a área pesquisada e é a predominante, possuindo espessura aflorante de até 15 metros em fácies individuais.

Macroscopicamente trata-se de uma sequência monótona de calcário micrítico (Figura 2.14) cinza escuro a preto, rico em matéria orgânica (odor fétido na superfície recém partida), resultantes da deposição de águas pouco agitadas e de baixa energia, com lentes de folhelho entre os estratos carbonáticos. Localmente se observam marcas onduladas de oscilação, estratificações em camadas horizontais ou onduladas e raramente apresentando estrutura maciça. Ao longo dos planos de acamamento podem ser observadas estruturas de carga (“estrutura em chama”).

Os traços escuros mais grossos entre os estratos carbonáticos indicam filmes argilosos roxos que marcam o plano de acamamento e quando alterados formam uma película esbranquiçada.

Estes planos marcam a parada e retomada da sedimentação carbonática.

Petrograficamente a fácies de calcário micrítico da associação LJ1 é caracterizada pelos carbonatos sustentados pela matriz micrítica, com presença de pelóides. Na fotomicrografia os carbonatos sofreram compactação química durante o soterramento, resultando na formação de estrutura de dissolução, sendo a presença de estilólitos (Figura 2.15A) a feição mais comum. Já na figura 2.15B observa-se que a recristalização afetou de forma generalizada a rocha, e pode-se observar a presença de cimento de calcita. A rocha é petrograficamente classificada como um pelcalcimicrito (*Mudstone peloidal*).

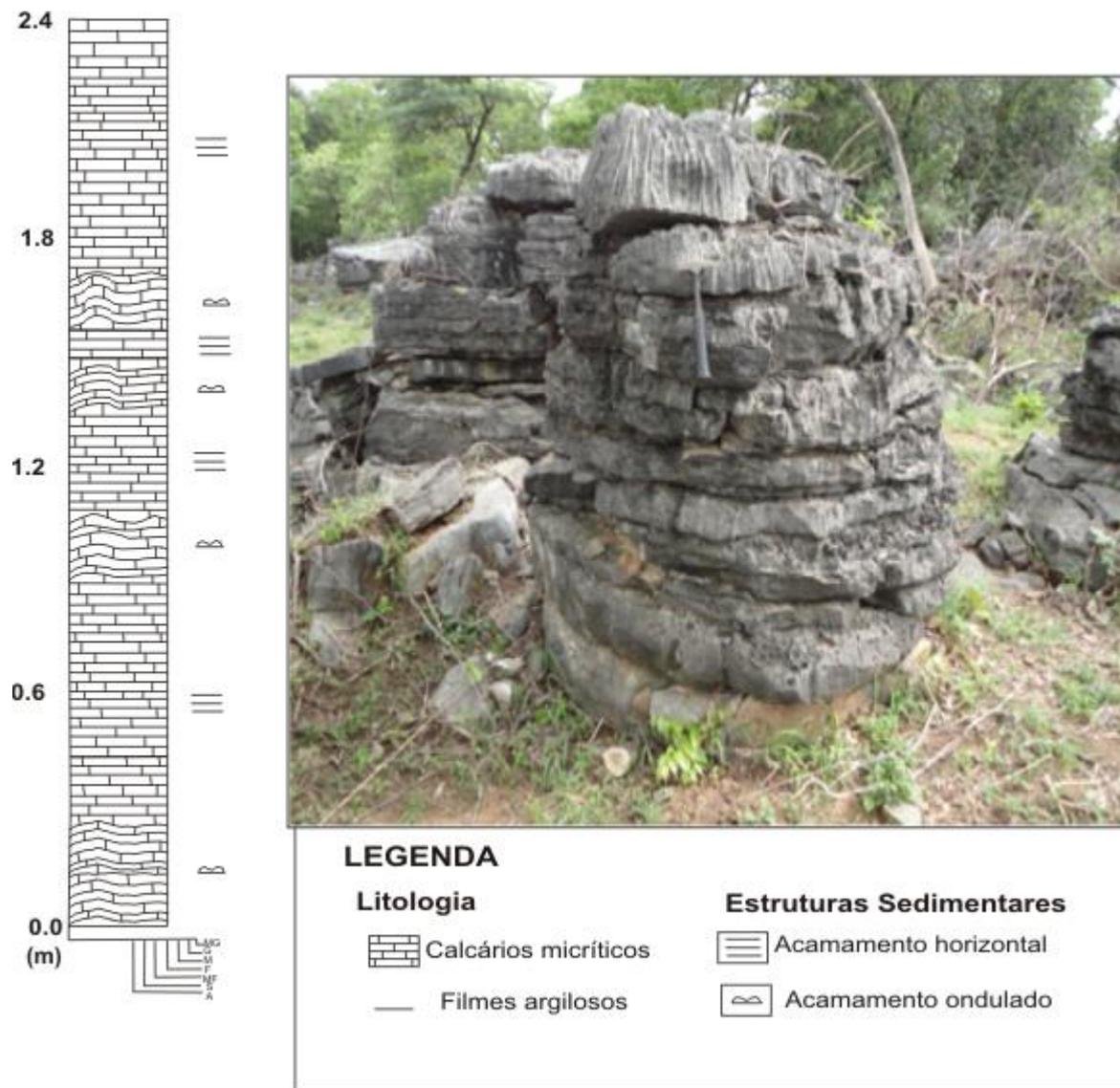


Figura 2.14 - Distribuição da associação LJ1 e estruturas sedimentares do calcário micrítico (*mudstone peloidal*).

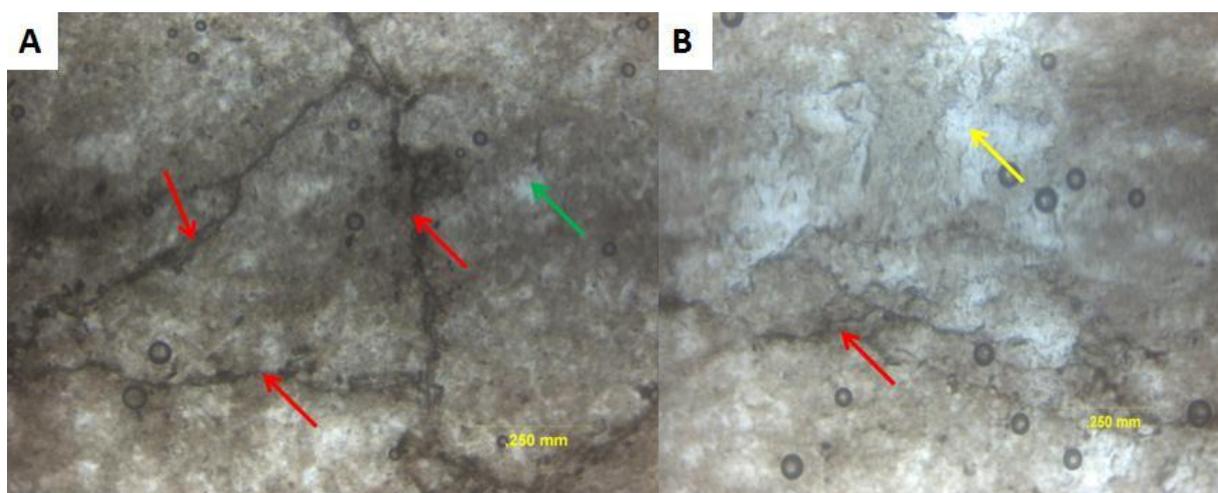


Figura 2.15 - Fotomicrografia do calcário micrítico. (A e B) seta vermelha mostrando as feições de estilólitos. Evidência de recristalização e cimentação de calcita (seta amarela). (A) seta verde mostra a presença de pelóide.

2.3.3 Associação LJ2 (CM + FL+ MRG)

Esta associação é caracterizada pela alternância de calcários micríticos (**CM**) cinza escuro, intercalados com camadas delgadas de folhelho verde (**FL**) e margas (**MRG**) ricas em mica detrítica pertencentes à Formação Lagoa do Jacaré (Figura 2.16 e Figura 2.17).

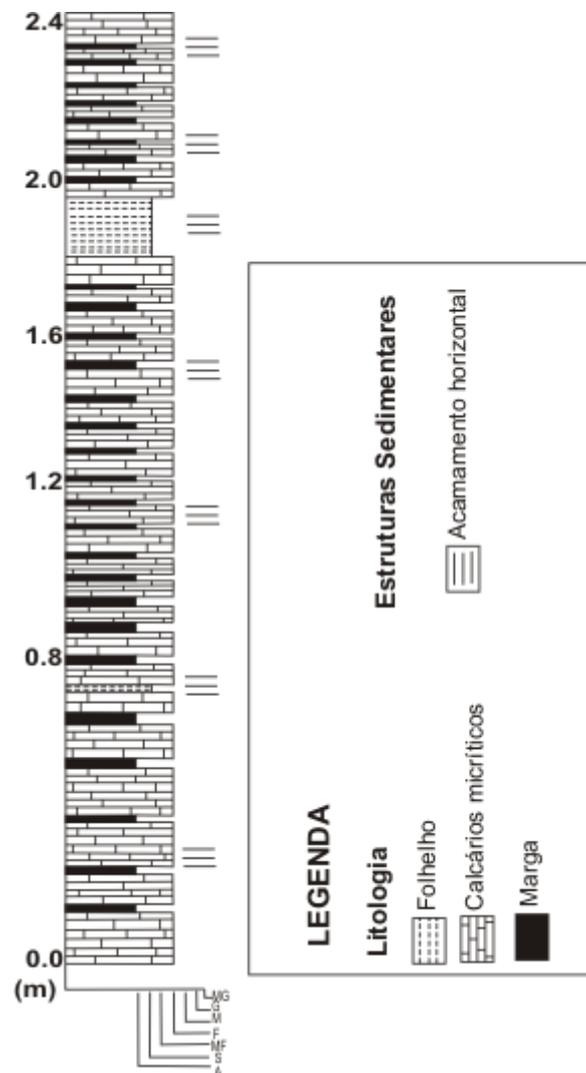


Figura 2.16 - Associação LJ2 e respectivas estruturas sedimentares.

Os estratos espessos de calcários micríticos (*mudstone*) desta associação são horizontais e pouco ondulados. As camadas de calcário micrítico são mais espessas que as terrígenas. Ao longo de cortes de estradas há porções com acamamento contínuo lateralmente.

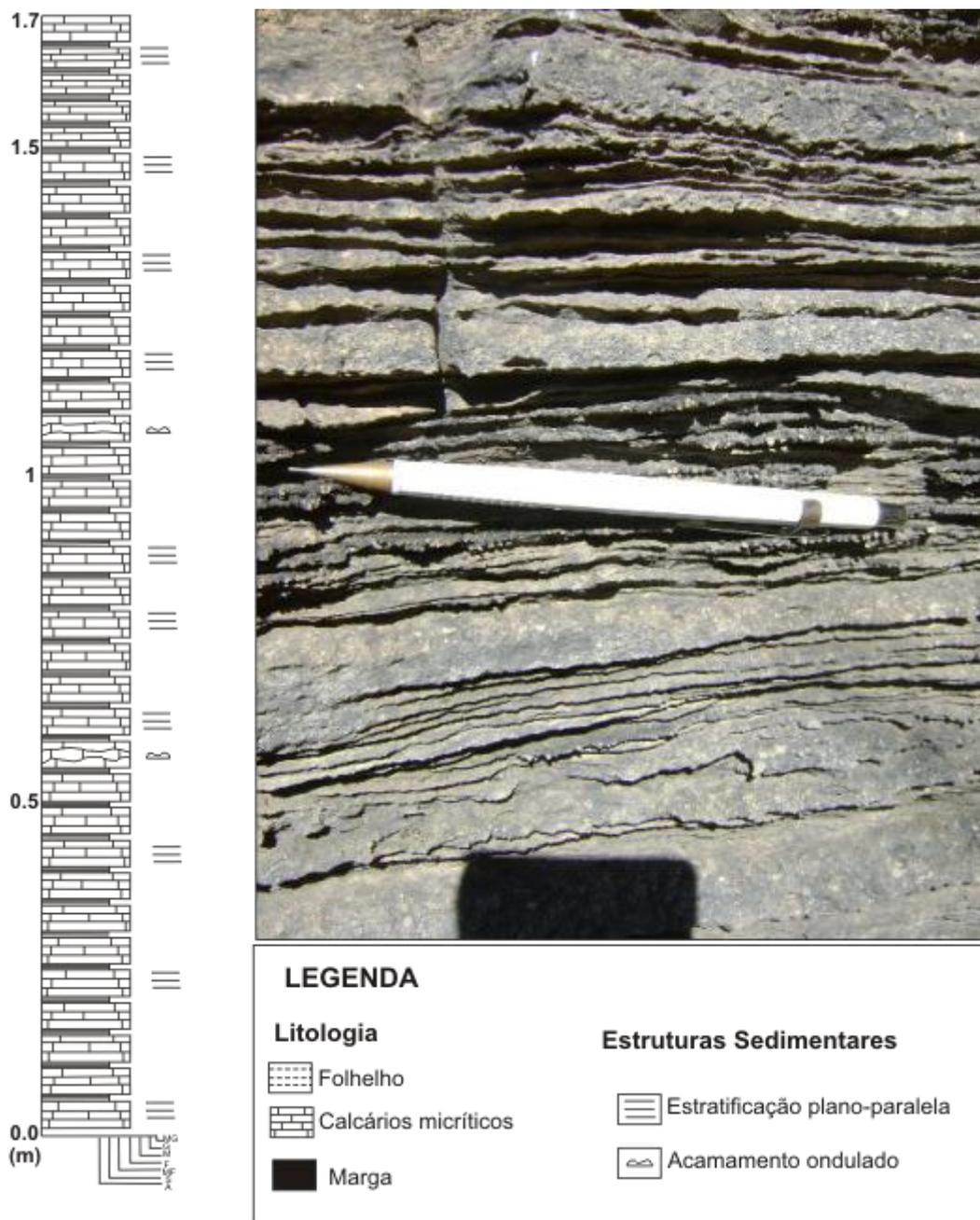


Figura 2.17 - Associação LJ2 e estruturas sedimentares associadas.

2.3.4 Associação LJ3 (CAi + CM + FL)

A Associação LJ3 é caracterizada por calcários micríticos (*mudstone*) (CM) e calcarenitos intraclásticos (*packstone* intraclástico) (CAi) com camadas delgadas de folhelho (Figura 2.18, 2.19 e 2.20). Na sua maioria o contato entre as camadas é gradacional.

A espessura da intercalação de camadas de calcarenitos intraclásticos (*packstone* intraclásticos) e calcário micrítico (*mudstone*) é de até 15 centímetros, e ocorrem linhas horizontais mais grossas entre as camadas que representam planos de acamamentos marcados por filmes argilosos arroxeados associados aos folhelhos.

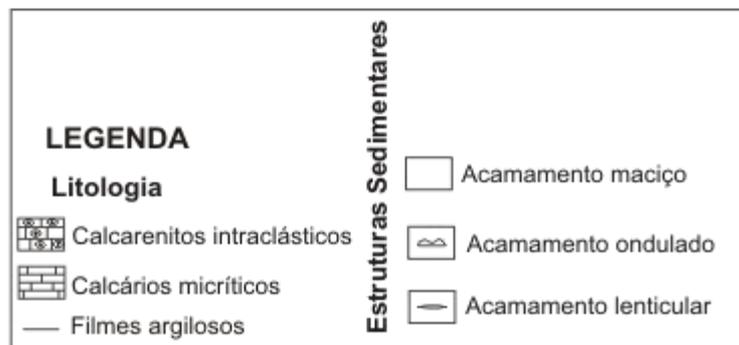
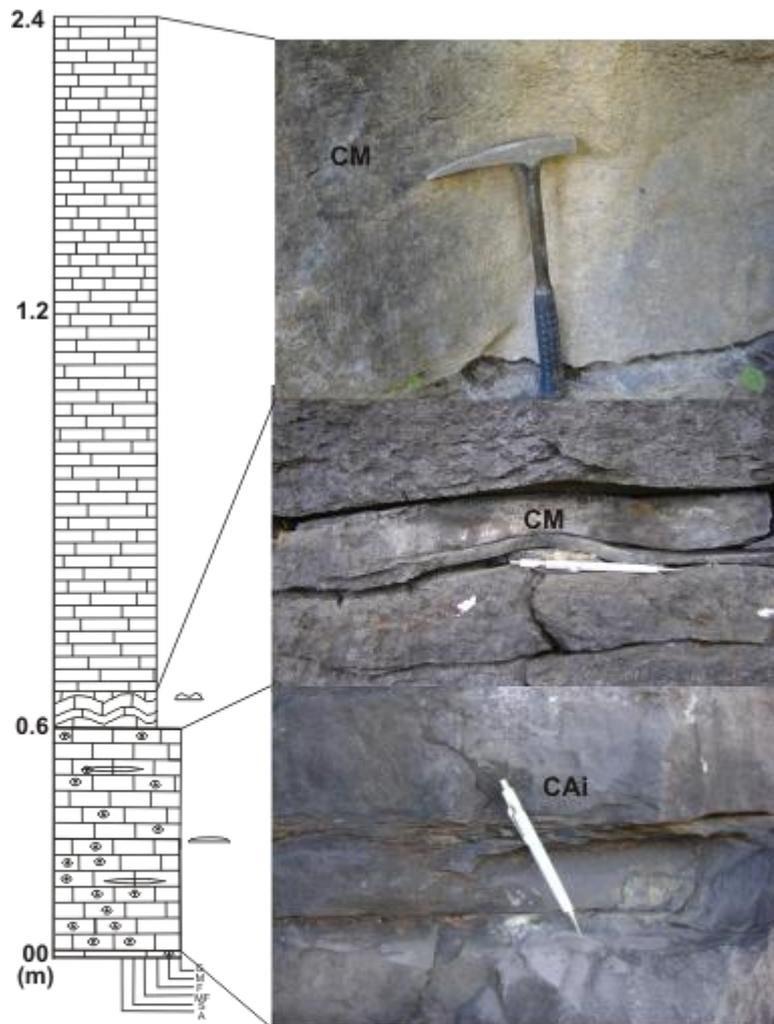


Figura 2.18 - Associação LJ3 e respectivas estruturas sedimentares. (CAi = Calcarenito intraclástico; CM = Calcário micrítico).

Em relação às principais estruturas sedimentares presentes, têm-se acamamento plano-paralelo, acamamento ondulado, estratificação cruzada tabular e nódulos silicosos com tamanhos variáveis (Figura 2.19).

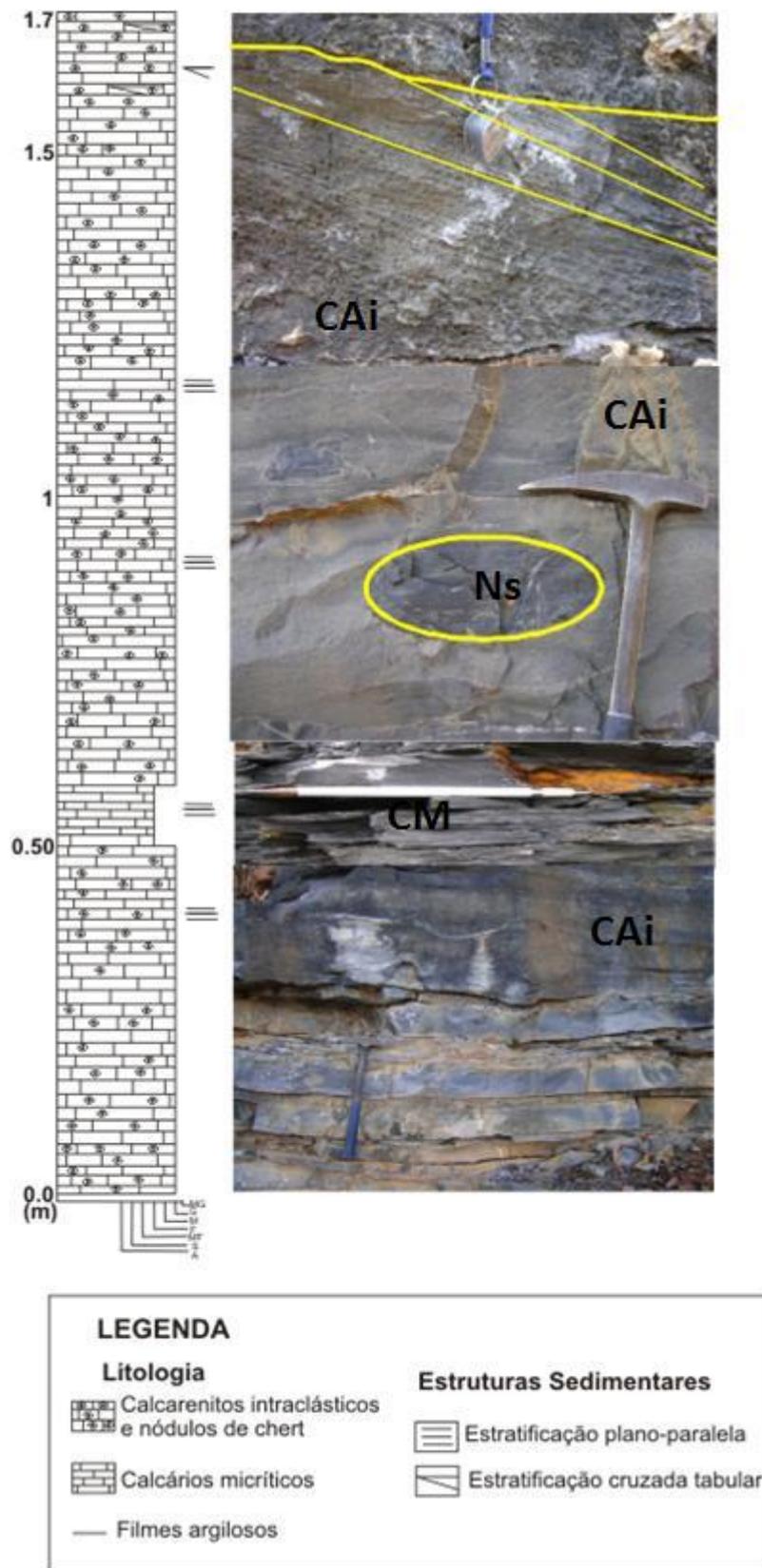


Figura 2.19 - Associação LJ3 e estruturas sedimentares. (CAi = Calcarenito intraclástico; CM = Calcário micrítico; Ns = Nódulos silicosos).

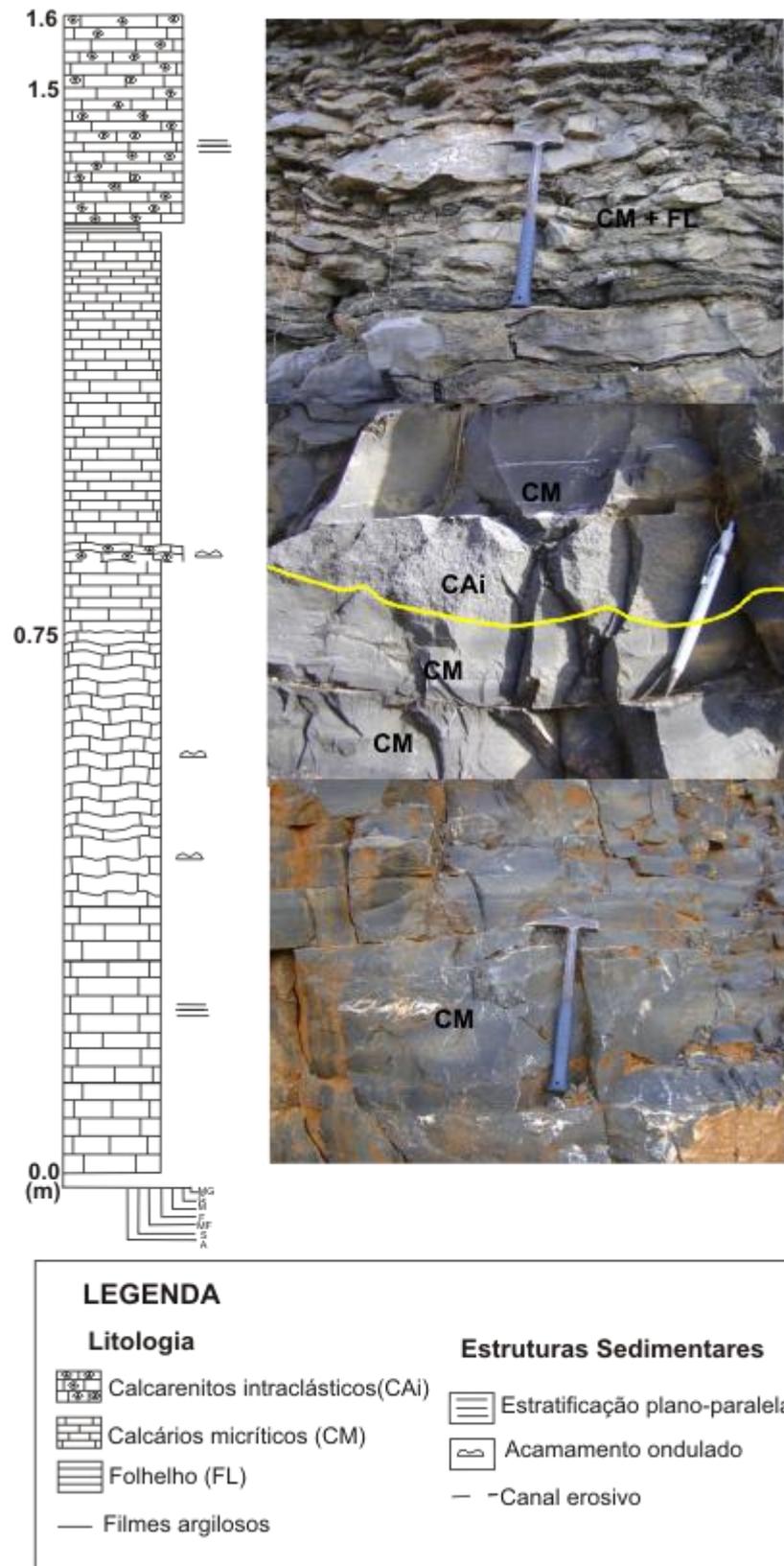


Figura 2.20 - Associação LJ3 e respectivas estruturas sedimentares (Traço amarelo representa canal erosivo).

Nas camadas de calcarenitos (*packstone* e *grainstone*) se destacam lentes de até 40 centímetros, internamente com laminações truncadas. Presença de estruturas como canais erosivos, acamamento horizontal e ondulado.

Em lâminas delgadas a fácies de calcarenitos intraclásticos (*grainstone* oolíticos) apresentam intraclastos carbonáticos arredondados e alongados de tamanho areia, integralmente afetados por recristalização e posteriormente cimentados (Figura 2.21A). Há evidências da presença de cimento de esparita em blocos. Nesta fácies ocorrem lateralmente níveis com oóides (oólitos e oncólitos) afetados pela recristalização (Figura 2.21B e C). Toda a sucessão indica existência de águas mais limpas e muito agitadas, devido a ação de ondas.

Esta fácies é classificada como intraoocalsparenito (*grainstone* intraclástico com oólito) como é representado na Figura 2.21.

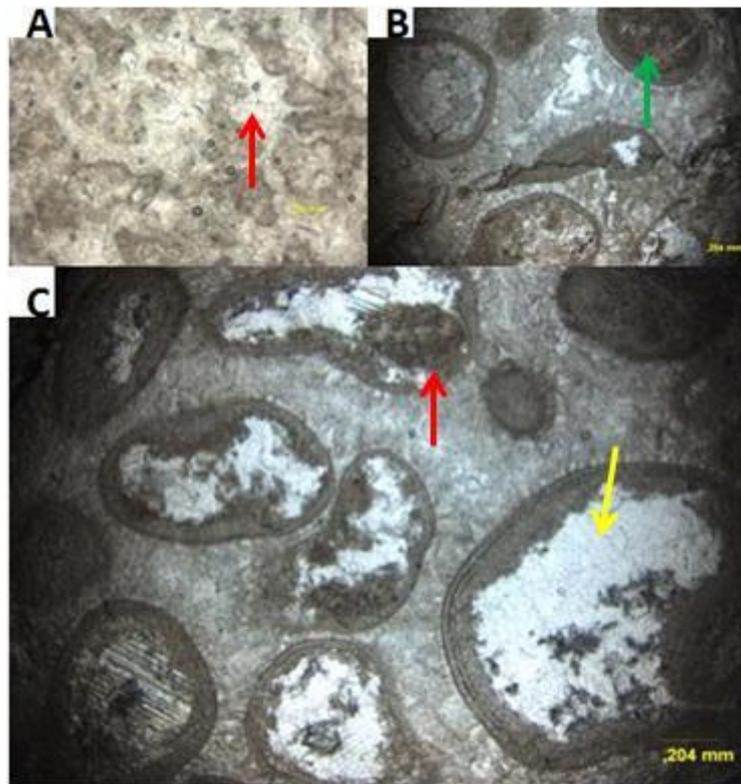


Figura 2.21 - (A) Detalhe de marmorização de calcário, mostrando a presença de calcita em blocos (seta vermelha); (B) Ocorrência de oólito (seta verde), e com detalhe de estilólito com possível porosidade secundária associada; (C) Seta vermelha mostrando a ocorrência de oóide composto e a seta amarela evidenciando a intensa recristalização que afetou os oóides.

2.3.5 Associação LJ4 (CRi + CM + FL)

Esta associação é composta por calcirruditos intraclásticos (CRi), calcários micríticos (CM) e folhelho (FL) pertencentes a Formação Lagoa do Jacaré como mostra a Figura 2.22.

As intercalações das fácies correspondentes a associação LJ4 são marcadas muitas vezes pela estratificação plano-paralela e outras vezes pelo acamamento ondulado. A fácies de calcirrudito intraclástico (CRi) é caracterizada por apresentar brechas intraformacionais, resultantes de exposição subaérea dos carbonatos onde lateralmente ocorrem gretas de ressecamento.

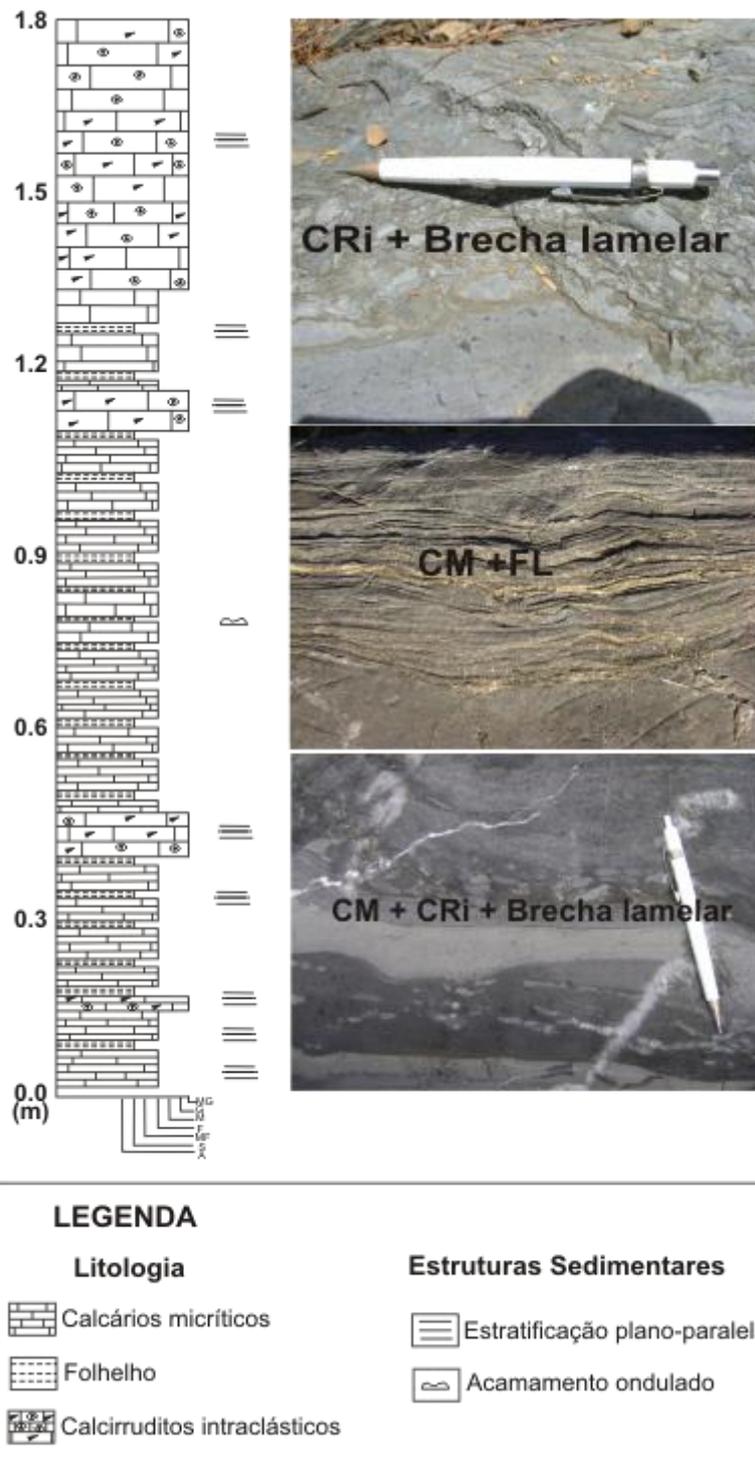


Figura 2.22 - Associação LJ4 e estruturas sedimentares.

2.3.6 Associação LJ5 (CRI + CAi + CM + FL)

A Associação LJ5 é caracterizada pela intercalação não regular de fácies de calcirruditos intraclásticos (**CRI**), calcarenitos intraclásticos (**CAi**), calcários micríticos (**CM**) e folhelhos (**FL**) representados na Figura 2.23 e Figura 2.24.

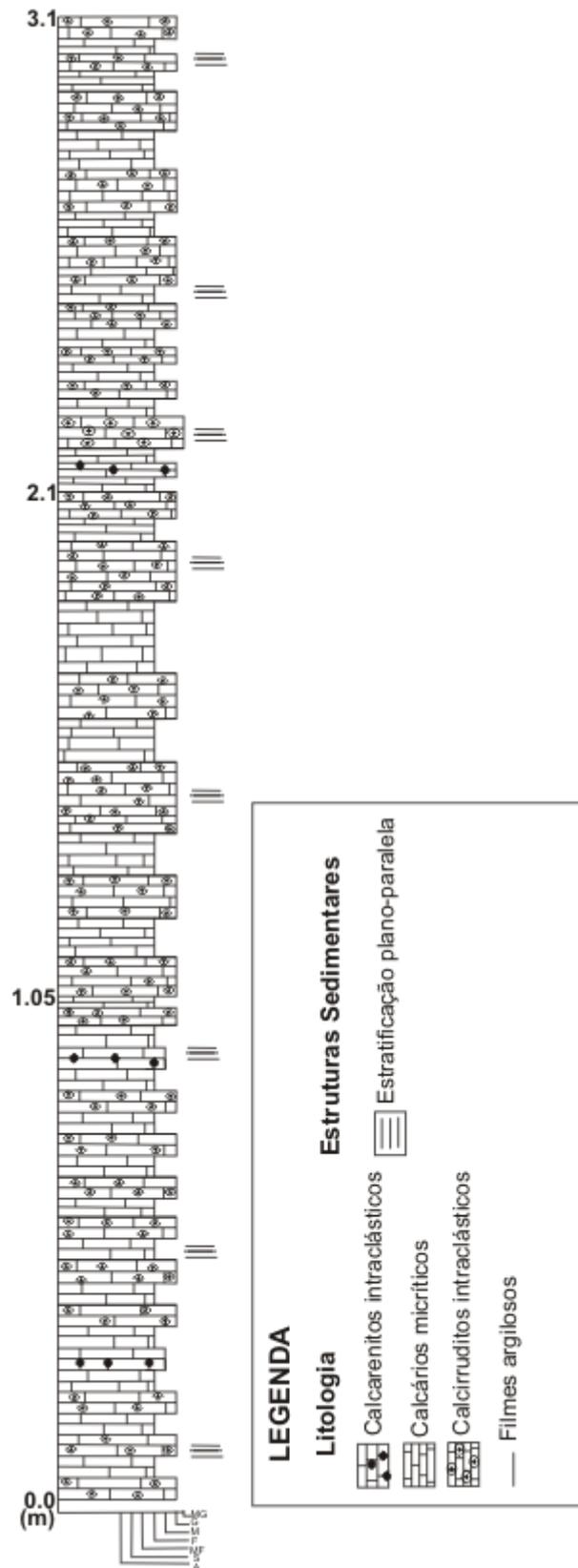
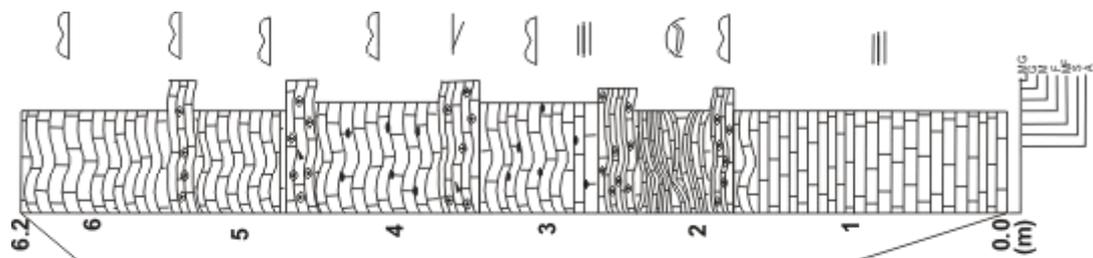


Figura 2.23 - Associação de fácies LJ5 e estruturas sedimentares.

Lateralmente os calcários micríticos apresenta camadas espessas de base plana e topo ondulado, pequenas estratificações cruzadas do tipo *hummocky*. Já os calcarenitos intraclásticos e os calcirruditos intraclásticos apresentam estratificação cruzada tabular, acamamento horizontal e ondulado (Figura 2.24).



LEGENDA

Litologia

- Calcários micríticos
- Calcarenitos intracrísticos
- Calcirruditos intracrísticos
- Filmes argilosos

Estruturas Sedimentares

- Estratificação plano-paralela
- Estratificação ondulada
- Estratificação cruzada tabular
- Estratificação cruzada hummocky

Figura 2.24 - Associação de fácies LJ5 e estruturas sedimentares, bem expostas em antiga pedraira.

Petrograficamente a fácies de calcirrudito intraclástico é caracterizada pelos intraclastos carbonáticos de tamanho areia média a muito grossa, localmente com a matriz micrítica e localmente com cimento espático. A rocha é denominada de intracalcimicrarudito (*floatstone* intraclástico). Alguns intraclastos micríticos foram afetados pela recristalização e outros tiveram a sua textura preservada (Figura 2.25).

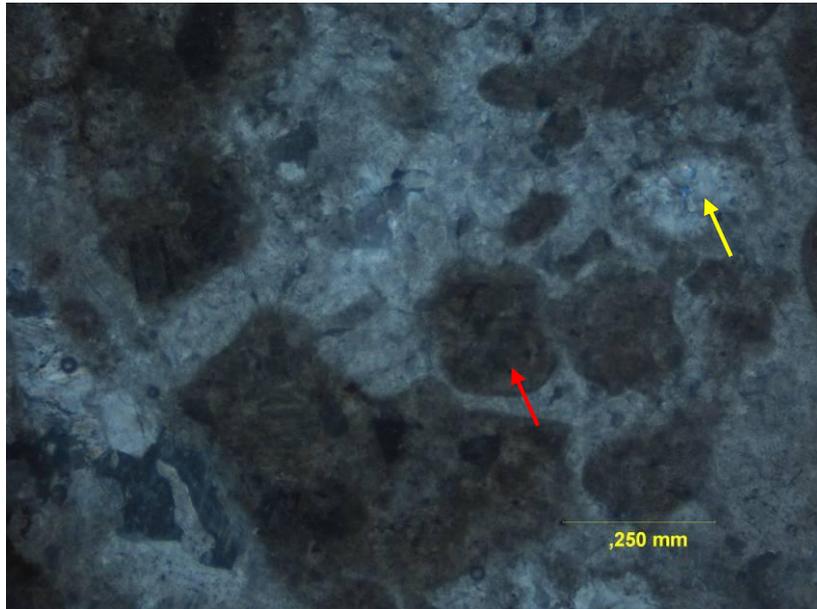


Figura 2.25 - Fotomicrografia mostrando que apesar da intensa recristalização da rocha, esta não modificou a textura original, sendo possível identificar os intraclastos não afetados (seta vermelha); e a intensa recristalização que afetou alguns intraclastos carbonáticos (seta amarela).

CAPÍTULO III

ISÓTOPOS DE CARBONO E OXIGÊNIO

Nesse estudo foram amostrados em detalhe dois perfis estratigráficos para a realização de análises isotópicas de Carbono e Oxigênio das formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré. A Formação Sete Lagoas é caracterizada pelos dolomitos róseos, avermelhados (dololuto e dolarenito) e calcários micríticos cinza a preto com intercalações de lentes de margas correspondentes a base do Grupo Bambuí.

Os calcários micríticos cinza a preto, bem como calcarenitos e calcirruditos intraclásticos, pertencem a Formação Lagoa Jacaré.

As análises dos isótopos foram realizadas em amostras de carbonatos e margas (com no mínimo 60% de calcita) e os resultados foram ajustados segundo o padrão internacional Vienna Pee Dee Belemnite - VPDB.

Os valores isotópicos encontrados são representados pela notação δ expressa em unidade por mil (‰), que é definida da seguinte forma $\delta = [(R_a - R_p) / R_p] \times 1000$, onde R_a e R_p são as razões $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, respectivamente da amostra e do padrão de referência.

3.1 - Isótopos de Oxigênio

3.1.1 - Características do sistema isotópico do Oxigênio

O Oxigênio é o elemento químico mais abundante na crosta terrestre, não somente no oceano mas também em terrenos silicáticos (Figura 3.1).

Existem três isótopos estáveis de oxigênio: ^{16}O (99,76% do total), ^{17}O (0,037%) e ^{18}O (0,199%).

Bowen (1988) definiu a razão isotópica de oxigênio por $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, devido às maiores diferenças de massa e abundâncias relativas.

O isótopo de ^{16}O , mais leve e por sua vez mais móvel é preferencialmente carregado na evaporação. No ciclo hidrológico em condições normais, o ^{16}O evaporado acaba retornando ao sistema mantendo em equilíbrio o ^{18}O .

O principal fracionamento do Oxigênio ocorre durante a cristalização do carbonato e o $\delta^{18}\text{O}$ resultante do carbonato é fortemente dependente da temperatura bem como da composição isotópica do meio aquoso na qual a cristalização ocorreu.

Medidas sistemáticas de vários compostos que ocorrem naturalmente (moléculas, minerais, rochas, vapor de água, etc.) revelam que eles têm característica de composição

isotópica peculiares referente a sua natureza química e sua origem geoquímica, independentemente de suas idades geológicas ou das suas origens geográficas (Allègre 2008).

Calcários são os mais enriquecidos em ^{18}O , e os seus valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ variam de +25 a +34, isto porque os calcários precipitam de água do mar, enriquecendo-se em isótopos pesados.

Reciprocamente sabe-se que a água doce vem da evaporação e então condensação de uma fonte universal, o oceano. Então se deduz uma depletação em ^{18}O durante o ciclo hidrológico (evaporação - condensação). Esta observação sugere que existe certamente uma conexão entre fenômenos naturais, seus mecanismos físicos e químicos, a origem de produtos e fracionamento isotópico.

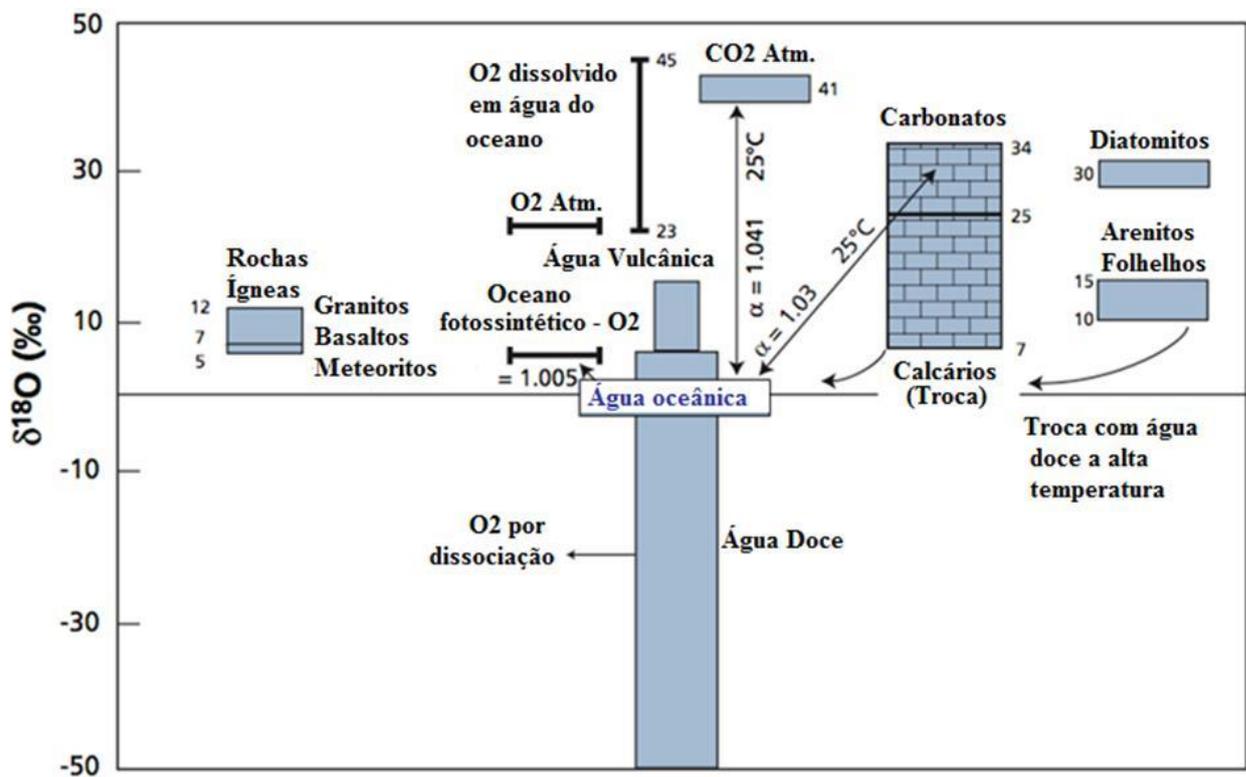


Figura 3.1 - Distribuição de composição isotópica no principal reservatório terrestre com valores de $\delta^{18}\text{O}$ expresso com relação ao SMOW (*Standard Mean Ocean Water*). Compilado de Allègre 2008.

Scharp (2007) considera três hipóteses para explicar a variação no registro isotópico de Oxigênio de sedimentos carbonáticos marinhos antigos: (i) os valores de $\delta^{18}\text{O}$ dos oceanos eram mais negativos no passado; (ii) as temperaturas eram superiores nos oceanos antigos, ou (iii) os sedimentos tornaram-se mais ricos em ^{16}O com o tempo em função dos processos de alteração diagenética.

A composição isotópica nos oceanos atuais varia com a profundidade e as concentrações são fornecidas pelos valores de ^{18}O do oxigênio dissolvido (Sharp 2007). Na

superfície da água os valores de $\delta^{18}\text{O}$ são de +24‰ em função da troca com o oxigênio atmosférico.

Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ diminuem com o aumento de profundidade em consequência do consumo preferencial de oxigênio leve na oxidação de matéria orgânica. A cerca de 1 km de profundidade ocorre o valor máximo de $\delta^{18}\text{O}$ igual a +30‰. Após essa profundidade os valores de $\delta^{18}\text{O}$ decrescem para um valor constante em torno de +26‰.

3.2 - Isótopos de Carbono

3.2.1 - Características do sistema isotópico do Carbono

O elemento Carbono apresenta concentração significativa nas rochas carbonáticas e na biosfera, possuindo concentrações relativamente baixas na terra. Os isótopos de Carbono são fracionados por diversos processos naturais incluindo a fotossíntese e as reações de trocas de isótopos entre compostos de carbono.

O Carbono apresenta doze isótopos sendo que entre os mais estáveis destacam-se ^{12}C (98,89% do total) e ^{13}C (1,11%).

Shackleton (1987) relaciona as variações de valores do $\delta^{13}\text{C}$ com mudanças no reservatório de Carbono e no ciclo de Carbono global. Épocas de excursões negativas de $\delta^{13}\text{C}$ são identificadas como períodos de eficientes e aceleradas transferências de matéria orgânica enriquecida em ^{12}C do meio oceânico para sedimentos, ou seja, um maior aporte de nutrientes.

Os carbonatos depositados após períodos glaciais são representativos de excursões negativas de $\delta^{13}\text{C}$, refletindo mudanças na composição de água do mar decorrentes da deglaciação no Neoproterozóico (Kaufman *et al.* 1998).

Martins & Lemos (2007) descrevem registros isotópicos altamente positivos de $\delta^{13}\text{C}$, como valores resultantes da evaporação de salmouras ou por processos secundários. Esta hipótese sugere que a massa de água rasa já enriquecida em $\delta^{13}\text{C}$ quando evaporada poderia resultar em valores altamente positivos de $\delta^{13}\text{C}$ (Iyer *et al.* 1995).

A produtividade orgânica na glaciação global seria muito reduzida durante o intervalo de tempo de ($10^6 - 10^7$), o que implicaria na restrição de atividade biológica (Hoffman & Schrag 2002).

A transferência de CO_2 atmosférico para bicarbonato (através do ciclo de intemperismo), implicaria em valores negativos do $\delta^{13}\text{C}$. O efeito de isótopo cinético (destilação Rayleigh) iria conduzir o reservatório atmosférico gerando valores muito baixos de $\delta^{13}\text{C}$ (Hoffman *et al.* 1998).

Hoffman & Schrag (2002) retratam globalmente as taxas de sedimentação muito altas devido ao fluxo hídrico intenso, da alcalinidade e elevadas taxas de intemperismo.

Consequentemente carbonatos teriam valores baixos de $\delta^{13}\text{C}$ e a fração orgânica do fluxo de Carbono seria afetada.

3.3 - Amostragem e Métodos Analíticos

As amostras para determinação de isótopos de Carbono e Oxigênio foram coletadas ao longo de dois perfis distintos, que juntos possibilitam uma amostragem quase contínua da base do Grupo Bambuí:

- Vinte e oito amostras foram coletadas ao longo de um perfil vertical na pedreira Britacal (PB);
- E outras 71 amostras da seção vertical do paredão do córrego das Dores (PCD), com intervalo de meio metro. Foram selecionadas somente amostras de calcários puros, pouco recristalizados e frescos, evitando a contaminação para análises de isótopos de Carbono e Oxigênio.

Para cada determinação das composições isotópicas de Carbono e Oxigênio foi realizado testes de pesagem, na qual utilizou-se uma alíquota de 0,4 mg que gerou melhor sinal isotópico apesar do padrão de pesagem ser 0,2 mg. O erro analítico para $\delta^{13}\text{C}$ é de 0,05‰ e 0,10‰ para $\delta^{18}\text{O}$. Para a etapa de preparação e extração do gás CO_2 para análise das razões isotópicas utilizou-se o equipamento GasBench II (*online*) acoplado a um espectrômetro de massa de fonte gasosa Delta V Advantage do Instituto de Geociências da UnB. Frascos de vidro contendo as amostras são dispostos em um bloco térmico onde se mantém a temperatura de 72° C, com objetivo de reduzir o tempo de reação. Por meio inserção de agulhas através de um septo, inicialmente retira-se o excesso de gases atmosféricos utilizando-se um fluxo de He. Posteriormente, uma segunda agulha perfura o septo injetando ácido H_3PO_4 a 100% para que ocorra reação com a amostra liberando o CO_2 . Por fim, uma última agulha extrai o gás, que é purificado e enviado para o espectrômetro para determinação das razões isotópicas.

As atividades das análises de isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ foram desempenhadas no Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geologia da Universidade de Brasília.

3.4 - Resultados Isotópicos

As composições isotópicas de Carbono e Oxigênio das amostras das formações Sete Lagoas (PB) e Lagoa do Jacaré (PCD) estão dispostas nas Tabelas 3.1 e 3.2.

3.4.1 - Assinatura isotópica de Carbono e Oxigênio da Formação Sete Lagoas

Os dolomitos (dololuto e dolarenito) e o calcário micrítico laminado com intercalações de lentes de margas, possuem valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ entre (-0,58 a +0,94‰), com diminuição gradativa em direção ao topo da sequência (Tabela 3.1 e Figura 3.2). Os valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ dessa formação apresentam intervalos variando entre (-8,62 a -4,47‰).

Estes valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ muito empobrecidos encontrados no topo da Formação Sete Lagoas, sugerem que a assinatura isotópica de Oxigênio é referente a produto de alteração diagenética (Vieira 2007).

A maioria dos registros isotópicos é marcada pela mudança importante na composição mineralógica de dolomita (excursão positiva de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$) a calcário micrítico com valores isotópicos negativos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$. Este calcário micrítico marca a assinatura primária da rocha por não sofrer recristalização.

Esta assinatura é um tanto distinta daquela encontrada em outras regiões de ocorrência da Formação Sete Lagoas, em que os valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, negativos ocorrem diretamente sobre os diamictitos da Formação Jequitái, sendo descritos como dolomitos de capa (*cap dolomite*).

Na pedreira Britacal, os valores mais empobrecidos ocorrem em calcários sobre uma sucessão de dolomitos recristalizados.

3.4.2 - Assinatura isotópica de Carbono e Oxigênio da Formação Lagoa do Jacaré

Os dados da estratigrafia isotópica dessa unidade revelam valores fortemente positivos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, que variam entre +9‰ e +14,77‰ (Tabela 3.2 e Figura 3.2). Tais valores elevados de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ são correlacionáveis a outros descritos na bacia Bambuí (e.x. Iyer *et al.* 1995, Santos *et al.* 2000) e são relacionados a modificações no ciclo do carbono durante o Neoproterozóico (Knoll *et al.* 1986).

Os valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ apresentam valores negativos que variam de (-9 a -3,62‰), sendo que sua variação depende da proporção de carbonato e constituintes clásticos na sucessão.

Tabela 3.1 - Composição de elementos de isótopos de carbono e oxigênio de amostras do perfil PB.

AMOSTRAS	LITOLOGIA	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$
00	Dolomito	0,58	-4,61	26,11
1	Dolomito	0,38	-6,20	24,46
2	Dolomito	0,53	-6,54	24,12
3	Dolomito	0,61	-5,47	25,22
4	Dolomito	0,82	-8,62	21,98
5	Dolomito	0,69	-4,47	26,25
6	Dolomito	0,84	-6,21	24,46
7	Dolomito	0,84	-7,36	23,28
8	Dolomito	0,70	-5,93	24,75
9	Dolomito	-0,06	-6,24	24,43
10	Dolomito	0,49	-6,33	24,34
11	Dolomito	0,79	-6,69	23,96
12	Dolomito	0,94	-4,90	25,81
13	Dolomito	0,63	-4,61	26,10
14	Dolomito	0,80	-6,57	24,09
15	Dolomito	0,93	-6,53	24,13
16	Dolomito	0,79	-7,15	23,49
17	Dolomito	0,76	-6,07	24,60
18	Dolomito	0,53	-6,78	23,87
19	Dolomito	0,67	-6,96	23,68
20	Dolomito	0,34	-6,67	23,99
21	Dolomito	0,33	-5,88	24,80
22	Calcário	-0,42	-7,66	22,97
23	Calcário	-0,30	-7,42	23,21
24	Calcário	-0,55	-8,49	22,11
25	Calcário	-0,58	-7,89	22,73
26	Calcário	-0,04	-6,85	23,79
27	Calcário	-0,29	-7,76	22,86

Tabela 3.2 - Composição de elementos de isótopos de carbono e oxigênio de amostras do perfil PCD.

AMOSTRAS	LITOLOGIA	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$
1	Calcário	10,21	-8,90	21,69
2	Calcário	9,22	-6,79	23,86
3	Calcário	9,84	-6,46	24,20
4	Calcário	10,77	-5,47	25,22
5	Calcário	11,14	-6,13	24,54
6	Calcário	11,10	-6,87	23,78
7	Calcário	12,10	-4,42	26,30
8	Calcário	12,17	-4,10	26,64
9	Calcário	12,10	-5,03	25,67
10	Calcário	11,18	-5,93	24,75
11	Calcário	11,29	-5,37	25,33
12	Calcário	11,76	-5,24	25,46
13	Calcário	11,76	-5,95	24,73
14	Calcário	12,42	-4,79	25,92
15	Calcário	11,89	-6,41	24,25
16	Calcário	12,64	-4,01	26,72
17	Calcário	11,69	-4,51	26,21
18	Calcário	12,35	-4,72	25,99
19	Calcário	12,49	-5,30	25,39
20	Calcário	12,97	-5,00	25,71
21	Calcário	14,24	-3,69	27,06
22	Calcário	13,15	-5,59	25,09
23	Calcário	14,57	-5,14	25,56
24	Calcário	12,21	-5,61	25,07
25	Calcário	14,77	-4,35	26,38
26	Calcário	14,13	-4,30	26,43
27	Calcário	13,58	-4,76	25,95
28	Calcário	12,87	-4,22	26,51
29	Calcário	11,89	-5,12	25,59
30	Calcário	12,63	-4,79	25,92
31	Calcário	13,04	-4,82	25,89
32	Calcário	14,22	-4,13	26,60
33	Calcário	13,47	-3,62	27,13
34	Calcário	12,82	-4,15	26,58
35	Calcário	12,76	-5,16	25,54

36	Calcário	12,13	-5,37	25,33
37	Calcário	12,51	-5,51	25,18
38	Calcário	11,41	-5,64	25,05
39	Calcário	12,39	-5,50	25,19
40	Calcário	12,56	-4,97	25,73
41	Calcário	11,81	-4,94	25,77
42	Calcário	12,85	-4,55	26,17
43	Calcário	9,34	-9,00	21,58
44	Calcário	10,60	-6,03	24,64
45	Calcário	11,60	-5,91	24,76
46	Calcário	11,33	-5,78	24,90
47	Calcário	12,06	-4,40	26,32
48	Calcário	11,77	-5,36	25,33
49	Calcário	11,96	-5,54	25,15
50	Calcário	11,67	-4,56	26,16
51	Calcário	11,60	-5,68	25,01
52	Calcário	11,94	-5,23	25,47
53	Calcário	9,87	-8,75	21,84
54	Calcário	12,48	-4,38	26,34
55	Calcário	12,18	-5,23	25,47
56	Calcário	10,87	-6,16	24,51
57	Calcário	12,13	-5,28	25,42
58	Calcário	11,63	-5,74	24,94
59	Calcário	10,77	-5,65	25,03
60	Calcário	10,17	-8,46	22,14
61	Calcário	9,00	-8,69	21,90
62	Calcário	10,34	-5,99	24,68
63	Calcário	12,05	-5,24	25,46
64	Calcário	12,48	-4,79	25,93
65	Calcário	12,33	-5,31	25,39
66	Calcário	11,91	-5,53	25,16
67	Calcário	11,99	-5,44	25,26
68	Calcário	12,04	-5,59	25,10
69	Calcário	12,14	-5,31	25,39
70	Calcário	12,07	-5,20	25,50
71	Calcário	12,23	-5,00	25,71

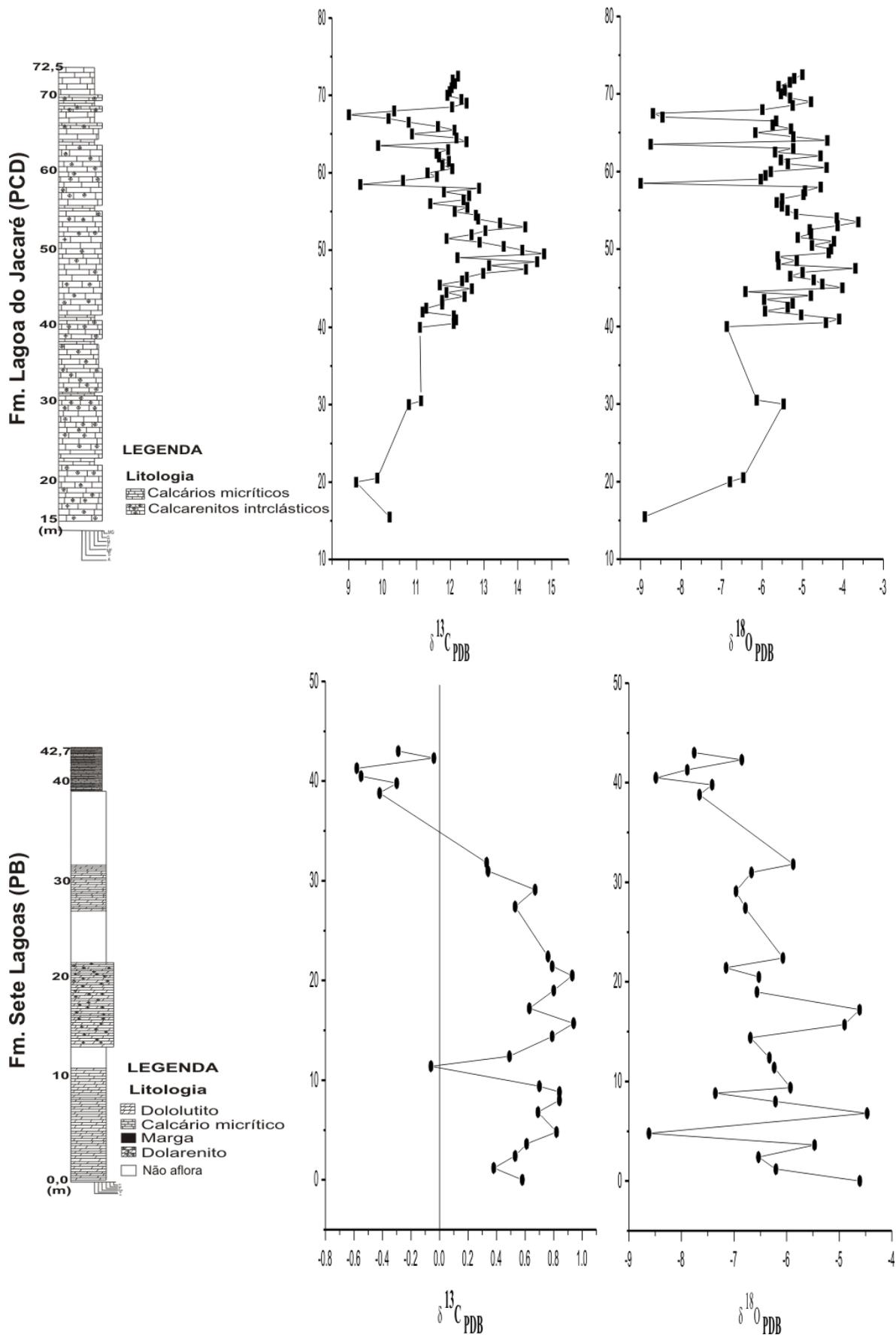


Figura 3.2 - Perfil isotópico em seção de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí: Seção da pedra Britaca (PB) e do paredão córrego das Dores (PCD) com a composição dos isótopos estáveis de Carbono e Oxigênio.

3.5 - Discussões

A curva isotópica de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ da Formação Sete Lagoas apresenta dois conjuntos de valores que variam entre -0,58 a -0,04‰ e 0,33 e 0,94‰. Este contraste coincide com o registro estratigráfico, sendo os valores positivos relacionados à sucessão basal (dolomitos) e os valores negativos correspondentes aos calcários micríticos e laminados.

Os perfis isotópicos apresentados revelam um comportamento da curva isotópica de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ da base da Formação Sete Lagoas, em que os valores positivos desta sucessão são interpretados como função da recristalização sofrida pelos carbonatos em eventos diagenéticos. Caso estes processos não fossem intensos (como observado) estima-se que os valores seriam negativos. Os calcários micríticos laminados da Formação Sete Lagoas apresentam valores negativos nos quais representam rochas preservadas de eventos pós-deposicionais. Os valores negativos do $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ foram encontrados em um nível de calcário micrítico laminado e pouco recristalizado. Desta forma, como não ocorreu dolomitização ou recristalização, considera-se que esta assinatura seja primária e represente condições deposicionais originais. Neste caso, sugere-se um momento de entrada de águas frias com restrita produção orgânica na bacia, associada às últimas incursões de geleiras terminais no início do desenvolvimento da bacia Bambuí.

Esta assinatura parcial da Formação Sete Lagoas é similar à aquela observada em calcários e dolomitos basais do Grupo Bambuí em outras regiões do estado de Goiás (Santos *et al.* 2000 e Alvarenga *et al.* 2007). Tais estudos indicam que as razões isotópicas com valores negativos sejam atribuídas à influência da deglaciação neoproterozóica.

Na Formação Lagoa do Jacaré, observa-se uma forte tendência de elevação dos valores o que indica diferenças paleoambientais em comparação com os da Formação Sete Lagoas.

Foi evidenciado também pela curva isotópica de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, que os calcários da Formação Lagoa do Jacaré são completamente distintos dos dolomitos e dos calcários micríticos da Formação Sete Lagoas. Tais assinaturas mostram como o $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ é útil para discriminar os carbonatos, mostrando condições paleoambientais diferentes durante a deposição. Os calcários da Formação Lagoa do Jacaré apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ fortemente positivos, oscilando entre 9 e 14,77‰. Esses valores estão relacionados aos depósitos carbonáticos ricos em matéria orgânica provenientes de deposição de fácies de águas que proporcionaram a preservação da matéria orgânica, o que é corroborado pela análise dos próprios carbonatos pretos ricos em carbono orgânico.

Os valores altos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ dos carbonatos da Formação Lagoa do Jacaré também podem ser relacionados a um contexto sedimentar sob condições marinhas de circulação restrita. A restrição da bacia é corroborada pela ampla preservação da matéria orgânica, que

em condições de maior circulação apresentaria forte tendência de oxidação e eliminação do registro geológico. Outro aspecto importante para se explicar as razões isotópicas encontradas na Formação Lagoa do Jacaré são as oscilações de escala global nos reservatórios de carbonato orgânico e inorgânico (Santos *et al.* 2000).

Os sedimentos terrígenos da bacia Bambuí foram depositados em uma plataforma marinha rasa associada a uma área fonte com relevo rebaixado, tendo em vista a ausência de areia na maior parte da sucessão sedimentar.

Os sedimentos carbonáticos da bacia do Bambuí foram depositados em contextos contrastantes. A partir da análise das razões isotópicas e das estruturas sedimentares preservadas podem-se propor os controles responsáveis pela deposição destes sedimentos: a) valores reduzidos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ permitem avaliar um cenário pós-glacial e b) aumento progressivo da temperatura das águas, maior restrição da bacia e aumento da preservação da matéria orgânica no sistema marinho o que resulta em valores elevados de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$.

Dois fatores podem explicar a presença de baixos valores de $\delta^{18}\text{O}$: aporte de água meteórica continental e troca isotópica de O entre carbonatos e silicatos, incluindo argilominerais. Desta forma, sugere-se que os carbonatos da Formação Lagoa do Jacaré sofreram maior interferência de processos de troca isotópica, uma vez que apresentam maior intervalo de variação do $\delta^{18}\text{O}$. A substituição a partir da estrutura de silicatos é justificada, pois, os carbonatos ocorrem na forma de lentes interdigitadas com pelitos ricos em argilominerais (principalmente ilita). A evaporação é outro fator que pode controlar as razões isotópicas do oxigênio, resultando em mais valores baixos que aqueles encontrados no equilíbrio do sistema marinho. A composição de $\delta^{18}\text{O}$ é variável e depende da extensão relativa da área livre para a evaporação.

Os registros isotópicos referentes ao $\delta^{18}\text{O}$ não possibilitaram a discriminação entre as diferentes fácies de carbonatos. Os valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ da Formação Sete Lagoas variam entre (-8,62 a -4,47‰), enquanto a assinatura isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ da Formação Lagoa do Jacaré apresenta valores entre (-9 a -3,62‰). Tais assinaturas isotópicas são muito semelhantes, o que leva a concluir que há extrema sensibilidade de $\delta^{18}\text{O}$ às alterações decorrentes de percolação de fluídos, principalmente de águas meteóricas que homogeneízam estas razões isotópicas e substituições entre carbonatos e silicatos.

CAPÍTULO IV

INTEGRAÇÃO DE DADOS E DISCUSSÕES

4.1 INTRODUÇÃO

A partir da integração de fácies, análise de sua associação, da estratigrafia isotópica de Carbono e Oxigênio foi possível identificar os ambientes de sedimentação responsáveis pela deposição do Grupo Bambuí na região em estudo, além de determinar como eram as variáveis que controlavam a sedimentação em certo período de tempo.

A partir destes dados foi possível observar os fenômenos de variação do nível relativo do mar (transgressões e regressões), os processos associados à deposição, inferir sobre a subsidência da bacia e discutir sobre sua paleogeografia.

A integração das informações mostra que o Grupo Bambuí na área em estudo é diferente à maior parte da porção externa da Faixa Brasília, e significativamente análogo da porção central da Bacia no Cráton São Francisco, por exemplo, representada pela região da Serra do Ramalho. Sobre o cráton do São Francisco as unidades carbonáticas são espessas e ocorrem de forma contínua, onde as interrupções laterais são apenas causadas por falhas normais. Desta forma, serão descritas a seguir alguns componentes responsáveis pela sedimentação, disposição lateral das fácies e arcabouço geral da deposição.

4.2 PALEOGEOGRAFIA

O controle da paleogeografia local é marcado pelo relevo ondulado a suave ondulado do embasamento. Além do relevo regional ondulado a suave ondulado há ainda situações locais com feições suaves e abruptas resultando em diferentes condições paleoambientais propiciando o desenvolvimento de diferentes processos deposicionais. Este quadro paleogeográfico resulta no desenvolvimento de uma plataforma mista com sedimentação simultânea de rochas carbonáticas e siliciclásticas.

Ao contrário do modelo clássico de plataformas carbonáticas zonadas ou em rampa, a paleogeografia da região de estudo é extremamente irregular, com fundos rebaixados que controlam a deposição das fácies de baixa energia e altos fundos com águas mais agitadas ou de mais alta energia, mais quentes e limpas, inclusive possibilitando a ocorrência esporádica de exposição subaérea como mostra a Figura 4.1. É importante salientar que mesmo nos altos fundos são depositadas lamas carbonáticas a medida que o nível do mar avança (transgressão marinha).

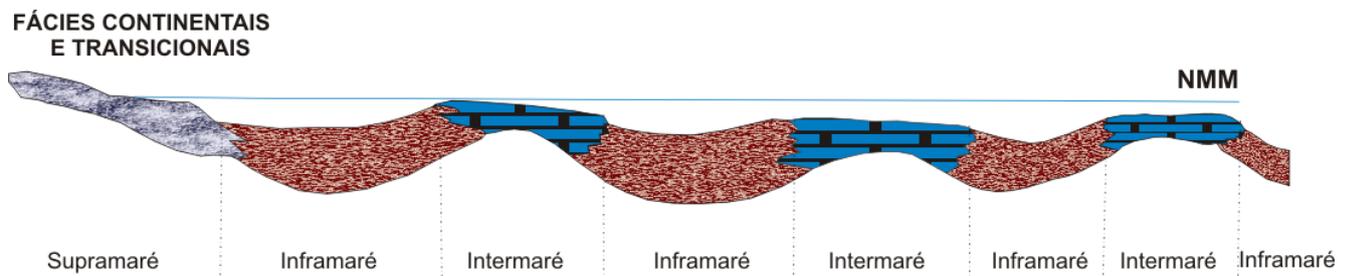


Figura 4.1 - Figura esquemática ilustrando a plataforma mista controlada pela paleogeografia na região de estudo.

A faciologia de sucessões carbonáticas associadas a plataformas mistas mostra que os calcários podem ser depositados por distintos processos em diferentes ambientes, desde porções internas da plataforma e fácies transicionais deltáicas, dominadas por marés (Spalletti *et al.* 2000) até em porções externas de plataformas sob domínio de tempestades (Rowe 2002).

Fácies carbonáticas interdigitadas a sedimentos terrígenos também ocorrem em diferentes condições de temperatura das águas, tendo sido descritas até em condições glaciais, compondo fácies de calcários bioclásticos intercalados a ruditos glaciogênicos (Eyles & Eyles 1992).

Campos *et al.* (submetido) mostram de forma sintética e esquemática os principais tipos de plataformas e ambientes tectônicos em que é desenvolvida a sedimentação mista (Figura 4.2). Os macro-controles da sedimentação simultânea carbonática-siliciclástica incluem: paleogeografia do embasamento da bacia, variações eustáticas em diferentes escalas de tempo, tectônica sin-deposicional e posicionamento e distribuição da zona fótica.

A natureza dos sedimentos na porção externa da Faixa Brasília mostra que o relevo da área fonte (externa à bacia) era arrasado, isto é, com relevo aplainado e com pequeno gradiente, em virtude da ampla predominância de carbonatos e pelitos e ausência de areia na bacia Bambuí. Apenas no topo desta sucessão ocorrem materiais na fração areia, os quais são característicos de uma área fonte juvenil. Estas rochas psamíticas são representadas por subarcóseos, grauvacas e arcóseos da Formação Três Marias, cuja deposição é atribuída ao relevo gerado pelas cadeias de montanhas resultantes das primeiras *nappes* da evolução da Faixa de Dobramentos Brasília.

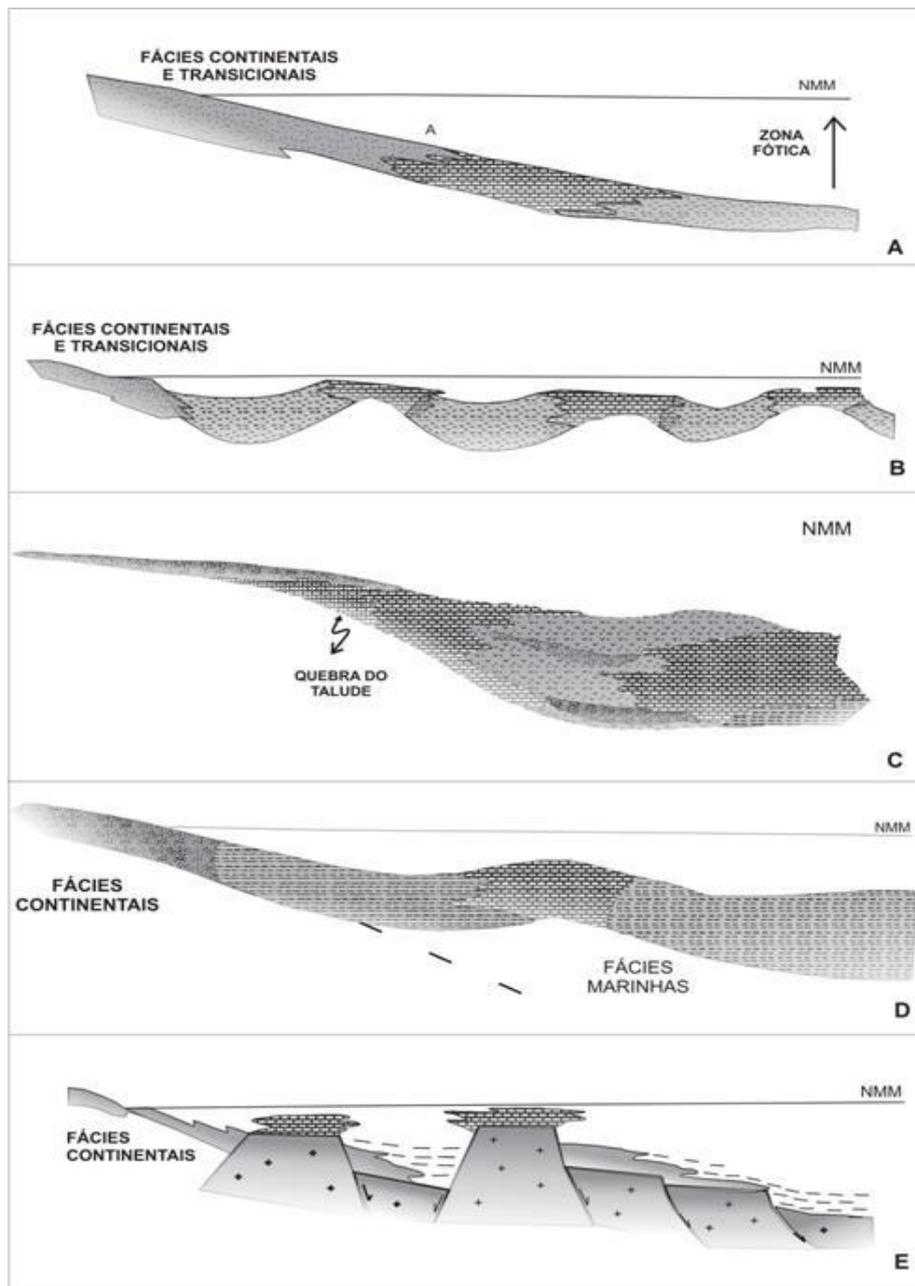


Figura 4.2 - A. Rampa siliciclástica-carbonática, controlada pela presença de zona fótica em águas limpas na porção externa da plataforma onde a entrada de terrígenos é limitada; **B.** Plataforma mista com controle definido pela paleogeografia que permite a presença de águas rasas, limpas e quentes, lado a lado com porções mais profundas onde ocorre a deposição de terrígenos; **C.** Plataforma carbonática turbidítica com interdigitação de fácies clásticas arenosas e pelíticas; **D.** Plataforma mista com deposição de barras de calcários oolíticos com terrígenos a partir da dinâmica de elevação / rebaixamento eustático do nível do mar e **E.** Sedimentação mista controlada por tectônica de blocos que possibilita a presença de águas profundas e rasas lado a lado (Segundo Campos *et al.* submetido).

4.3 AMBIENTES DEPOSICIONAIS

As plataformas carbonáticas são sistemas deposicionais extremamente dinâmicos, devido a flutuações no nível do mar e variações na taxa e estilo de subsidência causando mudanças nas condições ambientais. Além da paleogeografia as plataformas carbonáticas são

fortemente influenciadas pela produção orgânica, uma vez que carbonatos apresentam natureza fortemente vinculada à atividade de invertebrados e algas. No caso dos carbonatos proterozóicos a deposição era vinculada a processos químicos além da indução por atividade de algas e cianobactérias, uma vez que não existiam invertebrados com carapaça carbonática como no fanerozóico.

Os principais elementos morfológicos modernos do sistema deposicional de linha de costa (*shoreline*) a marinho raso são evidenciados na Figura 4.3. O *foreshore* consiste na porção acima da linha de maré baixa, em contrapartida ao *shoreface*, e *offshore* que se encontram abaixo de linha de maré baixa e pode ser afetado por ondas de tempestade, mas não por ondas de tempo bom. O ambiente de *backshore* encontra-se acima da linha de maré alta. A profundidade das ondas de tempo bom varia entre 5 a 15 metros, dependendo do clima, e da atividade das ondas gerais da bacia.

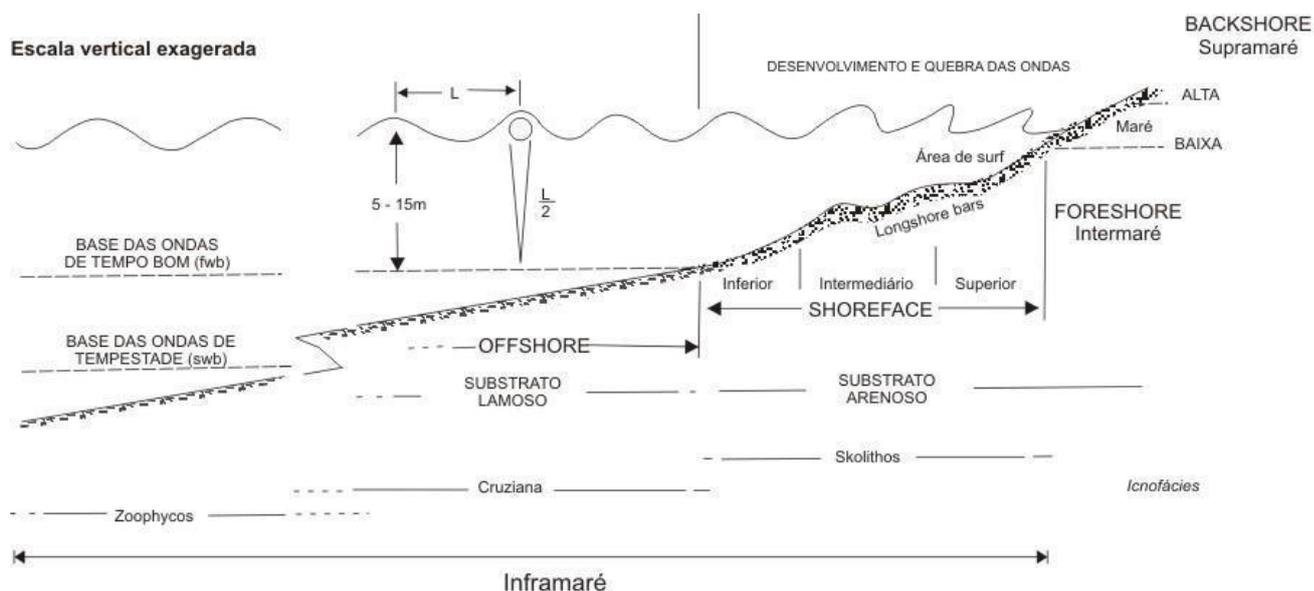


Figura 4.3 - Modelo de distribuição dos subambientes plataformais e respectivas icnofácies. (Compilado de Walker & Plint 1992).

Os carbonatos da região de Alvorada do Norte pertencentes ao Grupo Bambuí ocorrem essencialmente em ambientes litorâneos e marinhos rasos. Os principais processos deposicionais são os trativos, suspensivos, de fluxo de detritos subaquosos, de tempestade, precipitação química e incluem exposição subaérea.

A **Associação SL** representa um ambiente litorâneo com influência de águas pouco profundas associadas à deposição de fácies DL, DR, CM e MRG pertencentes a Formação Sete Lagoas resultante dos recuos do nível do mar (Ciclo Progradacional I). Com o afogamento da plataforma carbonática (transgressão marinha) foi depositado uma sucessão

predominantemente pelítica que reflete o avanço gradual do nível do mar, relacionado a trato do sistema transgressivo que é caracterizado na seção como Ciclo Retrogradacional I (Figura 4.4), pertencente à Formação Serra de Santa Helena. Neste caso processos suspensivos foram responsáveis pela acumulação de grandes volumes de lamas provenientes da porção cratônica.

Em função do amplo volume de pelitos e ausência de areias estima-se que o relevo do cráton era bastante arrasado, com padrão plano a suave ondulado.

A unidade seguinte é composta por trato de sistema de mar raso a mar muito raso com influência de águas pouco profundas. A deposição está associada a uma regressão marinha que na seção da Figura 4.4 é caracterizada pelo Ciclo Progradacional II correspondente a deposição da Formação Lagoa do Jacaré.

As Associações de fácies da Formação Lagoa do Jacaré são caracterizadas pelas condições deposicionais de inframaré típica com agradação de argilas. As fácies de calcários micríticos são provenientes de agradação de lama carbonática resultante de um regime de ambiente calmo e de baixa energia com constantes interrupções da deposição da lama micrítica. Lateralmente observam-se fácies de calcirruditos intraclásticos e calcarenitos intraclásticos com oóides que indicam existência de águas mais limpas que depois de submetidas a agitação e sujeitas a constantes retrabalhamentos resultaram na tração de grãos carbonáticos pertencentes a condições deposicionais de intermaré de mais alta energia.

Foi evidenciada a presença de gretas de ressecamento produzidas pela exposição e ressecamento de argilas e de lamas carbonáticas que se quebram segundo um padrão poligonal. As fendas ou gretas podem ser posteriormente preenchidas por areia. Tais gretas são diagnósticas de sedimentação em ambiente com lâmina d'água muito rasa, com constante exposição subaérea.

Neste contexto ocorre também uma sucessão com feições de exposição subaérea (brecha lamelar intraformacional) característica de condições deposicionais de supramaré.

Lateralmente observa-se estratificação cruzada do tipo *hummocky* resultante da ação de fluxo oscilatório ou combinado (suspensivo-trativo) relacionado a momentos esporádicos caracterizados pelos eventos de ondas de tempestade. Os carbonatos da Formação Lagoa do Jacaré encontram-se intercalados com pelitos evidenciando o momento de uma rápida transgressão com deposição dos pelitos refletindo a passagem de períodos de águas mais agitadas (alta energia) para condições de baixa energia com águas mais calmas.

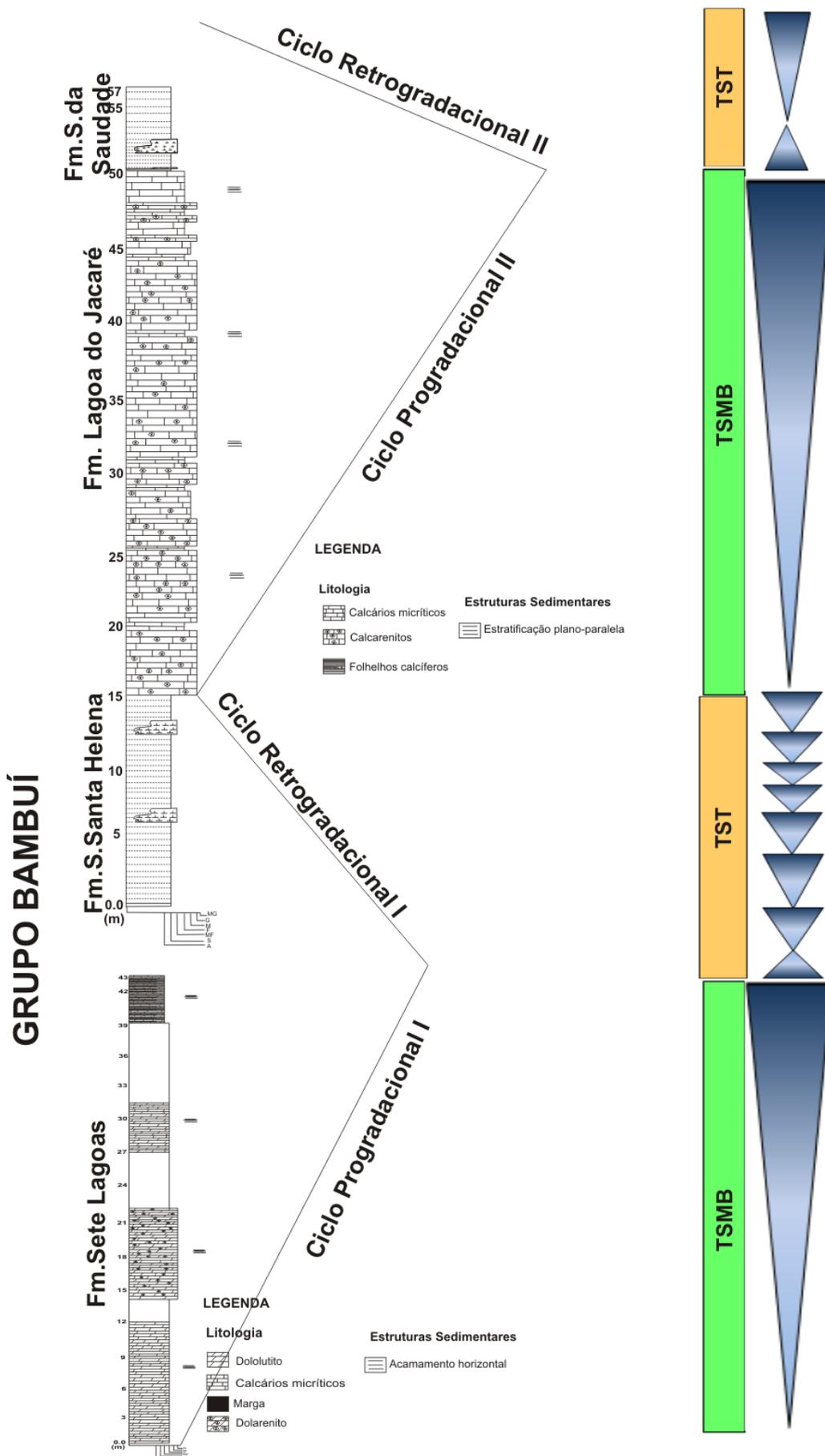


Figura 4.4 - Ciclos retrogradacionais e progradacionais associados ao Subgrupo Paraopeba do Grupo Bambuí (incluindo as formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade).

Com o afogamento da Formação Lagoa de Jacaré relacionado uma transgressão marinha ocorre a deposição dos pelitos micácios e verdetes pertencentes a Formação Serra da Saudade.

Os pelitos foram depositados em águas mais profundas abaixo da atuação da base de ondas de tempo bom, sob processos de agradação vertical de lamas. A Formação Serra da Saudade representa o Ciclo Retrogradacional II do sistema (Figura 4.4).

A grande proporção de pelitos evidencia áreas fontes já bastante arrasadas e deposição em águas mais profundas equivalente a condições de inframaré. No topo dessa unidade começa maior afluxo terrígeno representado pelos leitos de subarcósios, grauvacas e, arcóseos em condições de plataforma aberta com contribuição de condições esporádicas de tempestades da Formação Três Marias. As tempestades retrabalham os sedimentos psamo-pelíticos e são responsáveis pela formação de uma associação contendo as seguintes estruturas sedimentares: *hummocky*, camadas de base plana e topo ondulado e marcas onduladas migrantes.

Os ciclos retrogradacionais apresentam taxas diferentes de deposição sendo que os mesmos não ocorrem em uma única elevação, motivo pelo qual não ocorrem de forma contínua por toda a bacia. Ciclos retrogradacionais de menor ordem podem ser invertidos, pois os ciclos descritos representam apenas os grandes pulsos de elevação retração da lâmina d'água.

Elevações e retrações menores ou localizadas podem ser responsáveis pelas exposições subaéreas comumente observadas no registro geológico local.

O Ciclo Progradacional I (Formação Sete Lagoas) relacionado a regressão do nível do mar onde depositaram os dolomitos (dolarenito e dololutito) e calcários micríticos intercalados com lentes de margas está associado a valores muito baixo de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (de -0,58 a +0,93‰).

Tais valores reduzidos da razão isotópica de Carbono são interpretados como associados a águas mais frias onde a produtividade biológica é reduzida, resultando na acumulação de carbono isotopicamente depletado em ^{13}C .

Já no Ciclo Progradacional II (Formação Lagoa do Jacaré) correspondente a regressão marinha associada a águas rasas e quentes onde depositou fácies carbonáticas (calcário micrítico, calcarenito intraclástico e calcirrudito intraclástico) e são progressivamente mais enriquecidas em ^{13}C , devido ao aumento da produção orgânica e facilidade de deposição de partículas orgânicas aderidas à lama carbonática e aos grãos aloquímicos.

4.4 ESPESSURA DO GRUPO BAMBUÍ NA REGIÃO

A estratigrafia do Grupo Bambuí na área em estudo pode ser considerada como uma seção com estratigrafia ampliada desta unidade litoestratigráfica regional. Esta afirmação é corroborada por dois conjuntos de informações: dados de descrição do poço 1-RC-1-GO publicados por Martins & Lemos (2007) e dados de medição direta da seção que inicia do leito do Rio Corrente até o topo da Chapada da Vereda Grande (nas imediações da cidade de Alvorada do Norte).

Os dados do referido poço indicam uma espessura de 1200 metros que inclui a seção desde o embasamento do Grupo Bambuí até o topo da Formação Lagoa do Jacaré. A medição em campo, que foi corroborada por dados do mapa topográfico em associação com dados altimétricos obtidos do Google Earth, mostram uma seção de 500 metros compondo a soma das espessuras das formações Serra da Saudade e Três Marias.

Desta forma, a espessura total da estratigrafia completa do Grupo Bambuí é de 1700 metros, desde a base correspondente a Formação Sete Lagoas até a Formação Três Marias no topo.

Considerando que o Grupo Bambuí na região cratônica do São Francisco e Faixa Brasília apresenta uma espessura da ordem de 1.000 metros, pode-se considerar que a região em estudo representa um depocentro do Grupo Bambuí.

Essa seção pode ser comparada à região da Serra do Ramalho. Nesse contexto há maior taxa de subsidência com maior aporte de sedimentos e com maior espaço de acumulação. Estas áreas podem ser exemplificadas também pela porção central da Bacia do São Francisco cuja espessura total do Grupo Bambuí alcança 1.000 metros de acordo com os levantamentos sísmicos regionais realizados pela Petrobrás (Pedrosa-Soares *et al.* 1994).

Outro exemplo de analogia da espessura do Grupo Bambuí com a região de Alvorada do Norte é a Serra de São Domingos cuja espessura é da ordem de 1000 metros (Alvarenga & Dardenne 1978).

A Figura 4.5 mostra de forma esquemática a paleogeografia regional do substrato da bacia Bambuí, em que há porções de embasamento mais raso e porções com embasamento mais profundo. No caso da área em estudo, a subsidência parece ter sido maior que em outras áreas de ocorrência do Grupo Bambuí. Há ainda a possibilidade de existência de falhas normais que controlariam a espessura da pilha sedimentar, com a presença de subsidência mecânica. Entretanto, tal hipótese carece de verificação a partir de estudos de subsuperfície (poços e geofísica), uma vez que não existe evidências de campo que subsidiem esta proposição (como lineamentos regionais ou geomorfologia mais característica).

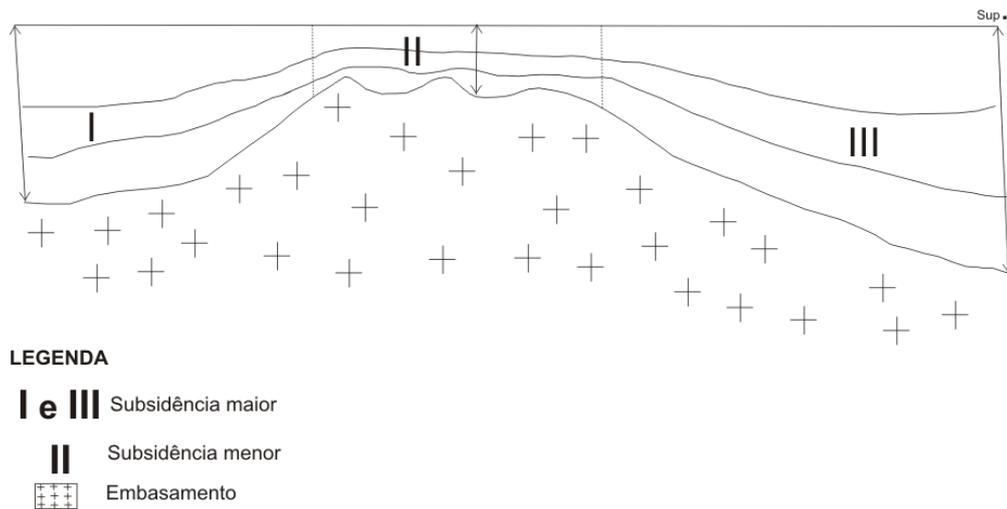


Figura 4.5 - Seção ampliada esquemática do Grupo Bambuí na região de Alvorada do Norte e de outras porções.

A presença desta seção ampliada é interpretada como tendo sido formada a partir da atuação de subsidência termoflexural na borda da Faixa Brasília, resultando na formação de um maior espaço de acomodação de sedimento, que quando submetido a aporte contínuo de sedimento resulta no aumento da espessura da pilha sedimentar. A subsidência térmica é relacionada ao resfriamento da crosta continental (embasamento cristalino). A subsidência flexural é devida à isostasia decorrente da carga sedimentar que requer afundamento crustal para estabelecimento do equilíbrio.

A seção ampliada do Grupo Bambuí na região de Alvorada do Norte mostra grande analogia com a porção cratônica da Serra do Ramalho. Estudos geológicos e *log* de sondagem realizados pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) na borda leste da Bacia do São Francisco (Serra do Ramalho) mostram que apenas a espessura da sucessão carbonática alcança mais de 400 m de espessura (Pedrosa-Soares *et al.* 1994).

Em outras porções da Bacia, ao contrário da região de Alvorada do Norte a subsidência é menor com menor aporte de sedimentos e com menor espaço de acumulação. Estas áreas podem ser exemplificadas pela região oeste do Estado da Bahia. A partir de estudos geofísicos, de informações do mapa geológico e de poços para exploração de água na região compreendida entre as cidades de São Domingos (GO) e Correntina (BA), foi possível determinar que as rochas do Grupo Urucuiá ocorrem, em parte, em contato direto com o embasamento cristalino, o que indica espessura reduzida das rochas do Grupo Bambuí (Gaspar 2006).

CAPÍTULO V

POSSÍVEIS *PLAYS* PETROLÍFEROS: POTENCIALIDADE EXPLORATÓRIA PARA HIDROCARBONETOS

5.1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da existência de gás no Grupo Bambuí data do século passado, quando moradores do baixo vale do rio Paracatu, próximo a confluência com o rio São Francisco descrevem a ocorrência de exsudações naturais nas areias aluvionares. A presença de gás era confirmada pela ocorrência de chama azul em determinados pontos na areia ou pela constante saída de bolhas de gás em corpos d'água.

Nos últimos anos o potencial petrolífero do Grupo Bambuí despertou maior interesse da Petrobras e de outras empresas de exploração de hidrocarbonetos, em função da possibilidade da existência de elementos análogos entre os *plays* eventualmente existentes no Grupo Bambuí com aqueles observados no chamado pré-sal brasileiro. Há indícios e a real possibilidade de que nos dois sistemas as rochas geradoras compostas por calcários microbiais sejam simultaneamente geradoras e reservatórios e o estudo dos sistemas aflorantes no Grupo Bambuí podem auxiliar no entendimento e modo de funcionamento dos sistemas petrolíferos situados na seção mais antiga que o Aptiano na costa atlântica brasileira.

O conceito de *play* e Sistema Petrolífero inclui todos os fatores necessários e suficientes para a formação e acumulação de óleo e gás. A diferença está na expressão geográfica: o *play* é definido, no máximo, pelos limites do reservatório, podendo ser menor na ausência de outros fatores, enquanto um sistema petrolífero poderá conter um ou mais *plays* (Silva & Maciel 1998).

Na região de estudo foi detectada, nos carbonatos intercalados com os pelitos da Formação Lagoa do Jacaré a presença de gás durante a perfuração do poço 1-RC-1-GO. Este poço foi classificado como subcomercial para gás e naquela ocasião a Petrobras perdeu o interesse na exploração de gás no Grupo Bambuí. A seção geológica esquemática desse poço é apresentada na Figura 5.1.

Atualmente, em função da mudança de política adotada pela Agência Nacional de Petróleo e Gás ANP as empresas de exploração têm a necessidade de estudar blocos de áreas sobre o Grupo Bambuí. No modelo atual as licitações para distribuição das áreas de exploração incluem blocos com elevado potencial junto com blocos de menor potencial ou com maior dificuldade de acesso, como por exemplo, áreas na Bacia de Santos associadas a áreas no Grupo Bambuí.

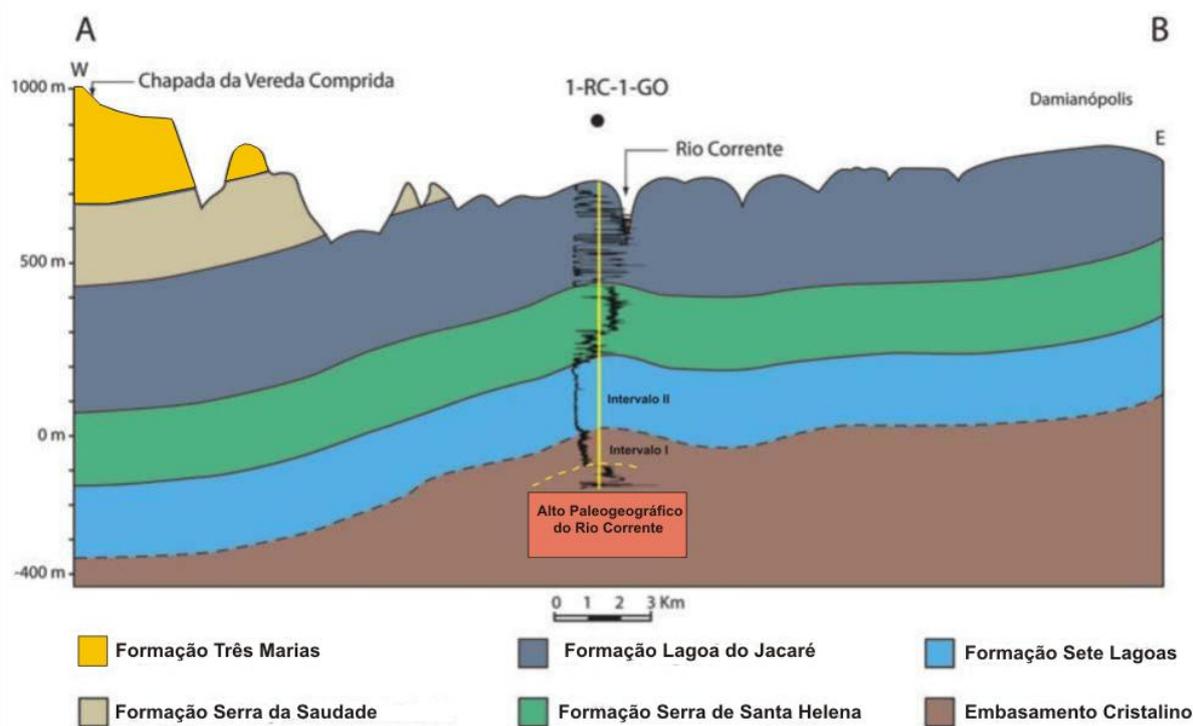


Figura 5.1 - Seção geológica esquemática com a localização do poço 1-RC-1-GO. Modificado de Tonietto 2010. Contato inferido entre o Grupo Bambuí e o embasamento marcado pela linha tracejada preta.

As análises isotópicas dos gases recuperados na região de Alvorada do Norte indicaram que o gás teve origem termoquímica, com alto grau de maturação, situando-se dentro da zona senil. Este dado é importante para se descartar a possibilidade do gás ser formado a partir da maturação de matéria orgânica vegetal recente acumulado em várzeas ou pequenas bacias recentes.

A exploração de hidrocarbonetos e reservas em bacias pré-cambrianas são fatos notórios desde a década de 70, como a exploração de petróleo nas plataformas Siberiana e Russa, no North American Mid-Continent Rift System, e no Amadeus Basin, na Austrália (Babinski & Takaki 1987).

A “moderna” exploração de petróleo, por perfuração de poços, começou em locais com indicações claras da presença de óleo ou gás na forma de exsudações. A Figura 5.2 apresenta os diferentes tipos de exsudações. A partir da observação direta das exsudações, foram descobertos os grandes campos de petróleo no mundo (Link 1952).

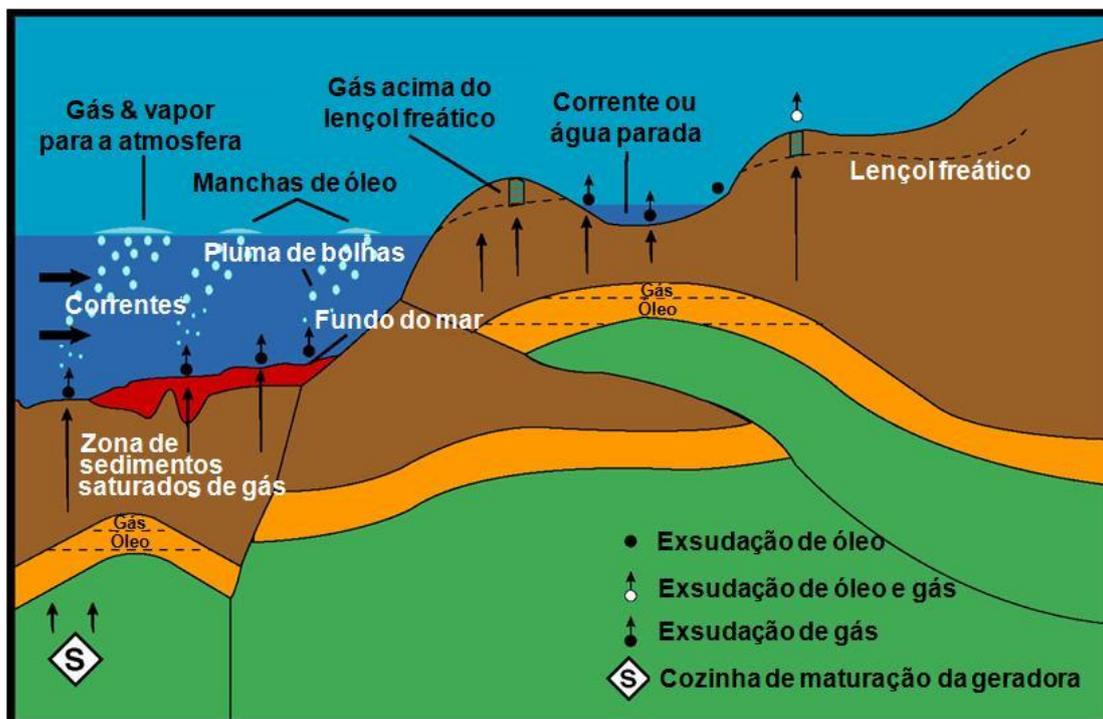


Figura 5.2 - Tipos de exsudações de óleo e gás. (Compilado de Magoon & Dow 1994).

De acordo com Magoon & Dow 1994, para a existência de uma jazida de óleo e gás é necessária a presença de quatro elementos essenciais e quatro processos atuando efetivamente.

Tais elementos correspondem a rocha geradora, rocha reservatório, rocha selante e sobrecarga sedimentar e os processos atuantes são a formação da trapa, geração, migração e acumulação. O hidrocarboneto migra para superfície por processos de difusão e flotabilidade.

5.2 SISTEMA PETROLÍFERO APLICADO AO GRUPO BAMBUÍ

O sistema petrolífero a seguir descrito para o Grupo Bambuí na região de Alvorada do Norte, Goiás pode ser replicado para outras áreas de ocorrência desta unidade litoestratigráfica, com espessuras similares e submetidas aos mesmos esforços tectônicos e ao mesmo padrão de soterramento.

5.2.1 Rocha geradora

É necessário um mínimo de matéria orgânica para que uma rocha seja classificada como potencialmente geradora de quantidades comerciais de óleo e gás. O teor mínimo de carbono orgânico estabelecido pelos centros de pesquisas das grandes companhias de petróleo é de aproximadamente 2% para folhelho e margas e 0,25% para carbonatos para ser potencialmente gerador de hidrocarbonetos.

Na área de estudo os calcários micríticos ricos em matéria orgânica, pertencentes a Formação Lagoa do Jacaré podem ser potencialmente gerador de gás. Os geradores potenciais

são calcários que ocorrem na forma de lentes de diferentes dimensões, sendo que em alguns locais estas lentes superam 40 metros de espessura e mais de 5 km² de área, sendo que a soma de toda a massa de rocha carbonática rica em MO resulta em um gerador potencial de excelente qualidade.

Embora o presente estudo não tenha realizado análises do conteúdo total de matéria orgânica, pode-se afirmar que as rochas da Formação Lagoa do Jacaré tenham pelo menos 2% de carbono orgânico total, sendo tal afirmação corroborada pelos seguintes argumentos: cor cinza escura a preta da maior parte dos carbonatos (associada ao carbono orgânico); exsudação de cheiro fétido na superfície recém partida (atribuído a saída de gás); presença de algas e cianobactérias (vinculadas à presença de oncólitos) e presença local de níveis betuminosos / graxosos.

A Figura 5.3 mostra um exemplo de fácies de calcário micrítico da Formação Lagoa do Jacaré possivelmente gerador de hidrocarboneto.



Figura 5.3 - Detalhe de afloramento de rocha carbonática com matéria orgânica considerada geradora potencial no sistema em estudo.

Os folhelhos cinza-esverdeados da Formação Serra de Santa Helena não apresentam conteúdo suficiente de matéria orgânica para serem potencialmente geradores. Apenas localmente há níveis de folhelhos pretos, entretanto, o conteúdo de carbono orgânico total é limitado para que estes possam ser geradores potenciais.

Na região de Montalvânia (MG) foram encontradas áreas de ocorrência de hidrocarbonetos gasosos em fraturas, do topo dos carbonatos negros da Formação Sete Lagoas (Babinski & Takaki 1987). Dessa forma também se consideram os carbonatos da Formação Sete lagoas da região em estudo potenciais geradores. Neste caso, a matéria orgânica seria produzida a partir das feições estromatolíticas e grãos oncolíticos encontradas em dolomitos desta unidade.

5.2.2 Rocha Reservatório

Para que o óleo e o gás fiquem retidos ou trapeados é necessária a presença de rocha permoporosa que permita o seu armazenamento. Esta rocha ou associação de fácies com elevada porosidade são denominadas de reservatório. O reservatório pode ter qualquer origem ou natureza, mas para se constituir um bom reservatório as rochas devem apresentar elevada porosidade (grande volume de espaços), além de grande interconexão destes vazios, conferindo-lhe a feição de elevada permeabilidade. A grande porosidade por se só não garante a formação de um bom reservatório, pois há a necessidade de ligação entre as gargantas dos poros para que o hidrocarboneto possa ocupar todo o espaço livre.

O tipo de porosidade para os reservatórios pode variar em função do tipo de rocha e ao processo diagenético que foi submetida, sendo que para os sistemas petrolíferos três tipos são fundamentais: primária intergranular, secundária por dissolução e secundária por fraturamento. Além destes, há ainda tipos mistos em que a porosidade é formada por dissolução e fraturamento (fissuro-cárstica) ou por fraturamento em uma matriz com espaços intergranulares (dupla porosidade).

Na área de estudo os calcários oolíticos e micritíticos da Formação Lagoa do Jacaré podem ser considerados potenciais reservatórios. Em contrapartida tais rochas possuem variação lateral, muitas vezes encontram-se interdigitadas com siltitos e folhelhos. Além da faciologia ainda são superimpostos processos diagenéticos como intensa recristalização e cimentação alterando suas características originais, interferindo deste modo em suas propriedades permoporosas. Em lâmina delgada pode-se observar que o calcário oolítico pode ser potencial reservatório na área de estudo (Figura 5.4).

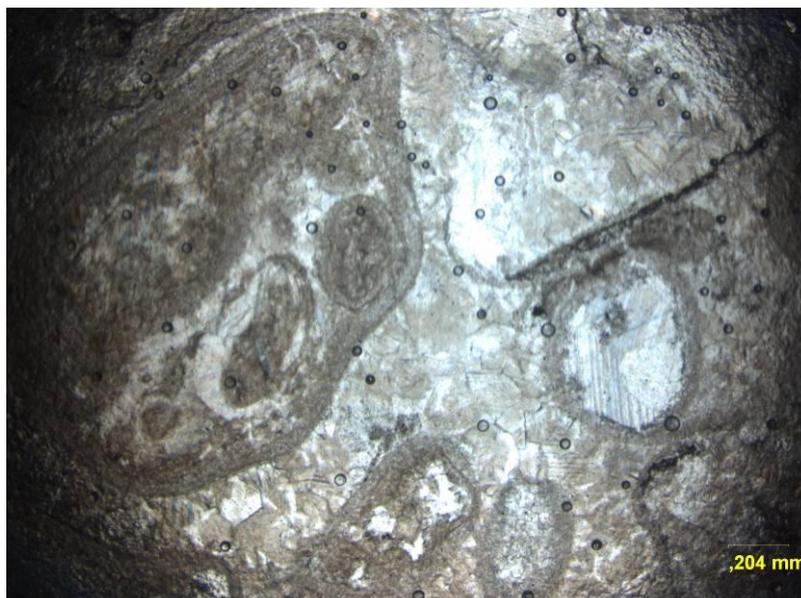


Figura 5.4 - Detalhe em lâmina delgada da rocha reservatório potencial na região de Alvorada do Norte.

Além das rochas carbonáticas ainda podem ser considerados reservatórios potenciais na região os siltitos e os arcóseos das formações Serra da Saudade e Três Marias. No caso dos siltitos laminados a porosidade é elevada, mas o tamanho dos poros é muito restrito de forma que não há a possibilidade de composição de um reservatório com porosidade intergranular, sendo apenas possível se estabelecer um reservatório do tipo fraturado, principalmente nos locais em que o fraturamento tenha sido mais significativo, resultando na maior densidade e abertura dos planos.

Da mesma forma, os arcóseos da Formação Três Marias não comporiam um reservatório do tipo primário, uma vez que os processos diagenéticos foram responsáveis pela obliteração quase total da porosidade primária. Dentre estes processos destacam-se: sobrecrecimento de grãos de quartzo, precipitação de películas de óxidos, compactação precoce e tardia, precipitação de cimentos localizados de sílica, clorita, carbonato e óxidos.

Assim, caso os arcóseos formem reservatórios na região em estudo e em outras áreas de ocorrência do Grupo Bambuí, estes serão do tipo fraturado.

5.2.3 História de Maturação

A química da matéria orgânica contida dentro de uma rocha sedimentar muda ao longo do tempo, refletindo a temperatura a que foi submetida e sua história do soterramento. Esta mudança ou atuação é medida e podem ser combinadas com dados de qualidade e riqueza para medir a quantidade de hidrocarbonetos gerados pela matéria orgânica. O nível de maturidade atual é o produto de um número de variáveis, como o estilo tectônico, a história de soterramento e história térmica. Outro conjunto de variáveis como a paleolatidade, conteúdo

de fluido, pressão, química da rocha matriz e pressão parcial de fluido dos poros pode afetar a história térmica, e assim a taxa de maturação da matéria orgânica (Law 1999).

A avaliação da maturação de uma seção geológica é baseada na tendência de aumento de profundidade a partir de amostras de um poço ou bacia. O nível de maturidade é interpretado a partir de diferentes índices e dependente do tipo de matéria orgânica ou material que é analisado.

O grau de maturação de uma rocha potencialmente geradora pode ser estimado por alguns métodos geoquímicos ou parâmetros de maturação. Tais parâmetros ou indicadores de maturação consistem em conhecer o tipo e qualidade de matéria orgânica original contida na rocha. Waples (1985 *in* Law 1999) apresenta a correlação dos indicadores de maturação mais utilizados (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Correlação generalizada dos indicadores de maturação. (Compilado de Waples 1985 *in* Law 1999).

Refletância de Vitrinita (% Ro)	Índice de Coloração de Esporos (ICE)	Índice de Alteração Termal (IAT)	Pirólise T _{máx} (°C)	Zona de Hidrocarboneto Generalizada
0.40	4.0	2.0	420	Imaturo
0.50	5.0	2.3	430	Imaturo
0.60	6.0	2.6	440	Óleo
0.80	7.4	2.8	450	Óleo
1.00	8.1	3.0	460	Óleo
1.20	8.3	3.2	465	Óleo e Gás úmido
1.35	8.5	3.4	470	Gás úmido
1.50	8.7	3.5	480	Gás úmido
2.00	9.2	3.8	500	Metano
3.00	10	4.0	500+	Metano
4.00	10+	4.0	500+	Extra Maduro

Os requisitos ideais para a acumulação e preservação de matéria orgânica inclui: grande suprimento de matéria orgânica, taxa de sedimentação de material pelítico intermediária, e ambiente pobre em oxigênio para reduzir a oxidação e degradação aeróbica microbiana da matéria orgânica (Baker Hughes 1999).

A qualidade da rocha geradora depende do tipo de matéria orgânica (Tissot & Welte 1984 *in* Law 1999). Segundo o diagrama do Klevelen a matéria orgânica pode ser classificada do tipo I, II e III como é ilustrado na Figura 5.5.

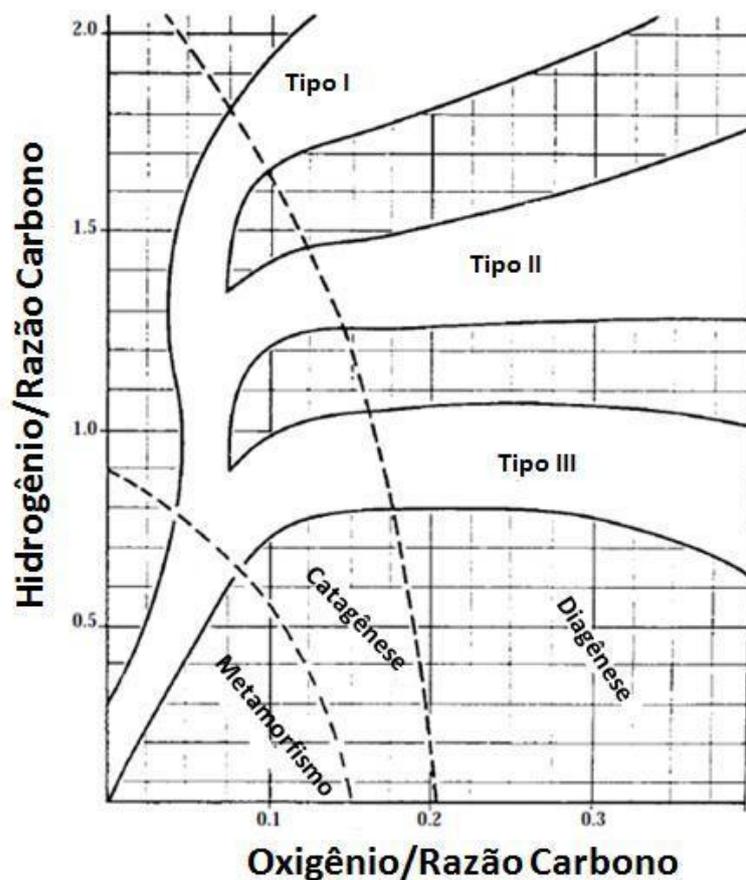


Figura 5.5 - Diagrama de Van Krevelen mostrando a progressão térmica da matéria orgânica. Fonte: Compilado de Petroleum Geology (1999) da Baker Hughes.

A matéria orgânica tipo I contém lipídeos de algas ou matéria orgânica enriquecida em lipídeos de bactérias e tem alto potencial de produção de óleo e gás; a do tipo II contém algas em ambiente marinho redutor e produz gás moderado, e a matéria orgânica tipo III contém vegetais superiores e produz baixa quantidade de gás.

Em função da própria configuração da vida no proterozóico, predominantemente na forma de algas e cianobactérias, a matéria orgânica da região em estudo é considerada como predominante do tipo II.

5.2.4 Estágio de Maturação

Uma vez que um organismo morre e se acumula no sedimento, pode-se iniciar o processo de geração do petróleo. A maioria da matéria orgânica é submetida a oxigenação e é degradada em dióxido de carbono, água e pequenas quantidades de matéria mineral. A matéria orgânica que é depositada em um ambiente redutor sofre apenas menor oxidação.

O processo de geração do petróleo está dividido em três etapas: diagenese, catagênese e metagênese. Estas divisões são meramente didáticas pois o processo é contínuo.

No entanto, uma série de diferentes eventos que ocorrem em cada um dos três estágios resulta em uma ferramenta útil para a marcação de estágios. O processo é aquele em que as moléculas biologicamente produzidas tendem a mover-se para níveis mais baixos de energia e para um estágio final de equilíbrio (Figura 5.6).

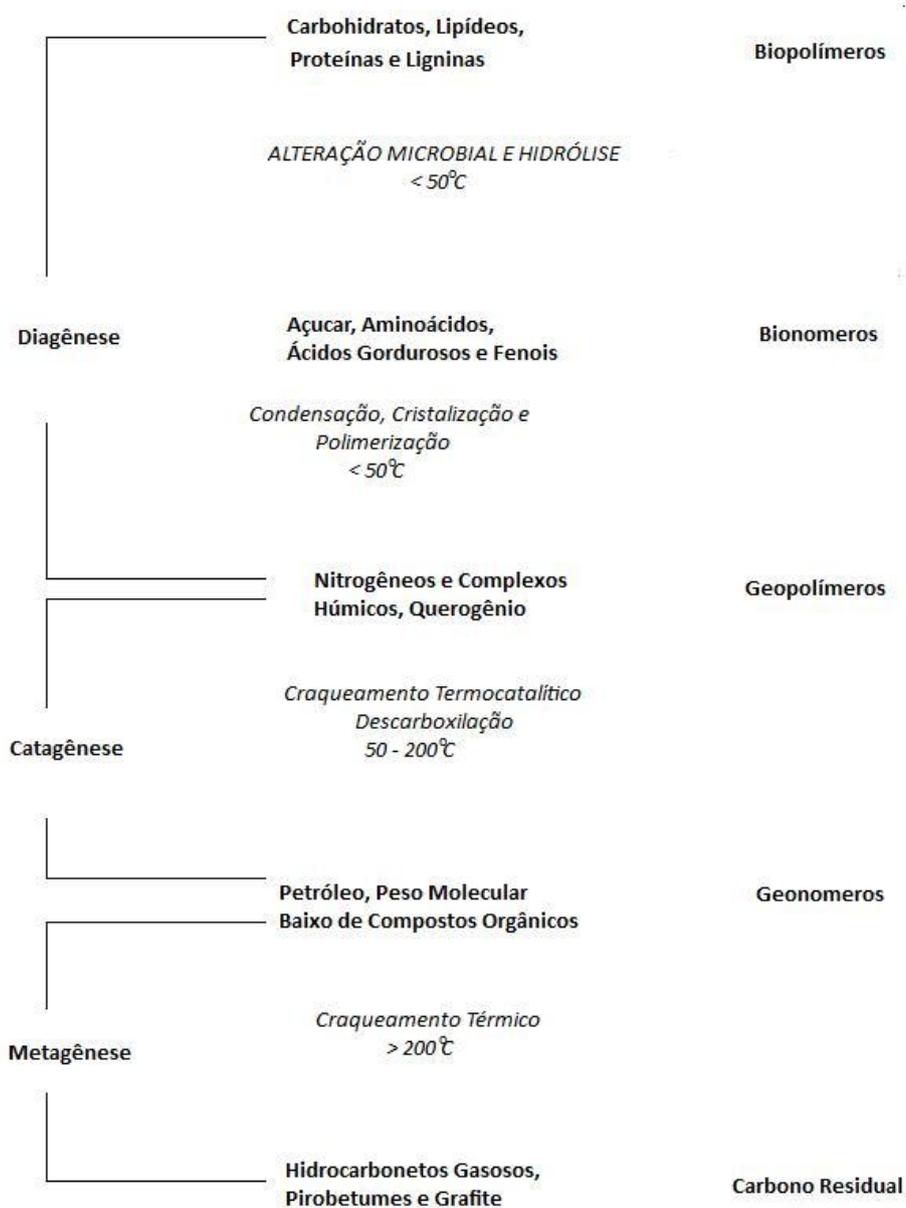


Figura 5.6 - Conversão de matéria orgânica em hidrocarbonetos. Fonte: Compilado de Petroleum Geology (1999) da Baker Hughes.

Diagenese

A primeira etapa na transformação da recém depositada matéria orgânica em petróleo é denominada diagenese. Este processo começa nas interfaces sedimentares e se estende até a profundidades variáveis, mas normalmente não mais do que algumas centenas de metros.

Durante a diagênese a matéria orgânica perde uma grande quantidade de matéria orgânica na forma de H₂O e CO₂. O hidrocarboneto significativo formado durante a diagênese é metano microbiano. Geralmente o fim da diagênese é considerado quando o componente vitrinita de querogênio apresenta uma refletância óptica de 0,5% sob imersão em óleo. Isto também corresponde a um valor de T(máx) de cerca de 410 °C a 420 °C. No caso das rochas do Grupo Bambuí não se pode utilizar o índice de reflectância de vitrinita, pois não há fitoclastos no componente da matéria orgânica.

Catagênese

Enquanto o soterramento continua, o querogênio formado durante a diagênese é exposto a aumento de temperaturas e pressões. Catagênese é o estágio da degradação térmica do querogênio que forma o petróleo e gás. Esta fase ocorre normalmente entre a profundidade de várias centenas a vários milhares de metros. O fim da catagênese é alcançado quando todas as grandes cadeias abertas do querogênio são craqueadas e a rede de Carbono restante começa a tomar ordenação mineralógica de folhas aromáticas paralelas. Geralmente este ocorre em níveis de refletância de vitrinita de aproximadamente 2% e valores de T(máx) entre 480 e 490°C. É dentro de catagênese que a maior parte do petróleo é formado, sendo esta etapa denominada de “janela de óleo”.

Metagênese

O estágio metagenético é atingido a grandes profundidades, ou em áreas de altos gradientes geotérmicos em profundidades mais rasas. O início de metagênese se dá geralmente na profundidade de 4.000 metros. Neste estágio o querogênio tem muito pouco hidrogênio restante e forma somente metano como produto de hidrocarboneto. Ao longo da metagênese a rede de Carbono residual assume uma estrutura cada vez mais ordenada, onde os anéis aromáticos do querogênio são condensados em placas paralelas como em grafite. A metagênese ocorre com valores de refletância de vitrinita com cerca de 4% e valores de T(máx) superiores a 510°C.

5.2.5 Migração

Existem dois tipos de migração: migração primária e secundária. A migração primária consiste na compactação da rocha-fonte durante o soterramento, podendo resultar em diminuição dos tamanhos dos poros, geração de microfraturamento da rocha-fonte que geralmente possui baixa permeabilidade (folhelhos e calcários), expansão da pressão de fluido

pelo aumento da temperatura e compactação das rocha-fonte com liberação de água dos argilominerais.

Em profundidades, durante o soterramento o diâmetro dos poros se torna menor em relação aos tamanhos cada vez maiores das moléculas de petróleo (Allen & Allen 2005). Rochas-fontes pobres em matéria orgânica não gerarão hidrocarbonetos suficientes para causar o microfraturamento e, assim não haverá expulsão ou migração.

A migração secundária é o percurso do petróleo ao longo de uma rocha permeável e porosa (camada carreadora) até ser interceptado e contido por um sistema armadilha / selante.

A não contenção do petróleo pela armadilha implicaria na continuidade de sua migração para zonas de menor pressão até se perder por exsudações, oxidações e degradações bacterianas.

A migração secundária começa durante o microfraturamento, diminuindo a pressão dos poros e permite a migração do petróleo para próximo da camada carreadora.

Na região de Alvorada do Norte a migração é predominantemente primária. Este fato se deve a presença das rochas geradoras, reservatórios e capeadoras muito próximas e, onde o hidrocarboneto gerado é acumulado após migração de curta distância (migração primária).

Esta conformação contribui para a eficácia do processo e para diminuir as perdas. A migração secundária é restrita e pode ocorrer lateralmente entre lentes de calcário e também ao longo de siltitos fraturados.

5.2.6 Rocha Selante

Atendidas as condições de geração, migração e armazenamento, para que se dê a acumulação de hidrocarboneto, é necessário que alguma barreira se interponha em seu caminho de migração. Esta barreira é produzida pela rocha selante, cuja característica principal é sua baixa permeabilidade.

Além da permeabilidade, a rocha selante deve ser dotada de plasticidade, característica que a capacita a manter sua condição selante mesmo depois de submetida a esforços responsáveis por sua deformação.

Quanto ao tipo, os selos se classificam em: tipo A, B, C, D, E e WZ. A efetividade do selo cresce em função do comportamento dos tipos petrográficos que o compõe, otimizando sua característica selante de mais rúptil a para mais dúctil, onde o selo mais efetivo é representado pelos evaporitos halíticos e o menos efetivo correspondente a arenito cimentado como mostrado na Figura 5.7.



Figura 5.7 - Classificação do tipo de rocha selante baseada no comportamento reológico dos materiais. (Compilado de Magoon & Dow 1994).

A principal rocha selante ou capeadora presente na área de estudo é representada pelos folhelhos cinza-esverdeado e ocres da Formação Serra da Saudade (Figura 5.8). Estas rochas geralmente são fraturadas culminando num selante pobre, isto é, apresentam permeabilidade moderada a alta.



Figura 5.8 - Afloramento de rocha potencialmente selante da Formação Serra da Saudade presente na região de Alvorada do Norte.

5.2.7 Trapas

A disposição espacial entre a rocha reservatório e rocha selante propicia a acumulação de hidrocarbonetos uma situação estrutural ou estratigráfica capaz de aprisionar o hidrocarboneto que impede que ele se desloque em qualquer direção. Esta estruturação é denominada trapa.

As trapas podem ser do tipo estrutural, estratigráfica e combinada ou mista. Trapa estrutural é formada por deformações da rocha-reservatório e das camadas que a sobrepõe, tais como dobras, fraturas e falhas. Trapa estratigráfica se forma por variações deposicionais ou por processos diagenéticos da rocha-reservatório, tais como a presença de recifes, canais fluviais, *pinch-outs*, interdigitação de fácies, cimentação ou dissolução diferenciais, ou ainda erosões da rocha-reservatório, tais como discordâncias angulares, *canyons* etc. Trapa mista consiste de elementos estruturais e estratigráficos combinados, tais como anticlinais formadas por compactação diferencial ou presença de diápiros.

Na região em estudo três tipos de trapas são potencialmente presentes: armadilha estratigráfica representada pelo formato das lentes de calcários interdigitadas lateral e verticalmente a rochas pelíticas e pela presença de domos estruturais existentes na região que possivelmente serviriam de acumulação do gás.

Os domos estruturais são comumente presentes na porção externa da Faixa de Dobramentos Brasília, sendo formados em decorrência da interferência de dobramentos com eixo aproximadamente NS e EW (Figura 5.9). Os domos de Brasília, de Caldas Novas e de Cristalina são alguns exemplos de grande porte deste tipo de estrutura. Na região de estudo este tipo de estrutura inclusive pode ser associada à paleogeografia do embasamento.

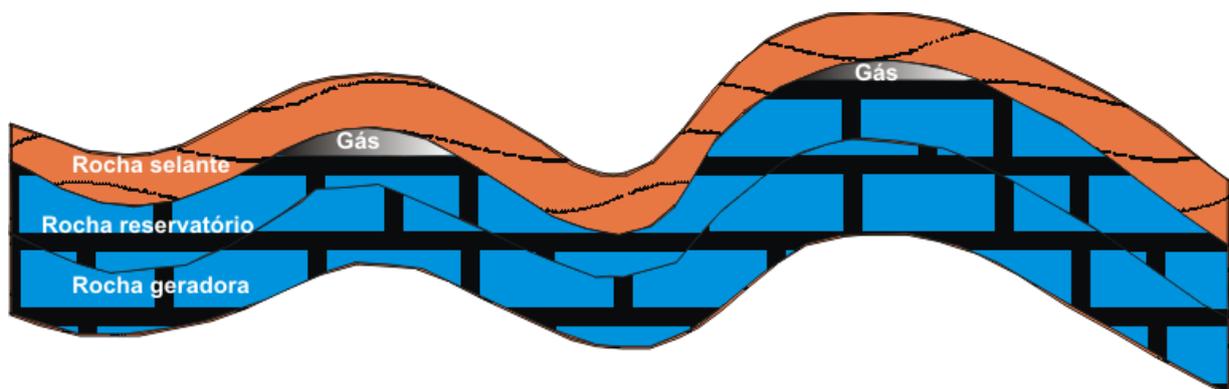


Figura 5.9 - Ilustração esquemática de domos estruturais compondo possíveis armadilhas para acumulação de hidrocarbonetos na região em estudo.

5.3 POTENCIAL DA REGIÃO PARA HIDROCARBONETOS

A Bacia Bambuí na região de Alvorada do Norte apresenta um potencial restrito para acumulações de gás em função ausência de um selante adequado e também por se tratar de uma bacia antiga (proterozóica), com história de soterramento avançada e onde as exsudações de gás seriam responsáveis pela progressiva diminuição do seu volume ao longo do tempo geológico. Este quadro reduz a potencialidade econômica para gás.

Esta mesma região apresenta potencial muito reduzido até nulo para óleo em função da supermaturação causada pelo craqueamento térmico ($> 200^{\circ}\text{C}$), responsável pela transformação do óleo em gás termoquímico. O aumento do volume e com a sobrepressão promoveria o aumento de sua expulsão.

Com base nas informações disponíveis e pela carência de estudos geofísicos e de geologia estrutural regional e de detalhe, pode-se afirmar que a bacia Bambuí na região de Alvorada do Norte ainda é considerada de elevado risco exploratório. A exploração em outras porções da bacia em que os pelitos da Formação Serra da Saudade ocorram com menor grau de fraturamento pode ser mais promissora com minimização do risco.

A Figura 5.10 ilustra de forma esquemática o sistema petrolífero com processos de geração, migração e acumulação de gás na região de Alvorada do Norte (Figura 5.10).

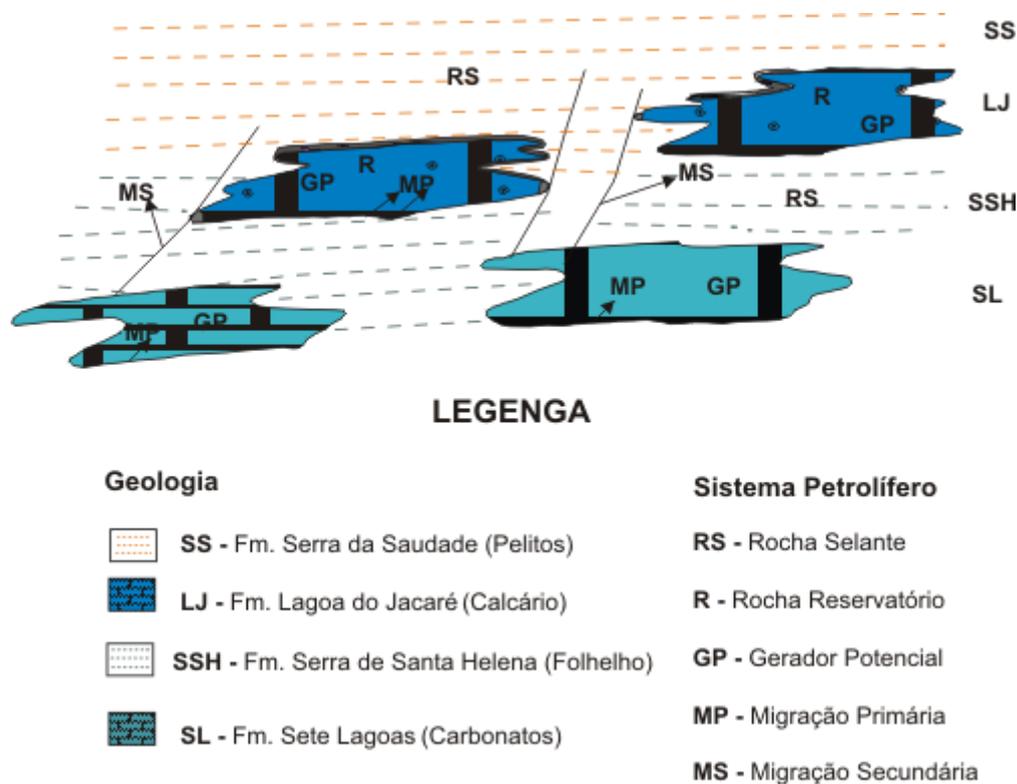


Figura 5.10 - Desenho esquemático do sistema petrolífero da região de Alvorada do Norte.

O sistema petrolífero da região de Alvorada do Norte (Grupo Bambuí) pode ser comparado com o pré-sal da Bacia de Santos, uma vez que ambos têm em comum o fato do gerador e do reservatório potencial serem compostos por calcários com matéria orgânica (carbonatos microbiais) depositados em ambiente de águas rasas.

Tais sistemas por sua vez divergem em algumas questões, como: o fato da rocha selante da Bacia de Santos apresentar elevada efetividade, sendo formada por espessa camada de evaporitos garantindo melhor armazenamento do hidrocarboneto, enquanto que na região de estudo o selo predominante é associado aos pelitos fraturados com restrita efetividade global.

A espessura sedimentar da Bacia de Santos é maior que a do Grupo Bambuí na região de Alvorada do Norte, o que resulta em histórias muito distintas para a maturação da matéria orgânica.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na região que compreende parte dos municípios de Alvorada do Norte, Simolândia, Buritinópolis, Mambaí e Damianópolis no nordeste de Goiás, afloram rochas proterozóicas e cretáceas, bem como coberturas cenozóicas diversas. A estratigrafia do Grupo Bambuí na região de estudo representa uma seção ampliada cuja espessura total é de 1700 metros, desde a base ao topo (Formação Sete Lagoas até a Formação Três Marias). Esta seção ampliada foi estabelecida em função da taxa de sedimentação maior, com maior aporte de sedimentos.

A sedimentação da sucessão carbonatático-sliciclástica é extremamente irregular e fortemente influenciada pela paleogeografia do fundo, que resulta no desenvolvimento de uma plataforma mista. O relevo do embasamento se comporta regionalmente de forma suave ondulada a ondulada o que permite o desenvolvimento de locais com águas mais rasas e mais agitadas com maior energia e locais com águas mais calmas ou de baixa energia resultando em diferentes condições paleoambientais, propiciando o desenvolvimento de diferentes processos deposicionais.

Foram definidas sete associações de fácies carbonáticas da unidade neoproterozóica, representada pelo Grupo Bambuí na região estudada.

As fácies dolulutito (DL), dolarenito (DR) e calcários micríticos (CM) com intercalações de lentes de margas (MRG) são pertencentes a Formação Sete Lagoas e representam um ambiente litorâneo com influência de águas pouco profundas resultante do recuo do nível do mar.

Fácies de calcários micríticos (CM) pertencente a Formação Lagoa do Jacaré ocorrem em toda a área pesquisada como uma seção monótona e predominante, possuindo espessura aflorante maior que 45 metros. Também faz parte da Formação Lagoa do Jacaré, ritmitos pelito-carbonatado caracterizada pela alternância de calcários micríticos (CM) cinza escuro, intercalados com camadas delgadas de folhelho verde (FL) e margas (MRG) ricas em mica detrítica; calcarenitos intraclásticos (CAi) (*packstone* intraclástico) intercalados com os calcários micríticos (*mudstone*) e com camadas delgadas de folhelho (FL) apresentando muitas vezes contato gradacional e calcirruditos intraclásticos (CRi) com intercalações de calcários micríticos (CM), calcarenitos intraclásticos (CAi) e folhelho (FL).

A sedimentação carbonática sendo continuamente interrompida pela chegada de lamias que eram depositadas como margas, camadas de folhelhos associadas a filmes argilosos que marcam o plano de acamamento nos carbonatos. A deposição dos carbonatos proterozóicos na área de estudo é associada a processos químicos, ao contrário das fácies carbonáticas

fanerozóicas cuja deposição é fortemente controlada por processos orgânicos.

Dentre os processos pós-deposicionais, a recristalização e a compactação química são muito frequentes e afetam a maior parte dos carbonatos.

A curva isotópica de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ da base da Formação Sete Lagoas, apresentam valores negativos pertencentes aos calcários micríticos laminado o que marca a assinatura primária.

Caso os dolomitos da base da Formação Sete Lagoas não sofressem intensa recristalização, estima-se que os valores seriam negativos.

As assinaturas isotópicas do $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ pelo menos na área de estudo individualizam os calcários da Formação Lagoa do Jacaré com excursões altamente positivas ($> 9\%$) dos carbonatos da Formação Sete Lagoas cujos valores máximos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ é de $0,94\%$. Tais resultados são decorrentes das diferentes taxas de sedimentação dos carbonatos associados a diferentes ambientes, principalmente com relação à produção da matéria orgânica por algas e cianobactérias que compunham os microorganismos no neoproterozóico.

Os valores isotópicos negativos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ referentes a calcário micrítico laminado da Formação Sete Lagoas são interpretados como um período de águas frias com restrita produção orgânica.

Os resultados dos registros isotópicos do $\delta^{18}\text{O}$ apresentaram valores muito semelhantes de $-8,62$ a $-4,47\%$ para a Formação Sete Lagoas e de -9 a $-3,62\%$ para a Formação Lagoa do Jacaré. Este fato mostra que as razões isotópicas deste elemento não podem ser utilizadas para discriminação dos carbonatos destas unidades. Tais assinaturas de $\delta^{18}\text{O}$ são interpretadas como função da sensibilidade do isótopo de oxigênio à alteração pós-deposicionais, como processos diagenéticos e misturas de águas meteóricas.

Na região de estudo o principal gerador e reservatório potencial é representado pelos calcários da Formação Lagoa do Jacaré. A presença de um gerador próximo ao reservatório resulta na maior acumulação de hidrocarboneto e menor perda na migração do hidrocarboneto da rocha geradora para o reservatório através de fraturas e da própria rocha capeadora (calcário) que se encontra muitas vezes interdigitada com os siltitos fraturados.

A principal rocha capeadora ou selante aflorante é o folhelho e siltito da Formação Serra da Saudade. A região de Alvorada do Norte apresenta menor potencial para o gás principalmente devido à ausência de um selante mais efetivo, e também por ser uma bacia pouco espessa e antiga o que permite que a perda da maior parte do gás gerado a partir de exsudações à superfície.

Após o término desta fase da pesquisa na região, algumas recomendações para estudos futuros são apresentadas, de forma a se ampliar o conhecimento sobre as rochas carbonáticas e seu potencial para acumulação de gás, as quais são a seguir enumeradas:

- 1 - Desenvolvimento de estudos geoquímicos sobre a matéria orgânica da rocha, de forma a se determinar seus componentes;
- 2 - Ampliação das informações sobre a composição do gás existente nos carbonatos, incluindo tipos de moléculas orgânicas e implicações nas questões da maturação da matéria orgânica original;
- 3 - Realização de estudos geofísicos, incluindo métodos gravimétricos, para se verificar o comportamento do relevo do embasamento da bacia Bambuí;
- 4 - Melhorar os dados sobre dimensões e formatos das lentes carbonáticas a partir de dados geofísicos e de campo, de modo a se determinar o real volume de carbonatos da Formação Lagoa do Jacaré;
- 5 - Detalhar a pesquisa sobre o comportamento petrofísico dos carbonatos de forma a subsidiar os estudos de análogos e correlações com os *plays* e sistemas petrolíferos do pré-sal da margem continental brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim F.F. & Martins-Neto M.A. 2001. A Bacia Intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. *In: Pinto C.P. & Martins-Neto M.A. Bacia do São Francisco geologia e recursos naturais*. SBG, Belo Horizonte. p. 9-30.
- Alkmim F.F. 2004. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e suas revelações almeidianas ao delimitá-lo. *In: Manteco-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. (Ed.) Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Ed. Beca. 17-35.
- Allègre C.J. 2008. *Isotope Geology*, Cambridge University Press, Cambridge, 512p.
- Allen P.A. & Allen J.R. 2005. *Basin Analysis - Principles and Applications*, 2ed. Blackwell Publishing, 549p.
- Almeida F.F.M. 1967. Origem e Evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM Boleim 241.1-36.
- Alvarenga C.J.S. & Dardenne M.A. 1978. *Geologia dos Grupos Bambuí e Paranoá, na Serra de São Domingos, MG*. XXX Congr. Bras. Geol., Recife, Soc. Bras. Geol., Anais 2:546-556.
- Alvarenga C.J.S., Della Giustina M.E.S., Silva N.G.C., Santos R.V., Gioia S.M.C.L., Guimarães E.M., Dardenne M.A., Sial A.N., Ferreira V.P. 2007. Variações de isótopos de C e Sr em carbonatos pré e pós-glaciação jequitai (Esturtiano) na região de Bezerra - Formosa, Goiás. *Rev. Bras. Geociências* 37(4-suplemento): 147-155.
- Babinski N.A. & Takaki T. 1987. Ocorrências, Origem e Classificação dos Gases Naturais na Bacia Proterozóica do São Francisco. *In: Congresso Brasileiro de Geoquímica*, 1, Rio de Janeiro, RJ. *Anais*, CBGq. 1987. Vol. 2, p. 369-377.
- Baker Hughes 1999. *Petroleum Geology: Introduction to Geochemistry*, p. 7-15.
- Bathurst R.G.C. 1986. Carbonate diagenesis and reservoir development: conversion, destruction and creation of pores. *Quarterly of Colorado School of Mines*. **81(4)**: 1-25.
- Blatt H., Middleton G., Murray R. 1980. *Origin of sedimentary rocks*. 2nd edn. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 782p.
- Bowen R. 1988. *Isotopes in the Earth Sciences*. Nova York. Elsevier. 647p.
- Braun O.P.G. 1988. Mapeamento de Semidetalhe em uma Área p/ Prospecção de Hidrocarbonetos, na Bacia Proterozóica do Bambuí, no Cento-Leste de Goiás. *In: Congr. Bras. de Geol.*, 35, Belém, PA. *Anais*, SBG. 1988. Vol.2, p. 673-687.
- Castro P.T.A. 1997. *Os conglomerados da borda SW do cráton do São Francisco junto à porção S da Faixa Brasília: sedimentologia e relações stratigráficas com as rochas do Grupo Bambuí*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 264p.
- Chaves M.L. 1991. Sequências cretácicas e mineralizações diamantíferas no Brasil Central e África Centro-Meridional: considerações preliminares. *Revista Brasileira de Geociências*, **10**:231-277.
- Choquette P.W. & James N.P. 1987. Diagenesis in limestones - 3, the deep burial environment. *Geoscience Canada*, **14**: 3-35.

- Costa L.A.M., Angeiras A.G., Valença J.G., Stevnazzi V. 1970. Novos conceitos sobre o Grupo Bambuí e sua divisão em tectonogrupos. *Bol. Geol.* 5, Inst. Geoc. Univ. Fed. Rio de Janeiro, p. 3-34.
- Costa M.T. & Branco J.J.R. 1961. Roteiro da Excursão Belo Horizonte - Brasília. 14º Congr. Bras. de Geol. UFMG, Inst. Pesq. Radioat., Publ. 15, 25p., Belo Horizonte.
- Dardenne M.A. 1978. Síntese sobre a Estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. *In:* Congr. Bras. Geol., 30. Recife, 1978. Anais... Recife, SBG, v.2, p. 597-610.
- Dardenne M.A. & Walde D.H.G. 1979. A estratigrafia dos Grupos Bambuí e Macaúbas no Brasil central. *In:* Simp. Geol. Minas Gerais, 1. Diamantina, 1979. *Atas...* Diamantina, SBG. p. 43-53.
- Dardenne M.A. 1981. Os Grupos Paranoá e Bambuí na faixa dobrada Brasília. *In:* SBG, Simp. Cráton do São Francisco, 1º Anais, 140-157.
- Dardenne M.A., Gonzaga G.M., Campos J.E.G. 1990. Descoberta de pavimentos estriados de origem glacial sobre arcóseos da Formação Três Marias, na região de Santa Fé de Minas, MG. *In:* Martins-Neto M.A. & Pinto C.P. 2001. A Bacia do São Francisco - Geologia e Recursos Naturais. SBG - MG, Belo Horizonte, 238p.
- Dunham R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Memoir AAPG*, nº 1, p. 108-121.
- Embry A.F. & Klovan J.E. 1971. Late devonian reef tracts of northeastern Banks Islands, Northwest Territories. *Canadian Petrology and Geology Bulletin*, v. 19, p. 730-781.
- Eyles N. & Eyles C.H. 1992. Glacial depositional systems. *In:* Facies Models, response to sea level change. Walker R.G. & James N.P. (Edit.). Geological Association of Canada. 73-100.
- Folk R.L. & Land L.S. 1975. Mg/Ca ratio and salinity: two controls over crystallization of dolomite. *A.A.P.G. Bulletin* 59: 60-68p.
- Folk R.L. 1959. Practical petrographic classification of limestones. *Bulletin AAPG*, v. 43, n1, p. 138.
- Folk R.L. 1962. Spectral subdivision of limestone types, p. 62-84. *In:* W. E. Ham (ed.), Classification of carbonate rocks. *American Association of Petroleum Geologists. Memoir*, 1.
- Fugita A.M. & Clark Filho J.G. 2001. Recursos Energéticos da Bacia do São Francisco: Hidrocarbonetos Líquidos e Gasosos. *In:* Pinto C.P. & Martins-Neto M.A. (Coordenadores) 2001. Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. Capítulo XII. SBG - MG. Belo Horizonte. p. 265-284.
- Gaspar M.T.P. 2006. Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 214p.
- Guimarães E.M. 1997. *Estudos de proveniência e diagênese, com ênfase na caracterização dos fossilícos dos grupos Paranoá e Bambuí, na região de Bezerras-Cabeceiras, GO.* Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, 260p.
- Harris P.M., Kendal C.G.St.C., Lerche I. 1985. Carbonate cementation: a brief review. *In:* Schneidermann N.R. & Harris P.M. (eds.) **Carbonate Cements**: based on a symposium sponsored by the Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Tulsa, SEPM. p. 79-95. (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special Publication, 36).
- Hoffman P.F., Kaufman A.J., Halverson G.P., Schrag D.P. 1998. A Neoproterozoic Snowball Earth. *Science* 281, 1342-1346.

- Hoffman P.F. & Schrag D.P. 2002. The Snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change. *Terra Nova*, 14, 129-155.
- Iyer S.S., Babinski M., Krouse H.R., Chemale F. 1995. Highly ¹³C-enriched carbonate and organic matter in the Neoproterozoic sediments of the Bambuí Group, Brazil. *Precambrian Res.*, 73:271-282.
- Kaufman A.J., Jiang G., Christie-Blick N. 1998. Varanger Ice Ages in India Potentially revealed by Integrated Sequence and Carbon Isotope Stratigraphy. *In: AAPG, Annual Convection, Salt Lake City, Extended Abstracts*, v.2, p. A-354.
- Knoll A.H., Hayes J.M., Kaufman A.J., Swett K., Lambert I.B. 1986. Secular variation in carbon isotope ratios from upper Proterozoic successions of Svalbard and East Greenland. *Nature*, 321, 832-838.
- Ladeira E.A. & Brito O.E.A. 1968. Contribuição à geologia do Planalto do Mata da Corda. *In: SBG, Congr. Bras. de Geol.*, 22, *Anais*, p. 181-199.
- Law C.A. 1999. Treatise of Petroleum Geology/Handbook of Petroleum Geology: Exploring for Oil and Gas Traps, p. 6-41.
- Lima O.N. 2005. Grupo Bambuí: Estratigrafia Regional no Alto São Francisco e Geologia dos Depósitos Fosfáticos da Serra da Saudade - MG. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, 142p.
- Link W.K. 1952. Significance of Oil and Gas Seeps in World Oil Exploration. *A.A.P.G. Bull*, 36:1505-1540.
- Magoon L.B. & Dow W.G. eds. 1994. The petroleum system - From source to trap: American Association of Petroleum Geologists Memoir 60, 655p.
- Martins M. & Lemos V.B. 2007. Análise estratigráfica das sequências neoproterozóicas da Bacia do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(4):156-167.
- Moore C.H. 1989. *Carbonate Diagenesis and Porosity*. Elsevier, Amsterdam, 338p.
- Nobre-Lopes, J. 1995. Faciologia e Gênese dos Carbonatos do Grupo Bambuí na região de Arcos, Estado de Minas Gerais. Univ. de São Paulo, São Paulo, dissertação de Mestrado, 166p.
- Oliveira M.A.M. 1967. Contribuição à Geologia da Parte Sul da Bacia do São Francisco e Áreas Adjacentes. Petrobrás, série ciência técnica-petróleo, publicação 3:71-105.
- Pedrosa-Soares A.C., Dardenne M.A., Hasui Y., Castro F.D.C. Carvalho M.V.A., Reis A.C. 1994. *Mapa Geológico do estado de Minas Gerais e Nota Explicativa*, Secretaria de Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos, Companhia Mineradora de Minas Gerais (COMIG), mapas e texto, 97p.
- Pflug R. & Renger F.E. 1973. Estratigrafia e evolução geológica da margem SE do Craton do São Francisco. *In: SBG, Congr. Bras. Geol.*, 27, Aracaju, *Anais...*, v. 2, p. 5-9.
- Pimentel M.M., Fuck R.A., Jost H., Ferreira F.C.F., Araújo S.M. 2000. The basement of the Brasília fold belt and the Goiás magmatic arc. *In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz F.A., Campos D.A. (eds). Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, 195-229 (Intern. Geol. Congr., 31).
- Rowe C.E. 2002. The Cunningham Formation: a mixed carbonate/siliciclastic ramp in the terminal Proterozoic of Western Canadá. The Geological Society of America. Denver Annual Meeting (October, 2002). Paper 222-1.

- Santos R.V., Alvarenga C.J.S., Dardenne M.A., Sial A.N., Ferreira V.P. 2000. Carbon and oxygen isotope profiles across Meso-Neoproterozoic limestones from central Brazil: Bambuí and Paranoá Groups. *Precambrian Res.*, **104**:107-122.
- Scholle P.A. 1978. A color illustrated guide to carbonate rock constituents, textures, cements and porosities. Mem. Am. Ass. Petrol. Geol. **27**, 241p.
- Sgarbi G.N.C., Sgarbi P.B.A., Campos J.E.G., Dardenne M. A., Penha U.C. (2001). Bacia Sanfranciscana: o Registro Fanerozóico da Bacia do São Francisco. *In*: Pinto C.V. & Martins-Neto M.A., editores (2001). Belo Horizonte, SBG-MG, p. 93 - 138. (IX Simpósio de Geologia de Minas Gerais).
- Shackleton N.J. 1987. The carbon isotope report of the Cenozoic: history of organic burial and of the oxygen in the ocean and atmosphere, marine petroleum source rocks. *In*: Brooks J., Fleet A. (Eds). *Marine Petroleum Source Rocks*. Londres (London Geological Society Special Publication, 26). P. 255-276.
- Sharp Z. 2007. *Principles of Stable Isotope Geochemistry*, Pearson Prentice Hall. 1. eds. United States of America. 344p.
- Shinn E.A. 1986. Modern carbonate tidal flat: their diagnostic features. *In*: Warne J.E. & Shanley K.W. (eds). *Carbonate depositional environments: modern and ancient*. Part 3. - Tidal Flats by Hardie L.A. Quarterly of the Colorado Scholl of Mines. Golden, Colorado. 81(1): 7-36.
- Silva S.R.P. & Maciel R.R. 1998. Foz do Amazonas Basin hydrocarbon system. AAPG International Conference and Exhibition, Rio Janeiro, Brazil, Extended Abstract, 480-481.
- Soares J.P., Berrocal J., Fuck R.A., Mooney W., Ventura D.B.R. 2006. Seismic characteristics of central Brazil crust and upper mantle: a deep seismic refraction study. *Journal of Geophysical Research*, **111**:B12302, doi:10.1029/2005JB003769.
- Spalletti L.A., Franzese J.R., Matheos S.D., Schuarz E. 2000. Sequence stratigraphy of a tidally dominated carbonate-siliciclastic ramp; the Tithonian-Early Berriasian of the Southern Neuquén Basin, Argentina. *Journal of the Geological Society*, London 157:433-446.
- Sugiuo K. 2003. *Geologia sedimentar*. Ed. Edgar Blucher Ltda.
- Tonietto S.N. 2010. Diagênese e hidrotermalismo em rochas carbonáticas proterozóicas: Grupos Bambuí e Vazante, Bacia do São Francisco. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade de Brasília, 196p.
- Tucker M.E. & Wright V.P. 1990. *Carbonate Sedimentology*. 1. ed. Oxford, Blackwell. 482p.
- Tucker M.E. 1992. *Sedimentary Petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. 2a. ed. Oxford, Blackwell, 206p.
- Uhlein A., Lima O.N.B., Fantinel L.M., Baptista M.C. 2004. Estratigrafia e evolução geológica do Grupo Bambuí, Minas Gerais (Roteiro Geológico). *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 42, Araxá, 2004. *Anais...* Araxá: SBG. CD room.
- Vieira L.C. 2007. *A Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí) e as variações paleoambientais no final do Proterozóico*. Tese de Doutorado, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 190p.
- Walker R.G. & Plint A.G. 1992. Wave- and storm-dominated shallow marine systems. *In*: R.G. Walker & N.P. James (eds.) *Facies models: response to sea level changes*. Geological Association of Canada, 219-238.

ANEXO 1

TABELA DE DESCRIÇÃO DE PONTOS

Nº do Ponto	Unidade Estratigráfica	Litotipo	Descrição	Coordenadas	
				N	E
AN 001	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8403831	361933
AN 002	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8404477	361935
AN 003	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8404968	361972
AN 004	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8405270	361848
AN 005	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8405867	361646
AN 006	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8408869	344759
AN 007	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8408663	343241
AN 008	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8406037	344290
AN 009	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8403968	342802
AN 010	BambuÍ / Fm. Lag. Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8403223	343927
AN 011	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado	8401342	342137
AN 012	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado	8402135	339493
AN 013	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8402827	339532
AN 014	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8403745	339030
AN 015	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8404722	339347
AN 016	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8404920	339351
AN 017	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8405534	339011
AN 018	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8406414	338964
AN 019	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8407442	338927
AN 020	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8408321	339661
AN 021	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8409064	340309
AN 022	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8409435	340991
AN 023	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8408721	341700
AN 024	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8408502	342613
AN 025	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8408727	343428

AN 026	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8401730	344266
AN 027	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8399590	336769
AN 028	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8398874	338372
AN 029	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8399225	338933
AN 030	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8399058	338828
AN 031	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8397304	339608
AN 032	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8397180	339676
AN 033	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8397268	338395
AN 034	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8396984	338224
AN 035	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8395638	336263
AN 036	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8395546	335356
AN 037	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8395147	333468
AN 038	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8394966	332511
AN 039	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8394582	331482
AN 040	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8394236	330238
AN 041	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8394229	329673
AN 042	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8394202	328547
AN 043	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8394288	327677
AN 044	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8393700	326898
AN 045	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8393295	325991
AN 046	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8398017	337419
AN 047	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8398483	337252
AN 048	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8398394	340319
AN 049	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8398355	340907
AN 050	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8398214	341824
AN 051	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8398074	342804
AN 052	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8397901	343858

AN 053	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8397351	344726
AN 054	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8396946	345548
AN 055	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8396123	346037
AN 056	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8395198	346414
AN 057	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8394359	346758
AN 058	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8393367	346645
AN 059	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8392622	345898
AN 060	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho marrom pouco micáceo	8391796	345399
AN 061	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8391126	344934
AN 062	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Folhelho	Folhelho verde claro a acizentado pouco micáceo	8401998	341625
AN 063	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Contato do calcário micrítico cinza escuro	8402462	341137
AN 064	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8402405	340911
AN 065	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8402643	340581
AN 066	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8401971	341671
AN 067	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8416438	344312
AN 068	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8417528	343700
AN 069	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8418473	343885
AN 070	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8419126	344721
AN 071	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8419629	344721
AN 072	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8419837	346546
AN 073	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8420034	347543
AN 074	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8421584	348995
AN 075	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8421898	350131
AN 076	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8421985	349413
AN 077	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8422329	348627
AN 078	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8422774	348892
AN 079	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8400958	335442

AN 080	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8401788	334360
AN 081	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8402835	333605
AN 082	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8404024	332969
AN 083	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8404823	332491
AN 084	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8405716	331795
AN 085	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8406470	331202
AN 086	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8407321	330675
AN 087	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8408216	330204
AN 088	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8408965	329361
AN 089	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8409602	328706
AN 90	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8411295	327523
AN 91	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8412122	326944
AN 92	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8413006	326321
AN 93	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8413774	325783
AN 94	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8414621	325184
AN 95	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8425953	354570
AN 96	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8425336	354022
AN 97	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8424580	355332
AN 98	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8424268	355803
AN 99	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8423621	356613
AN 100	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8422989	357408
AN 101	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8422748	358364
AN 102	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8422658	358640
AN 103	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8422357	359390
AN 104	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário / Siltito	Contato do calcário micrítico cinza escuro com siltito bege de acamamento horizontal	8422309	359618
AN 105	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8422298	360247

AN 106	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8422081	361244
AN 107	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8421775	361553
AN 108	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8420415	362565
AN 109	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8420266	363079
AN 110	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8420200	364058
AN 111	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8420523	365028
AN 112	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8421237	365777
AN 113	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8421869	366516
AN 114	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8421744	367517
AN 115	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8406940	331421
AN 116	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8407572	332066
AN 117	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8408076	332857
AN 118	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8408740	333464
AN 119	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8409326	334352
AN 120	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8409277	335112
AN 121	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8409421	335531
AN 122	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8409576	336021
AN 123	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8410087	336846
AN 124	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8410243	337825
AN 125	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8410756	338585
AN 126	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8410797	339597
AN 127	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8410113	340385
AN 128	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8410936	344397
AN 129	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8411937	344203
AN 130	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8411637	344552
AN 131	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8411976	344578
AN 132	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8415518	344513

AN 133	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8422011	351063
AN 134	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8420775	351303
AN 135	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8420618	351226
AN 136	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8420099	351204
AN 137	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8419960	351344
AN 138	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8424313	354736
AN 139	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8423414	354373
AN 140	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8423476	354105
AN 141	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8422923	354375
AN 142	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8422614	353828
AN 143	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8421699	353955
AN 144	BambuÍ / Três Marias	Arcóseo	Arcóseo e ou arenito arcoseano fino	8396939	339791
AN 145	BambuÍ / Três Marias	Arcóseo	Arcóseo e ou arenito arcoseano fino	8392318	342450
AN 146	BambuÍ / Três Marias	Arcóseo	Arcóseo e ou arenito arcoseano fino	8391255	343308
AN 147	BambuÍ / Três Marias	Arcóseo	Arcóseo e ou arenito arcoseano fino	8391066	344634
AN 148	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8396942	346199
AN 149	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8397413	346942
AN 150	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8397715	347868
AN 151	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8397701	348943
AN 152	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8397491	349857
AN 153	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8398174	350698
AN 154	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8398148	351549
AN 155	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8397111	352245
AN 156	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8396510	352550
AN 157	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8395860	353281
AN 158	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8396119	354211
AN 159	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8396807	354849

AN 160	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8396900	355694
AN 161	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8395227	356590
AN 162	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8392172	356466
AN 163	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8394354	356526
AN 164	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8393245	356823
AN 165	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8421464	353907
AN 166	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8421044	353922
AN 167	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8420198	354042
AN 168	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8419455	353673
AN 169	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito marrom com acamamento horizontal	8418992	353962
AN 170	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8419667	354891
AN 171	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	calcário cinza de granulometria grossa	8419470	355215
AN 172	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	siltito marrom com acamamento horizontal	8419290	355357
AN 173	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8419122	355772
AN 174	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8419845	356122
AN 175	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8418340	355913
AN 176	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8417997	355913
AN 177	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8417370	356530
AN 178	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8416425	356665
AN 179	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8415965	356081
AN 180	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8416968	356591
AN 181	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8417746	356372
AN 182	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8418803	355587
AN 183	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8418290	354836
AN 184	BambuÍ / Fm.Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8422144	351022
AN 185	BambuÍ / Fm.Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8422713	351065
AN 186	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8422274	350425

AN 187	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8422592	350169
AN 188	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8422145	348807
AN 189	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8422510	348702
AN 190	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8422902	348293
AN 191	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8422086	348283
AN 192	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8421342	347909
AN 193	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8420525	347983
AN 194	BambuÍ / L. do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8418363	343534
AN 195	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8418015	342840
AN 196	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8407494	330752
AN 197	Fm. Chapadão	Cobertura	Depósitos arenosos friáveis a pouco litificadas	8408676	331104
AN 198	Fm. Chapadão	Cobertura	Depósitos arenosos friáveis a pouco litificadas	8409037	331674
AN 199	Fm. Chapadão	Cobertura	Depósitos arenosos friáveis a pouco litificadas	8410438	328791
AN 200	Fm. Chapadão	Cobertura	Depósitos arenosos friáveis a pouco litificadas	8411040	329507
AN 201	Fm. Chapadão	Cobertura	Depósitos arenosos friáveis a pouco litificadas	8411829	330145
PC 202	Fm. Chapadão	Cobertura	Depósitos arenosos friáveis a pouco litificadas	8412619	327813
PC 203	Fm. Chapadão	Cobertura	Depósitos arenosos friáveis a pouco litificadas	8413165	328635
AN 204	Fm. Chapadão	Cobertura	Depósitos arenosos friáveis a pouco litificadas	8413885	328635
AN 205	Fm. Chapadão	Cobertura	Depósitos arenosos friáveis a pouco litificadas	8414163	329647
AN 206	Fm. Chapadão	Cobertura	Depósitos arenosos friáveis a pouco litificadas	8414508	329984
AN 207	Fm. Chapadão	Cobertura	Depósitos arenosos friáveis a pouco litificadas	8408897	328065
AN 208	Fm. Chapadão	Cobertura	Depósitos arenosos friáveis a pouco litificadas	8404094	331288
AN 209	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8404141	330339
AN 210	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8404290	329391
AN 211	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8402769	332502
AN 212	BambuÍ / S.Saudade	Siltito	Siltito marrom com acamamento horizontal	8402004	331985
AN 213	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8401635	344396

AN 214	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8401558	344396
AN 215	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8401028	347976
AN 216	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8400046	348076
AN 217	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8399056	348089
AN 218	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8399682	348672
AN 219	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8399502	349231
AN 220	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8399674	349636
AN 221	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8402778	349528
AN 222	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8402357	350197
AN 223	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8404742	349598
AN 224	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8405827	350440
AN 225	BambuÍ / Fm. S.S.Helena	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8405907	351479
AN 226	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8405982	352486
AN 227	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8406121	353436
AN 228	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8406559	354410
AN 229	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8407005	355227
AN 230	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8406633	356173
AN 231	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8406242	357130
AN 232	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8406253	357968
AN 233	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8406761	358932
AN 234	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8407233	359827
AN 235	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8407211	360826
AN 236	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8406645	360826
AN 237	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8405688	362077
AN 238	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8404947	362751
AN 239	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8404726	363812
AN 240	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8404170	365192

AN 241	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8394536	365876
AN 242	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8394018	364705
AN 243	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8394120	363672
AN 244	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8394307	362869
AN 245	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8394505	361728
AN 246	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8394725	360229
AN 247	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8400996	365783
AN 248	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8401433	365007
AN 249	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8401068	364131
AN 250	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8407365	360094
AN 251	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8408301	360092
AN 252	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8408629	359189
AN 253	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8408927	358341
AN 254	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário micrítico cinza á preto	8409678	357755
AN 255	BambuÍ / Fm. S.S.Helena	Siltito	Siltito bege com acamamento horizontal	8409927	357300
AN 256	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8417307	326137
AN 257	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8417816	327145
AN 258	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8417946	328172
AN 259	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8418871	326531
AN 260	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8419329	327864
AN 261	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8419963	328693
AN 262	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8420599	328189
AN 263	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8421168	330263
AN 264	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8422143	330840
AN 265	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8422791	330707
AN 266	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8421172	326977
AN 267	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8421148	325744

AN 268	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8414325	354736
AN 269	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8416134	362527
AN 270	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8416027	365823
AN 271	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8414372	343826
AN 272	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8403357	349547
AN 273	BambuÍ / Fm. S.Saudade	Siltito	Siltito marron com acamamento horizontal	8392742	335476
AN 274	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8420375	343752
AN 275	Fm. Chapadão	Cobertura	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	8404637	327006
AN 276	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8413476	345013
AN 277	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8397100	359000
AN 278	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza a preto de granulometria média	8397620	361500
AN 279	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza a preto de granulometria média	8398510	359720
AN 280	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza a preto de granulometria média	8398520	358430
AN 281	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8399610	361821
AN 282	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8402000	360520
AN 283	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8405000	358000
AN 284	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8410300	350630
AN 285	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza a preto de granulometria média	8411060	351200
AN 286	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza a preto de granulometria média	8411970	349980
AN 287	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza a preto de granulometria média	8411982	351960
AN 288	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8412420	350540
AN 289	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8413140	352063
AN 290	BambuÍ / Fm. Lagoa do Jacaré	Calcário	Calcário cinza de granulometria grossa	8414010	351980
AN 291	Urucuia / Fm. Posse	Arenito	Arenito avermelhado fino	8425000	364850
AN 292	Urucuia / Fm. Posse	Arenito	Arenito avermelhado fino	8415000	372600