

Diego Vicente Sperle da Silva

**ANÁLISE PETROGRÁFICA DOS ARENITOS DA FORMAÇÃO RIO DA
BATATEIRA (APTIANO, BACIA DO ARARIPE) EM UM TESTEMUNHO
DE SONDAGEM**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

UFRJ
Rio de Janeiro
2021



UFRJ

Diego Vicente Sperle da Silva

**ANÁLISE PETROGRÁFICA DOS ARENITOS DA FORMAÇÃO RIO DA
BATATEIRA (APTIANO, BACIA DO ARARIPE) EM UM TESTEMUNHO DE
SONDAGEM**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador(es):

Leonardo Borghi

Bruno Araújo

Fabia Emanuela Rafaloski Bobco

Rio de Janeiro

Junho de 2021

DIEGO, Vicente Sperle da Silva

Análise Petrográfica dos Arenitos da Formação Rio da Batateira (Aptiano, Bacia do Araripe) em um Testemunho de Sondagem: / Diego Vicente Sperle da Silva - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2021.

xx, 000 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, ano.

Orientadores: Leonardo Borghi, Bruno Araújo, Fabia Emanuela Rafaloski Bobco

1. Geologia. 2. Setor da Graduação – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Leonardo Borghi. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Diego Vicente Sperle da Silva

ANÁLISE PETROGRÁFICA DOS ARENITOS DA FORMAÇÃO RIO DA BATATEIRA
(APTIANO, BACIA DO ARARIPE) EM UM TESTEMUNHO DE SONDAGEM

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Leonardo Borghi
Bruno Araújo
Fabia Emanuela Rafaloski Bobco

Aprovada em: 8 de junho 2021

Por:

Orientador: Leonardo Borghi
(UFRJ)

Patrick Führ Dal' Bó (UFRJ)

Ismar de Souza Carvalho (UFRJ)

UFRJ
Rio de Janeiro
2021

Aos meus familiares, especialmente meus pais.

Agradecimentos

Agradeço toda a equipe do LAGESED pelo apoio e suporte, especialmente a equipe do Projeto Alagoas, por fomentar um ambiente colaborativo de produção do conhecimento. Também gostaria de agradecer a Amanda Goulart, pela paciência e generosidade em me ensinar muito sobre petrografia e geologia. Não poderia deixar de agradecer aos meus orientadores, Fabia, Leonardo e Bruno, por todo o processo de pesquisa e aprendizado.

Esta pesquisa foi realizada em associação com o projeto de P&D em andamento registrado como ANP 20.219-2, “Projeto Alagoas - Correlação estratigráfica, evolução paleoambiental e paleogeográfica e perspectivas exploratórias do Andar Alagoas” (UFRJ / Shell Brasil / ANP), patrocinado pela Shell Brasil sob a taxa de P&D da ANP como “Compromisso de Investimentos com Pesquisa e Desenvolvimento”.

“Quando a gente anda sempre em frente, não pode ir muito longe.” (Antoine de Saint-Exupéry)

Resumo

DA SILVA, Diego Vicente Sperle. **Análise Petrográfica dos Arenitos da Formação Rio da Batateira (Aptiano, Bacia do Araripe) em um Testemunho de Sondagem.** 2021. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A Formação Rio da Batateira registra a evolução de sistemas deposicionais continentais, de fluviais para lacustres, correspondentes à fase Pós-rifte da Bacia do Araripe. Há dois ciclos granodecrescentes no intervalo, o primeiro ciclo é caracterizado pela gradação de arenitos para um intervalo lutítico com grande continuidade lateral conhecido informalmente como “camadas Batateira”, ou formalmente como Membro Fundão. O segundo ciclo também é caracterizado pela gradação de arenitos para intervalos lutíticos, onde as primeiras ocorrências de carbonatos marcam o limite da Formação Rio da Batateira com a Formação Santana. A caracterização petrográfica composicional das rochas siliciclásticas desta formação pode contribuir para o entendimento do contexto geotectônico e diagenético do intervalo. O objetivo do trabalho é a caracterização petrográfica de arenitos da Formação Rio da Batateira. Inicialmente foram amostradas 21 lâminas delgadas de diferentes litologias no intervalo de interesse no poço 1PS-10-CE (Projeto Santana, DNPM/CPRM). Todas as lâminas foram descritas qualitativamente, das quais 15 lâminas de arenitos também foram descritas de forma quantitativa. A descrição observou aspectos primários, diagenéticos e da porosidade. As lâminas foram classificadas pela composição primária como arcóseos, arcóseos líticos, sublitarenitos, subarcóseo e quartzarenito. Há uma leve variação composicional entre o ciclo superior e inferior, com evidências de retrabalhamento dentro dos dois ciclos. Os principais constituintes diagenéticos identificados incluem cimento calcítico, esmectita, ilita, caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro e crescimentos secundários de quartzo e feldspatos. Os constituintes diagenéticos observados indicam clima semiárido ou árido em zona vadosa ou freática, em proximidade com canais fluviais.

Palavras-chave: Siliciclástico; Petrografia; Cretáceo.

Abstract

DA SILVA, Diego Vicente Sperle. **Petrographic Analysis of the Sandstones from Rio da Batateira Formation (Aptiano, Araripe Basin) in a Drill Core.** 2021. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Rio da Batateira Formation records the evolution of continental depositional systems, from fluvial to lacustrine, corresponding to the Post-rift phase of the Araripe Basin. There are two gradodescending cycles in the interval, the first cycle is characterized by the gradation of sandstones to a lutitic interval with great lateral continuity known informally as “Batateira layers”, or formally as Fundão Member. The second cycle is also characterized by the gradation of sandstones to lutitic intervals, where the first occurrences of carbonates mark the limit of the Rio da Batateira Formation with Santana Formation. The compositional characterization of siliciclastic rocks in this formation can contribute to the understanding of the geotectonic and diagenetic context of the interval. The objective of the work is the petrographic characterization of Rio da Batateira Formation sandstones. Initially, 21 thin sections of different lithologies were sampled in the interval of interest in the well 1PS-10-CE (Santana Project, DNPM / CPRM). All thin sections were described qualitatively, from which 15 samples of sandstone were also described quantitatively. The description looked at primary, diagenetic and porosity aspects. The samples were classified by primary composition as arkose, lithic arkose, sublitanite, subarkose and quartzarenite. There is a slight compositional variation between the upper and lower cycle, with evidence of rework within the two cycles. The main diagenetic constituents identified include calcitic cement, smectite, illite, kaolinite, iron oxides and hydroxides and secondary overgrowths of quartz and feldspars. The diagenetic constituents observed indicate a semi-arid or arid climate in a vadose or phreatic zone, in proximity to river channels.

Key-Words: Siliciclastic; Petrography; Cretaceous.

Lista de figuras

Figura 1: Distribuição das amostras no perfil litológico do poço 1-PS-10 CE. Página 3

Figura 2 - Fluxograma de descrição petrográfica com contagem de pontos e como cada constituinte é contabilizado. (ZUFFA, 1980). Página 4

Figura 3 – Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho. Página 5

Figura 4 - Mapa geológico da Bacia do Araripe, com topônimos e localização do furo de sondagem 1PS-10-CE. Adaptado de Assine (1992). Página 6

Figura 5 - Estratigrafia da Bacia do Araripe, adaptada de Assine (2007) onde originalmente a Formação Rio da Batateira é chamada de Formação Barbalha. O Andar Alagoas está destacado em cores. Página 8

Figura 6: Esquema estratigráfico destacando as tectono-sequências e superfícies identificadas na Formação Rio da Batateira. (Paula Freitas & Borghi, 2011). Onde R é a superfície de retração, D as superfícies discordantes e I as superfícies de inundação. Página 12

Figura 7 – Perfil esquemático da Formação Rio da Batateira com as sequências, trato de sistema e taxa de acomodação/sedimentação. (Scherer et al. 2015). Página 13

Figura 8: Diagrama de Folk (1968) para a classificação composicional de arenitos a partir da composição modal de feldspatos, fragmentos de rocha (litoclastos) e quartzo. Página 15

Figura 9 - Diagrama de Dickinson et al. (1983) para a classificação de ambientes geotectônicos de arenitos a partir da composição modal de feldspatos, fragmentos de rocha (litoclastos) e quartzo. Página 16

Figura 10: Lutitos do Membro Fundão na profundidade de 99,30m. (A) Laminação plano-paralela com sinais de compactação mecânica, e níveis carbonáticos e ricos em matéria orgânica. (B) Níveis ricos em ostracodes intercalados com níveis ricos em matéria orgânica. Página 18

Figura 11: Siltito na profundidade de 96m. (A) Laminação convoluta. (B) Grãos de quartzo na fração silte e areia fina, com matriz argilosa e cimentação carbonática. Página 18

Figura 12 – Imagem das lâminas em nicóis descruzados mostrando dois tipos de laminação. (A) Laminação convoluta em 45,60m. (B) Laminação plano paralela em 82,85m. Página 21

Figura 13 – Imagem das lâminas em nicóis descruzados de arenito da Formação Rio da Batateira com laminação cruzada na profundidade 66,55m, as linhas tracejadas amarelas destacam esta estrutura. Página 22

Figura 14 – Filossilicatos detríticos orientados, marcando laminação plano-paralela em arenito da Formação Rio da Batateira em nicóis cruzados na profundidade de 82,85m. Página 23

Figura 15 – Variação granulométrica de areia grossa a fina em arenito da Formação Rio da Batateira na profundidade de 74,70m, a nicóis descruzados. É importante destacar como a granulometria condiciona a cimentação nesta rocha. Página 24

Figura 16 – Bioturbação em forma de túneis em lâminas delgadas na profundidade de 58,80 m a nicóis descruzados. (a) Túnel com corte longitudinal. (b) Túneis com cortes oblíquos. Página 24

Figura 17 – Diferentes tipos de quartzo em lâminas delgadas a nicóis cruzados. (A) Quartzo monocristalino. (B) Quartzo policristalino. (C) Quartzo com inclusões na profundidade 90,30m. (D) Quartzo micrográfico na profundidade 90,30m. Página 27

Figura 18 – Diferentes tipos de feldspatos em lâminas delgadas a nicóis cruzados. (A) Plagioclásico com alteração para argilominerais. (B) Microclina. Página 28

Figura 19 – Filossilicatos em lâminas delgadas a nicóis descruzados. (A) Biotitas com sinais de cloritização. (B) Clorita detrítica. Página 28

Figura 20 – Diferentes silicatos em lâminas delgadas a nicóis cruzados. (A) Anfibólio com clivagem característica em 74,70m. (B) Titanita em 88,4m. (C) Piroxênios em 88,4m. (D) Silicato indiferenciado em 106,35m. Página 30

Figura 21 – Diferentes litoclastos metamórficos em lâminas delgadas a nicóis cruzados em 90,30m. (A) Xisto. (B) Filito e quartzito. Página 31

Figura 22 – Diferentes litoclastos sedimentares em lâminas delgadas a nicóis cruzados e descruzados. (A) Litoclasto de argilito em nicol cruzado. (B) Litoclasto de argilito, possivelmente um intraclasto em nicóis descruzados em 58,80m. (C) Litoclasto de lamito em nicol descruzado em 74,70m. (D) Litoclasto de arenito em nicol descruzado em 113,25m. Página 32

Figura 23 – Litoclastos vulcânicos em lâminas delgadas a nicóis cruzados na profundidade 82,85m. Página 33

Figura 24 – Cimentação carbonática em arenitos da Formação Rio da Batateira a nicóis cruzados. (A) Arenito com poros intergranulares preenchidos por cimento carbonático (B) cimentação carbonática com aspecto blocoso. (C) Corrosão de grãos associados à cimentação calcítica. (D) Expansão e dispersão de grãos por cimentação de calcita decorrente da evaporação de H₂O. Página 34

Figura 25 – Diferentes ocorrências de caulinita em arenitos da Formação Rio da Batateira em microscopia de luz transmitida. (A) Caulinita preenchendo porosidade intergranular em 73,45m. (B) Presença de caulinita microcristalina substituindo constituinte primários e preenchendo porosidade intergranular em 25,10m. (C) Caulinita bem formada preenchendo porosidade intergranular e constituinte primário completamente substituído por caulinita em profundidade 116,45m. (D) Caulinita preenchendo porosidade intergranular expandindo muscovita 73,45m. Página 35

Figura 26 – Óxidos e hidróxidos em arenitos da Formação Rio da Batateira a nicóis descruzados. (A) Óxido herdado da fonte, coberto por cutícula de esmectitas na profundidade 118,50 m. (B) Óxidos e hidróxidos circundando grãos e substituindo constituintes primários 82,85m. Página 36

Figura 27 – Esmectitas em arenitos da Formação Rio da Batateira a nicóis descruzados. (A) Franjas de esmectitas em constituintes primários e secundários. (B) Franjas de esmectitas circundando grãos e soltas, preenchendo porosidade intergranular. Página 37

Figura 28 – Ilita diagenética em arenitos da Fm Rio da Batateira a nicóis cruzados. (A) Cutículas de ilita em constituinte primário (B) Cutícula de ilita marcando o contorno de grãos dissolvidos. Página 37

Figura 29 – Microclina com sobrecrecimento em microscópio de luz transmitida na profundidade de 88,40m. (A) Grão mineral a nicóis cruzados. (B) Grão mineral a nicóis descruzados. Página 38

Figura 30 – Quartzo com sobrecrecimento em microscópio de luz transmitida na profundidade de 90,30m. (A) Grão mineral a nicóis cruzados. (B) Grão mineral a nicóis descruzados. Página 39

Figura 31 – Diagrama de Folk (1968) com as lâminas descritas quantitativamente plotadas. Os pontos azuis são as lâminas do ciclo inferior, abaixo do Membro Fundão. As lâminas vermelhas são do ciclo superior, acima do Membro Fundão. Página 40

Figura 32 – Síntese das porcentagens modais de constituintes que classificam a rocha e de litoclastos. Com algumas estruturas representativas e contatos erosivos identificados na descrição do poço, assim como os pontos de amostragem. Página 43

Figura 33 – Síntese simplificada e esquemática dos processos e constituintes diagenéticos. Página 48

Lista de Quadros

Quadro 1: Textura das amostras coletadas, porcentagem total de cimento e porosidade das amostras descritas quantitativamente. Página 19

Quadro 2: Estruturas e litologia das amostras utilizadas. Página 20

Quadro 3: Porcentagem total de constituintes primários em cada lâmina descrita quantitativamente, com a indicação das amostras abaixo e acima do Membro Fundão. Página 25

Quadro 4: Síntese dos resultados obtidos a partir da descrição das amostras estudadas. Página 41

Lista de abreviaturas e siglas

An - Anfibólio

Bt - Biotita

Cl- Clorita

Fi- Feldspato indiferenciado

Formação- Formação

Ft- Feldspatos

Grt- Granada

Lm - Litoclasto metamórfico

Ls – Litoclasto sedimentar

Ltt- Litoclastos totais

Lv - Litoclasto vulcânico

Mc- Microclina

Ms- Muscovita

Or- Ortoclásio

Pl- Plagioclásio

Px- Piroxênio

Qtz - Quartzo

Qtzp - Quartzo policristalino

Qtzt – Quartzo total

Tur - Turmalina

Zr- Zircão

Sumário

Agradecimentos	vi
Resumo	viii
<i>Abstract</i>	ix
Lista de figuras	x
Lista de quadros	xiii
Lista de abreviaturas e siglas	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAIS E MÉTODOS	3
3 CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA	6
3.1. Formação Rio da Batateira	9
4 REVISÃO CONCEITUAL	14
4.1 Arenitos: características e diagênese	14
4.2 Diagênese	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5.1 Texturas, porosidade e cimento	18
5.2 Estruturas	20
5.2.1 Laminações	21
5.2.2 Alinhamento de filossilicatos detríticos	22
5.2.3 Variação granulométrica	23
5.2.4 Bioturbações	24
5.3 Constituintes primários	25
5.3.1 Quartzos	25
5.3.2 Feldspatos	27
5.3.3 Filossilicatos	28
5.3.4 Outros silicatos	29
5.3.5 Litoclastos metamórficos	30
5.3.6 Litoclastos sedimentares	31
5.3.7 Litoclastos vulcânicos	32
5.4 Constituintes diagenéticos	33
5.4.1 Cimento carbonático	33
5.4.2 Caulinita	34
5.4.3 Óxidos e hidróxidos de ferro	35

5.4.4 Esmectita	36
5.4.5 Ilita	37
5.4.6 Sobrecrescimento de feldspato	38
5.4.7 Sobrecrescimento de quartzo	38
5.5 Composição	39
5.6 Diagênese	44
6 CONCLUSÕES	49
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Araripe tem cerca de 9.000 Km², sendo a maior das bacias interiores do Nordeste Brasileiro. Geomorfologicamente esta bacia se estende da Chapada do Araripe até o Vale do Cariri (Assine, 1992). Dentre as bacias interiores do Nordeste brasileiro é a mais complexa e completa (Fambrini *et al.* 2015).

O registro geológico da Bacia do Araripe tem início no Paleozoico, e está depositada sobre embasamento pré-cambriano. Sobreposto ao registro paleozoico se encontram as sequências Pré-rifte, rifte e Pós-rifte (Ponte & Appi, 1990).

No começo do intervalo Pós-rifte, separado do intervalo Rifte por uma discordância regional, se encontra o Andar Alagoas da bacia. (Assine, 2007). Este intervalo é de extrema importância para o entendimento não só da Bacia do Araripe, mas também para outras bacias sedimentares brasileiras, como análogos, incluindo de bacias de margem continental, como as bacias de Campos e Santos.

Apesar de ser uma bacia com o registro geológico tão rico e complexo, são necessários estudos em áreas específicas da geologia, a fim de esclarecer incertezas e lançar luz sobre alguns pontos ainda obscuros. Estudos petrográficos podem fornecer informações sobre a proveniência, diagênese e contexto tectônico no Andar Alagoas da bacia, principalmente nos intervalos siliciclásticos. Estas são informações fundamentais para a compreensão da sedimentação no intervalo, além de permitir a integração com outros métodos. A Formação Rio da Batateira é a primeira formação do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, e é descrita na literatura com sendo composta por dois ciclos separados por uma discordância (Scherer *et al.* 2015), embora Paula Freitas & Borghi (2011) identifiquem outras discordâncias importantes no intervalo. Descrições petrográficas em detalhe podem elucidar de há diferenças composicionais entre o ciclo inferior e superior.

O objetivo geral deste trabalho é a caracterização de aspectos texturais, composicionais e diagenéticos dos arenitos da Formação Rio da Batateira no testemunho de sondagem 1-PS-10 CE. Os objetivos específicos são a caracterização dos constituintes primários e diagenéticos, bem como relações texturais e de ordem diagenética, análise dos indicativos petrográficos que apontem variações de proveniência e delimitação de petrossequências.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram confeccionadas 21 lâminas delgadas, sendo 18 de arenitos, 1 de silito e 2 de lutitos do Membro Fundão, a partir de amostras do intervalo referente à Formação Rio da Batateira do poço 1-PS-10 CE. O testemunho encontra-se na Superintendência de Recife da Agência Nacional de Mineração, onde foi feita a descrição e coleta de amostras em 100m do poço, como pode ser visto na Figura 1.

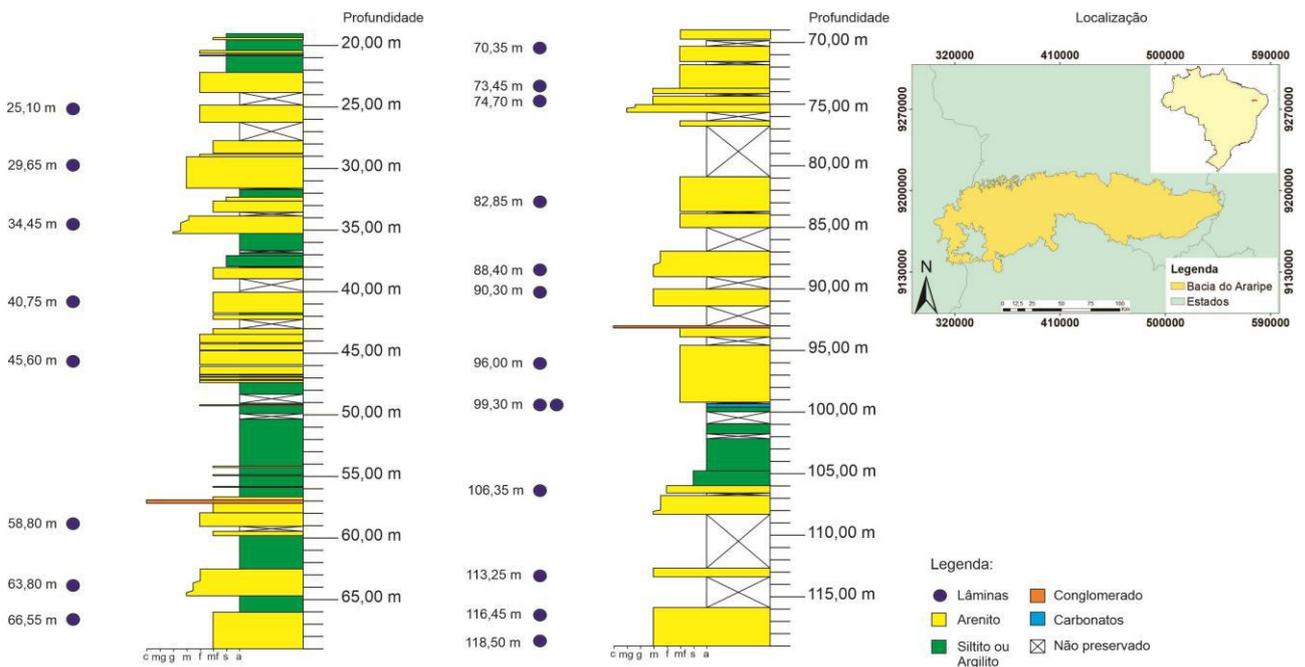


Figura 1: Distribuição das amostras no perfil litológico do poço 1-PS-10 CE.

Todas as lâminas foram inicialmente descritas de forma qualitativa através do microscópio Zeiss Imager.A2m de luz polarizada transmitida com charriot acoplado, permitindo a movimentação da lâmina em intervalos regulares. Nesta etapa, aspectos primários e diagenéticos foram observados cuidadosamente, assim como a porosidade e a textura. Em seguida, as lâminas de arenitos foram descritas de forma quantitativa, a partir do método Gazzi-Dickinson (ZUFFA, 1980) através do mesmo microscópio, onde foram utilizados 300 pontos de contagem por lâmina, espaçados de forma regular, ajustando o

espaçamento com a granulometria da rocha, para não haver mais de um ponto sobre o mesmo constituinte. No total, quinze lâminas foram descritas com contagem de pontos.

O método Gazzi-Dickinson (ZUFFA, 1980) consiste na contagem de pontos distribuídos por toda a lâmina, onde é descrito o constituinte ou poro que está localizado precisamente no cruzamento do retículo. Caso o constituinte seja um clasto constituído de mais de um mineral, o mineral será contabilizado como um monocristal se for maior do que 0,0625 mm, caso contrário será contabilizado como um fragmento de rocha. O fluxograma de descrição por este método pode ser observado na Figura 2.

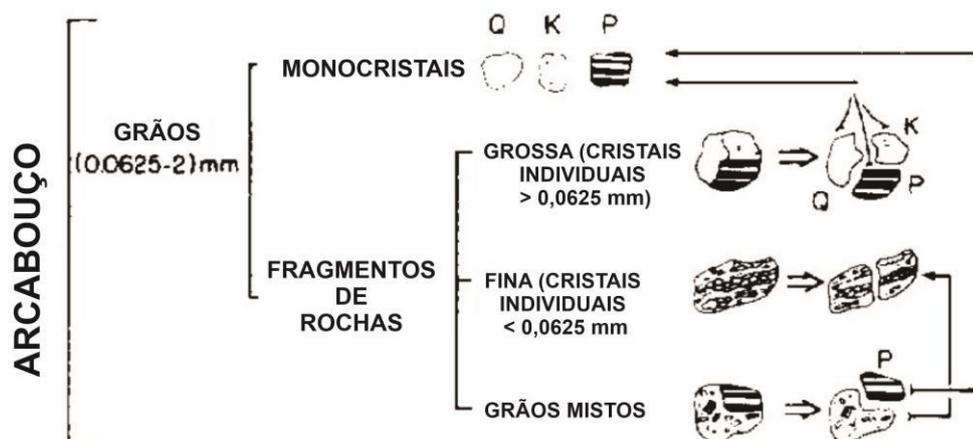


Figura 2 - Fluxograma de descrição petrográfica com contagem de pontos e como cada constituinte é contabilizado. (ZUFFA, 1980)

As informações obtidas pela descrição qualitativa e quantitativa, foram inseridas no *software* Petroledge® (De Ros *et al.* 2007). Ao fim da contagem de cada lâmina, os diagramas de Folk (1968) e Dickinson (1985) foram gerados. Os diagramas de Folk (1968) fornecem a classificação atual e original dos arenitos. Enquanto os diagramas de Dickinson (1984) fornecem o ambiente geotectônico provável de cada amostra de arenito.

As etapas metodológicas do trabalho detalhadas anteriormente podem ser vistas no fluxograma contido na Figura 3.

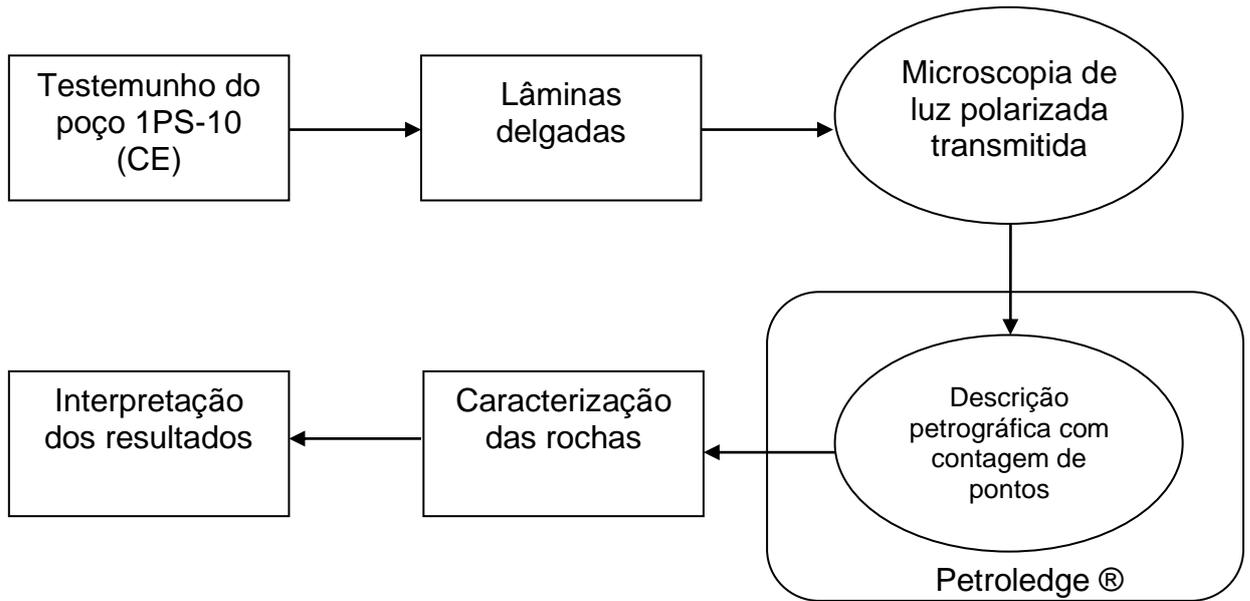


Figura 3 – Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA

A área de estudo consiste na Bacia do Araripe, que está inserida nos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí. O mapa geológico da bacia pode ser observado na Figura 4, além de alguns topônimos importantes.

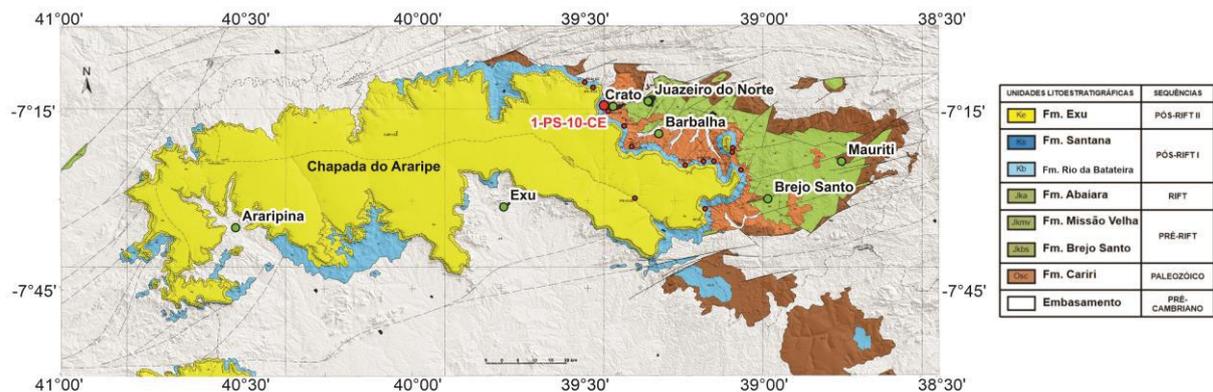


Figura 4 - Mapa geológico da Bacia do Araripe, com topônimos e localização do furo de sondagem 1PS-10-CE. Adaptado de Assine (1992)

O embasamento da Bacia do Araripe tem como composição rochas da Província Borborema, “uma feição tectônica regional, pré-cambriana, com estruturação bastante complexa, dominada por intensos dobramentos, segmentada por grandes geofaturas e intrudida por batólitos ígneos, em sua maioria granitóides” (Ponte & Ponte-Filho, 1996).

A litoestratigrafia da bacia é composta, da unidade mais velha para a mais nova, pela Formação Cariri (também chamada de Formação Mauriti), Formação Brejo Santo, Formação Missão Velha, Formação Abaiara, Formação Rio da Batateira (também chamada de Formação Barbalha), Formação Santana, Formação Araripina e Formação Exu. É importante ressaltar que a nomenclatura utilizada para os intervalos não é unificada, por este motivo, os nomes e subdivisões de algumas unidades estratigráficas podem variar de acordo com o autor.

A Formação Cariri foi definida por Beurlen (1962), segundo Ponte & Appi (1990) este intervalo está posicionado no Paleozóico e é composta por arenitos, interpretados pela associação de fácies como oriundos de um sistema fluvial entrelaçado. A Formação Brejo

Santo foi descrita por Gasparly & Anjos (1964) tendo como litologia folhelhos avermelhados, interpretados como lacustres por Ponte & Appi (1990), datados do Andar Dom João, no Jurássico superior por Coimbra *et. al.* (2002). A Formação Missão Velha se sobrepõe de forma concordante a Formação Brejo Santo, também é datada do Andar Dom João por Coimbra *et. al.* (2002), sendo composta de arenitos, e interpretada como planícies fluviais de canais entrelaçados de alta energia (Assine, 2007).

A Formação Abaiara, formalizada por Ponte & Appi (1990), que descreve a unidade como composta por arenitos friáveis, micáceos e argilosos. Segundo Assine (2007) o contato basal com a Formação Missão Velha é discordante, apresentando grande variação vertical e horizontal de fácies. Ponte & Appi (1990) interpreta o conteúdo fossilífero e faciológico da unidade como pertencente à ambientes deposicional lacustre raso e fluvial.

Todas as bacias de margem leste do Brasil possuem uma discordância conhecida como discordância pré-Alagoas. Na Bacia do Araripe esta discordância é angular, e sobre ela estão depositadas as sequências Pós-rifte, onde se encontra o Andar Alagoas (Assine, 2007). O Andar Alagoas está destacado na Figura 5, onde é possível ver a sua complexidade.

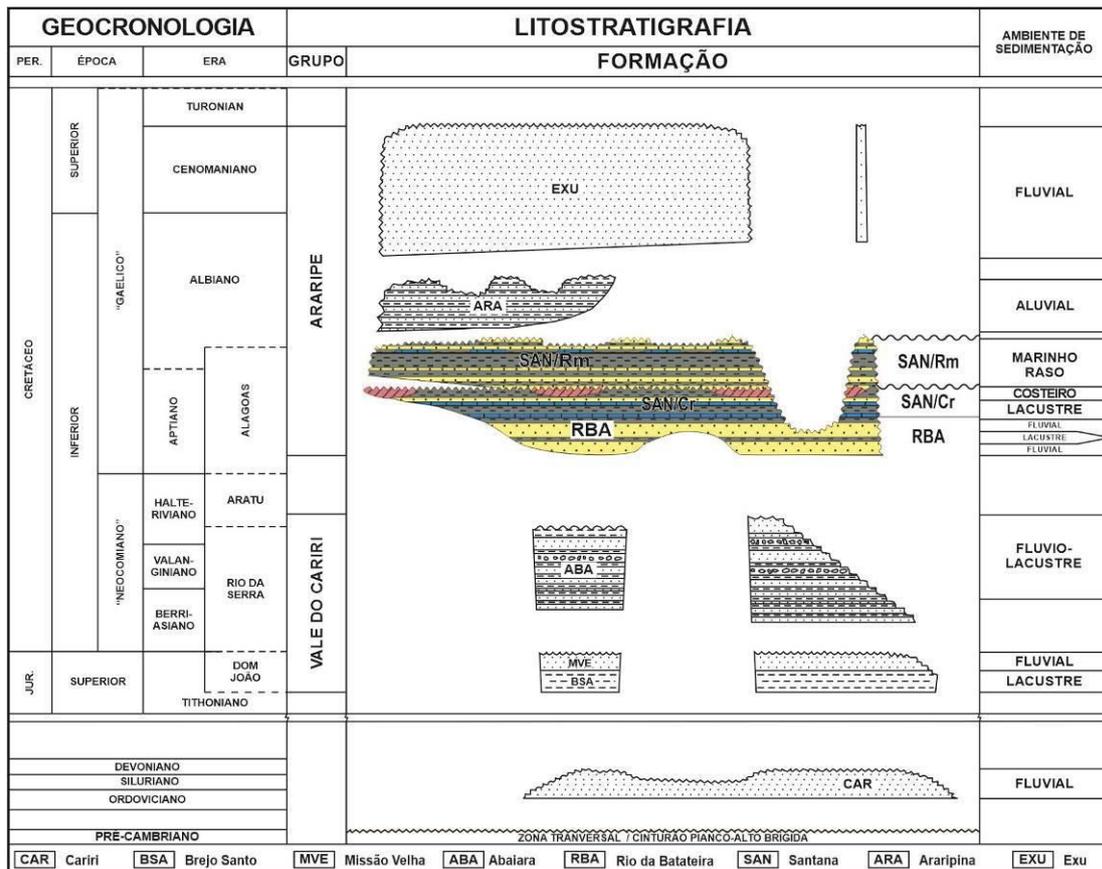


Figura 5 - Estratigrafia da Bacia do Araripe, adaptada de Assine (2007) onde originalmente a Formação Rio da Batateira é chamada de Formação Barbalha. O Andar Alagoas está destacado em cores.

A primeira formação do estágio Pós-rifte é a Formação Rio da Batateira, formada por dois ciclos fluviais, ambos os ciclos gradativamente passam de um ambiente fluvial para lacustre (Scherer *et al.* 2015). Esta formação será discutida em detalhe posteriormente.

Ao fim do segundo ciclo fluvial da Formação Rio da Batateira há a gradação para um ambiente lacustre onde progressivamente há o registro de carbonatos. O aparecimento dos primeiros carbonatos marca o limite entre a Formação Rio da Batateira e a Formação Santana, como destaca Ponte & Appi (1990).

A Formação Santana foi primeiramente formalizada por Beurlen (1962) e foi posteriormente subdividida nos membros Crato, Ipubi e Romualdo por Beurlen (1971). O Membro Crato é composto por calcários laminados ricos em fósseis (Assine, 2007). O membro Ipubi (Beurlen, 1971), chamado por Assine (2007) de Camadas Ipubi, é descrito por

Ponte & Appi (1990) como composto por gipsita e anidrita, com folhelhos escuros em menor proporção.

E por fim o membro Romualdo, descrito por Ponte & Appi (1990) como sendo composto de “folhelhos, margas, calcários e lentes de arenitos friáveis”. Em alguns folhelhos há a presença de concreções calcárias fossilíferas, e acima dela um nível de coquinas, sobrepostos por folhelhos e siltitos (Assine, 2007).

Sobre a Formação Santana, em contato discordante, está a Formação Araripina (Assine, 2007), formalizada por Ponte & Appi (1990) sob o nome de Formação Arajara, sendo composta por “siltitos, argilitos e arenitos finos”. Segundo Assine (2007) ela é composta em sua parte basal por estratificações heterolíticas. Sobre esta formação, em contato erosivo, está a Formação Exu, formalizada por Beurlen (1962) composta por arenitos, interpretados como fluviais (Assine, 2007). Contudo é importante destacar que Assine (1990) não compartimenta a Formação Araripina, com isso esta formação é nomeada como Formação Exu inferior, neste trabalho. Outros trabalhos apresentam outras propostas litoestratigráficas além das citadas anteriormente, não havendo uma padronização tanto em nomes, quanto em subdivisões em unidades litoestratigráficas para a Bacia do Araripe.

3.1 Formação Rio da Batateira

A Formação Rio da Batateira foi formalizada por Ponte & Appi (1990), separando-a da Formação Missão Velha. Chagas *et al.* (2007) discorrem sobre as propostas de revisão estratigráfica da bacia realizadas por Assine (1992) e Ponte & Appi (1990) e que não estão completamente de acordo com o Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica. Isto gera algumas imprecisões. No caso da Formação Rio da Batateira, há diversos trabalhos que adotam a nomenclatura de Formação Barbalha (Assine, 1992; Assine, 2007; Scherer *et al.* 2015) para o mesmo intervalo. Paula Freitas & Borghi (2011) e Rios-Netto *et al.* (2012)

defendem a adoção de Formação Rio da Batateira como nome, já que a seção tipo da formação está ao longo do topônimo Rio da Batateira.

Dentro da Formação Rio de Batateira há um intervalo que Farina (1974) nomeia como “sequência plumbífera do Araripe” uma camada que varia entre 0,4 m a 0,8 m. Litologicamente caracterizada por calcários betuminosos foliados, margas betuminosas foliadas, folhelhos carbonáticos betuminosos e conglomerado calcário, com mineralização de sulfetos singenética, limitada na parte superior e inferior por arenitos da Formação Rio da Batateira.

Posteriormente, a mesma camada foi chamada informalmente de “Camadas Batateira” por Hashimoto *et al.* (1987), sendo definida pelo autor como a culminância do primeiro ciclo transgressivo da Formação Rio da Batateira (até então não formalizada). Sendo consideradas pelo autor camadas correlacionáveis com as camadas Trairi da Bacia do Ceará e Ponta do Tubarão da Bacia Potiguar, que foram depositadas em um mesmo contexto, ou seja, em um evento que afetou todas estas bacias.

Rios-Netto *et al.* (2012) propõe a formalização deste intervalo, as “Camadas Batateira”, a partir do Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica, formalizando-a como uma unidade litoestratigráfica. Os autores decidem nomear a unidade de Membro Fundão, sob o argumento que “camadas batateiras” carrega referência ao mesmo topônimo da Formação Rio da Batateira, o que vai de encontro ao Guia de Nomenclatura Estratigráfica. Os autores caracterizam o intervalo litoestratigráfico seguindo todo o rigor e formalidade necessário.

Neste trabalho utilizaremos a nomenclatura Formação Rio da Batateira e Membro Fundão, caso algum autor citado tenha utilizado outra nomenclatura originalmente, isto será pontuado no texto.

Neste contexto, a Formação Rio da Batateira é considerada a primeira formação da fase Pós-rifte da Bacia do Araripe. Tendo seu limite inferior definido pela discordância de caráter

pré-alagoas, de caráter regional (Assine, 2007). Segundo Fambrini *et al.* (2015) o limite superior desta formação com o Membro Crato ocorre de forma gradual, onde há a transição de intervalos pelíticos das duas unidades para calcários laminados característicos do Membro Crato.

A Formação Rio da Batateira é caracterizada por dois ciclos granodecrescentes, terminados em intervalos “pelíticos-carbonáticos lacustres” (Assine, 2007). O ciclo inferior se encerra no Membro Fundão (Rios-Netto *et al.* 2012). É importante destacar que é comum encontrar na literatura, inclusive trabalhos recentes, o Membro Fundão sendo chamado pela nomenclatura dada por Hashimoto *et al.* (1987), ou seja, “Camadas Batateira”.

Assine (2007) destaca que o Membro Fundão é um importante marco estratigráfico de um evento regional na bacia, já que apresenta o primeiro registro de um sistema lacustre em condição de anoxia, e que esta foi a condição que permitiu a preservação de matéria orgânica.

O segundo ciclo da Formação Rio da Batateira está em contato erosivo com os pelitos ricos em matéria orgânica que encerram o primeiro ciclo. Arenitos grossos e conglomerados fluviais se sobrepõe aos folhelhos do Membro Fundão, dando início ao segundo ciclo que também apresenta tendência granodecrescente para o topo, terminando em “calcários micríticos do Membro Crato” (Assine, 2007).

A evolução tectono sedimentar da Bacia do Araripe, principalmente na fase Pós-rift ainda é pouco compreendida (Chagas *et al.* 2007). Apesar da Formação Rio da Batateira ser tida como a primeira sequência do intervalo Pós-rift da bacia, Paula Freitas & Borghi (2011) questionam essa classificação geotectônica, já que os autores apresentam evidências de que houveram outras fases tectonicamente ativas dentro deste intervalo, identificando quatro tectono-sequências, sendo três delas definidas em detalhe. Essas tectono-sequências podem ser vistas na Figura 6.

Perfis								Coluna Estratigráfica	Superfícies Estratigráficas		Sistemas Depositionais		Sequências Depositionais		
1	5	6	7	8	9	13	RB		Este trabalho	Miall (1996)	Este trabalho	Prosser (1993)	Este trabalho	Martins Neto & Catuneanu (2010)	
									R		Lac _{TB}	Clímax	TS ₃	SD ₃	Underfilled
								I ₂	6	Lac _{TA}					
								Df	6	FM ₃	Iniciação de Rift				
								D ₂	5	FW ₃	Iniciação de Rift	TS ₂	SD ₂	Filled / Overfilled	
								Df	5	FM _{P0}	Iniciação de Rift				
								Df	5	FW ₂	Iniciação de Rift				
								Df	5	FM ₂	Iniciação de Rift				
								Df	5	FW ₁	Iniciação de Rift				
								D ₁	6						
								I ₁	6	Lac	Clímax	TS ₁	SD ₁	Underfilled	
										FM ₁	Iniciação de Rift				

Figura 6: Esquema estratigráfico destacando as tectono-sequências e superfícies identificadas na Formação Rio da Batateira. (Paula Freitas & Borghi, 2011). Onde R é a superfície de retração, D as superfícies discordantes e I as superfícies de inundação.

A Figura 6 mostra todas as tectono-sequências e superfícies identificadas pelos autores na Formação Rio da Batateira. As superfícies estratigráficas identificadas são discordantes (D), de retração (R) e de inundação (I). Detalhando uma história tectônica mais complexa do que usualmente descrita na literatura. Evidenciando a necessidade de estudos mais detalhados sobre a evolução da Bacia do Araripe.

Scherer *et al.* (2015) identificam duas sequências na Formação Rio da Batateira, como pode ser visto na Figura 7. Cada uma das sequências tem um Trato de Baixa Acomodação (TBA) e um Trato de Alta Acomodação (TAA).

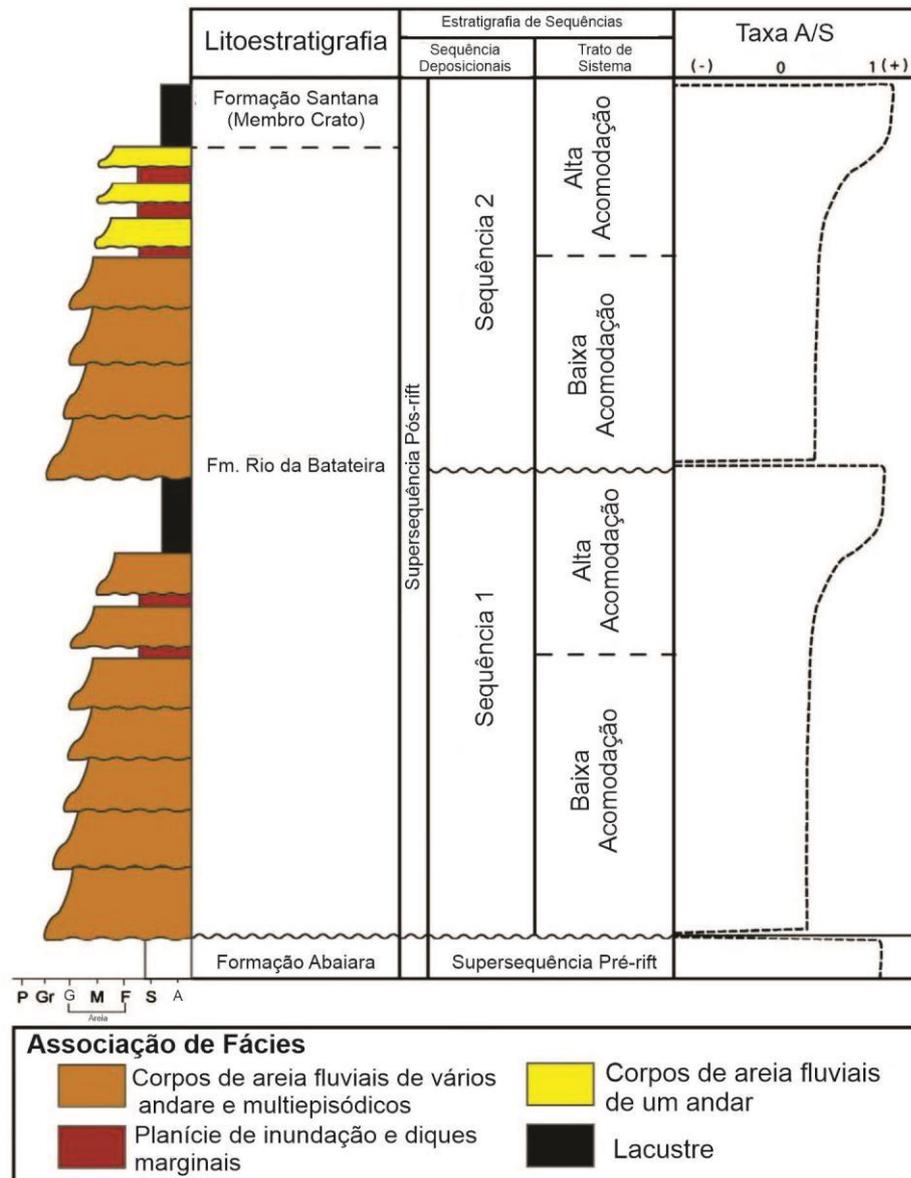


Figura 7 – Perfil esquemático da Formação Rio da Batateira com as seqüências, trato de sistema e taxa de acomodação/sedimentação. (Scherer *et al.* 2015)

4. REVISÃO CONCEITUAL

4.1 Arenitos: características e diagênese

Arenitos são rochas formadas por grãos de diversas origens entre 63 μm e 2 mm, chamados de arcabouço. Também pode haver material fino, menor que cerca de 0,03 mm compondo este tipo de rocha, sendo essa fração chamada de matriz (Boggs, 2009).

Parâmetros como seleção, arredondamento e esfericidade dos grãos, granulometria e proporção entre arcabouço e matriz são aspectos texturais de rochas sedimentares, incluindo arenitos. A caracterização da textura de arenitos é importante para entender os processos sedimentares que foram submetidos, sendo um dos parâmetros para determinar o grau de maturidade da rocha. (Nichols, 2009)

Além de materiais oriundos da deposição, minerais autigênicos podem se formar nos poros dos arenitos em diversos estágios da diagênese, sendo chamados de cimento. Argilominerais, carbonatos e outros grupos minerais podem formar cimento, e o tipo de cimento formado é controlado pelas condições ambientais e físico-químicas (Nichols, 2009 e Worden & Burley, 2003).

WORDEN & MORAD (2003) destacam que o conteúdo de argilominerais em arenitos são frequentemente interpretados de forma errônea como sendo de origem primária na areia hospedeira. Os mesmos autores destacam que os processos hidrodinâmicos tendem a separar a fração argila da fração areia, logo a maior parte dos argilominerais presentes em arenitos são diagenéticos.

Os argilominerais podem ser incorporados em arenitos de oito formas listadas por Worden & Morad (2003), são elas: fragmentos de rocha ricos em argila; intraclastos argilosos; argila floclada e pelóides fecais; herdada de grãos de areia rodeados de argila; incorporação pós-deposicional de argilas detríticas por bioturbação e infiltração; produto de reações eodiagnéticas; reações mesodiagnéticas; reações telodiagnéticas.

Existem inúmeras propostas de classificação de arenitos, algumas mais utilizadas que outras, já que algumas delas foram desenvolvidas para situações específicas. Essas classificações podem ser texturais, composicionais ou ambas (Boggs, 2009).

Uma das classificações mais utilizadas é a de Folk (1968) como pode ser vista na Figura 8. Esta classificação é baseada na composição modal de quartzo (Q), feldspatos (F) e litoclastos (R) do arcabouço, formando um diagrama ternário. Todos os tipos de quartzo, exceto cherts, são contabilizados como quartzo (Q). São contabilizados como feldspatos todos os fragmentos monominerálicos deste grupo mineral, assim como grãos minerais de feldspatos em fragmentos líticos de textura grossa, como granitos. Os litoclastos são todos os fragmentos de rocha de textura fina, como xistos, cherts, fragmentos de rochas vulcânicas, entre outras. (Folk, 1968)

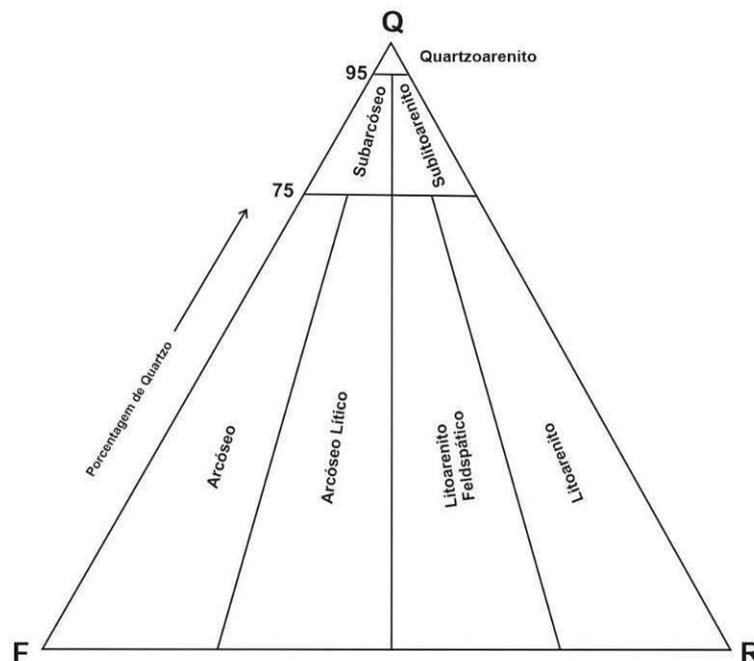


Figura 8: Diagrama de Folk (1968) para a classificação composicional de arenitos a partir da composição modal de feldspatos, fragmentos de rocha (litoclastos) e quartzo.

Dickinson & Suczek (1979) e Dickinson *et al.* (1983) destacam que a composição de quartzo, feldspatos e litoclastos em um arenito é fortemente controlado pelo ambiente

geotectônico, além de outros outros. Isso permite que haja uma associação entre a composição dos arenitos com possíveis ambiente geotectônicos como arcos magmáticos, blocos continentais e orógenos reciclados (Dickinson *et al.* 1983). Neste contexto, a composição dos arenitos pode dar pistas sobre o contexto geotectônico em que foram depositados, como pode ser observado na Figura 9.

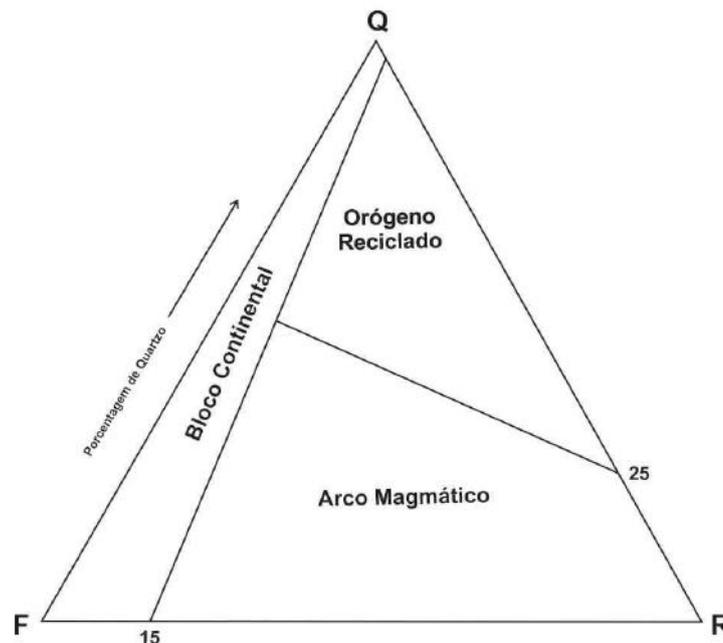


Figura 9 - Diagrama de Dickinson *et al.* (1983) para a classificação de ambientes geotectônicos de arenitos a partir da composição modal de feldspatos, fragmentos de rocha (litoclastos) e quartzo.

4.2 Diagênese

Após a deposição, os sedimentos passam por uma variedade de transformações físicas, químicas e biológicas, relacionadas com o ambiente, temperatura, pressão, parâmetros químicos e história da bacia sedimentar. Isto inclui uma infinidade de modificações pós-deposicionais. O limite entre os regimes de diagênese e metamorfismo é difuso, contudo, quando as temperaturas crescem para a faixa de 180-250°C há a transição do regime diagenético para o regime metamórfico. (Worden & Burley, 2003)

Morad *et al.* (2000) destaca que a diagênese em rochas siliciclásticas ocorre em condições de sistemas geoquímicos controlados por múltiplos componentes, e é intimamente relacionada com o desequilíbrio cinético e termodinâmico entre os minerais e os fluidos presentes nos poros.

Segundo Worden & Burley (2003), existem uma ordem de importância de fatores que controlam os processos diagenéticos, são eles a composição química dos fluidos no poro da rocha, temperatura e pressão. A diagênese é comumente dividida em três regimes: eodiagênese, mesodiagênese e telodiagênese (Nichols, 2009).

A eodiagênese é definida como a etapa da diagênese onde os fluidos deposicionais predominam nas alteração físico-químicas, em profundidades em torno de 1Km a 2Km e temperaturas máximas por volta de 70°C. A mesodiagênese é a etapa de alterações que ocorre com o soterramento, onde há condições de pressão e temperatura mais altas que na eodiagênese, sem a influência de processos de superfície. A telodiagênese ocorre quando há inversão ou soergimento da bacia, expondo a rocha aos fluidos meteóricos. (Worden & Burley, 2003)

Choquette & Pray (1970) discutem a dificuldade de estabelecer um limite entre a eodiagênese e a mesodiagênese (no trabalho original chamado de eogênese e mesogênese). Embora na eodiagênese seja por definição o regime diagenético onde os processos superficiais atuam, os autores discutem que a circulação de águas subterrâneas dificulta o processo. Neste contexto, é evidente que a composição da rocha e outros fatores influenciarão o limite entre os regimes, que não são limites rígidos, e sim uma interface de transição entre os regimes.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Texturas, porosidade e cimento

Das vinte e uma lâminas amostradas, dezoito são de arenitos, uma de siltito e duas de lutitos do Membro Fundão. Estes lutitos são carbonáticos, ricos em matéria orgânica, com laminações plano-paralelas com sinais de compactação mecânica (Figura 10A), e níveis ricos em ostracodes (Figura 10B).

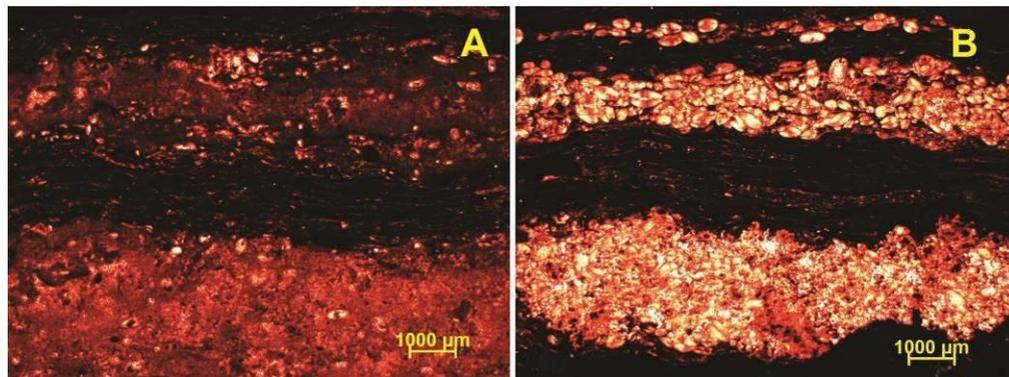


Figura 10: Lutitos do Membro Fundão na profundidade de 99,30m. (A) Laminação plano-paralela com sinais de compactação mecânica, e níveis carbonáticos e ricos em matéria orgânica. (B) Níveis ricos em ostracodes intercalados com níveis ricos em matéria orgânica.

A única lâmina de siltito amostrada apresenta cimentação carbonática e laminações convolutas (Figura 11A), provavelmente geradas por fluidização. A rocha é bem selecionada, apresentando grãos variando da fração argila até a fração areia fina, embora haja o predomínio da fração silte, como pode ser observado nas Figura 11.

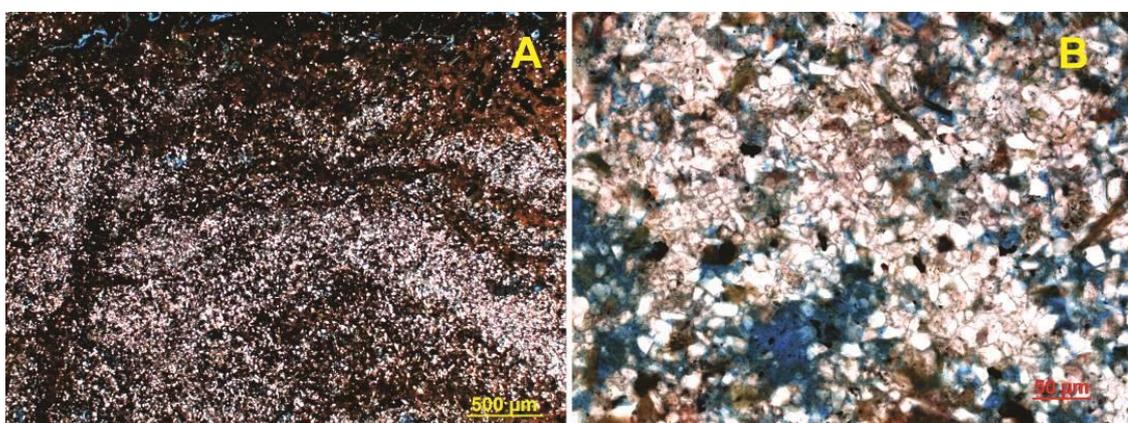


Figura 11: Siltito na profundidade de 96m. (A) Laminação convoluta. (B) Grãos de quartzo na fração silte e areia fina, com matriz argilosa e cimentação carbonática.

Os arenitos variam texturalmente entre si, embora haja uma predominância de arenitos com principal tamanho modal de grãos no intervalo de areia fina e média. A porosidade destes arenitos também varia de totalmente fechada (0%) a alta (18,56%), sendo comum a redução da porosidade por cimentação. A cimentação é composta principalmente por caulinita, esmectita e calcita, e será discutida em mais detalhes no item 5.6.

O Quadro 1 é uma síntese com a textura de todas as lâminas amostradas, contendo a porosidade e porcentagem de cimento para as lâminas que foram descritas quantitativamente através de contagem de pontos.

Quadro 1: Textura das amostras coletadas, porcentagem total de cimento e porosidade das amostras descritas quantitativamente.

Profundidade	Textura	Porosidade	Cimento
25,10m	Arenito médio. Moderadamente selecionado. Com predominância de grãos subangulares e esfericidade baixa	1,3%	31,33%
29,65m	Arenito médio. Moderadamente selecionado. Com predominância de grãos subangulares e esfericidade baixa	0%	48,67%
34,45m	Arenito médio. Mal selecionado. Com predominância de grãos angulares e esfericidade média	0,67%	22,67%
40,75m	Arenito fino. Mal selecionado. Com predominância de grãos angulares e esfericidade média.	-	-
45,60m	Arenito fino. Mal selecionado. Com predominância de grãos subangulares e esfericidade média.	3,67%	22,67%
58,80m	Arenito médio. Mal selecionado. Com predominância de grãos angulares e esfericidade média	0%	37,33%
63,80m	Arenito médio. Mal selecionado. Com predominância de grãos angulares e esfericidade baixa	0,33%	8,33%
66,55m	Arenito fino. Mal selecionado. Com predominância de grãos subarredondados e esfericidade média.	-	-
70,35m	Arenito médio. Moderadamente selecionado. Com predominância de grãos subarredondados e esfericidade média.	6,67%	22%
73,45m	Arenito fino. Moderadamente selecionado. Com predominância de grãos subarredondados	-	-
74,70m	Arenito médio. Moderadamente selecionado. Com predominância de grãos subarredondados e esfericidade média	18,56%	20,36%
82,85m	Arenito fino. Bem selecionado. Com predominância de grãos subarredondados e esfericidade média	4,67%	10%
88,40 m	Arenito médio. Moderadamente selecionado. Com predominância de grãos subarredondados e esfericidade média	14,33%	0,67%
90,30m	Arenito médio. Moderadamente selecionado. Com predominância de grãos subarredondados e esfericidade média	12,67%	6,33%
96,00 m	Siltito. Bem selecionado. Com predominância de grãos subangulosos de esfericidade baixa.	-	-
99,30m	Lutito (Membro Fundão), com intercalação de níveis carbonáticos, ricos em ostracodes e ricos em matéria orgânica.	-	-
99,40m	Lutito (Membro Fundão), com intercalação de níveis carbonáticos, ricos em ostracodes e ricos em matéria orgânica.	-	-
106,35m	Arenito fino. Bem selecionado. Com predominância de grãos subangulares e esfericidade média	14,66%	4%

Profundidade	Textura	Porosidade	Cimento
113,25m	Arenito fino. Bem selecionado. Com predominância de grãos subarredondados e esfericidade média	17,68%	10,97%
116,45m	Arenito fino. Moderadamente selecionado. Com predominância de grãos subarredondados e esfericidade média	14,66%	6,33%
118,50m	Arenito médio. Moderadamente selecionado. Com predominância de grãos subarredondados e esfericidade média	4%	39%

5.2. Estruturas

A maior parte das lâminas de arenitos apresenta estrutura maciça em lâmina delgada, embora em algumas amostras outras estruturas estejam presentes. Como as lâminas foram confeccionadas sem orientação de topo e base, as estruturas não estão orientadas. Onze lâminas apresentam estrutura maciça, cinco com laminações plano-paralela, três com laminação convoluta e uma com laminação cruzada. Como estruturas pós-deposicionais há uma lâmina que apresenta bioturbação. As laminações são marcadas por alinhamento de filossilicatos detríticos, variação granulométrica e variação composicional.

O Quadro 2 sintetiza as estruturas observadas em lâmina por profundidade, assim como suas respectivas litologias. Embora o foco do trabalho sejam os arenitos, foram incluídas as estruturas observadas em todas as amostras.

O fato de uma amostra apresentar estrutura maciça em lâmina, não significa que macroscopicamente, no testemunho, outras estruturas não possam ser observadas no intervalo onde a lâmina foi amostrada. Isto ocorre por uma limitação na escala de análise, e deve ser pontuado.

Quadro 2: Estruturas e litologia das amostras utilizadas.

Profundidade	Estruturas	Litologia
25,10m	Maciça	Arenito médio
29,65m	Maciça	Arenito médio
34,45m	Maciça	Arenito médio
40,75m	Laminação convoluta	Arenito fino
45,60m	Laminação convoluta	Arenito fino
58,80m	Bioturbação	Arenito médio
63,80m	Maciça	Arenito médio
66,55m	Laminação cruzada	Arenito fino
70,35m	Maciça	Arenito médio

Profundidade	Estruturas	Litologia
73,45m	Maciça	Arenito fino
74,70m	Laminação plano-paralela com variação granulométrica	Arenito médio
82,85m	Laminação plano-paralela	Arenito fino
88,40m	Laminação plano-paralela	Arenito médio
90,30m	Maciça	Arenito médio
96,00 m	Laminação convoluta	Siltito
99,30m	Laminação plano- paralela	Lutito
99,40 m	Laminação plano-paralela	Lutito
106,35m	Maciça	Arenito fino
113,25m	Maciça	Arenito fino
116,45m	Maciça	Arenito fino
118,50m	Maciça	Arenito médio

5.2.1. Laminações

Em algumas lâminas é possível observar laminações convolutas (Figura 12A), e laminações plano paralelas (Figura 12B) e laminações cruzadas (Figura 13). Na Figura 6 é possível observar estas laminações, que são marcadas tanto por variações granulométricas, quanto por variações composicionais.

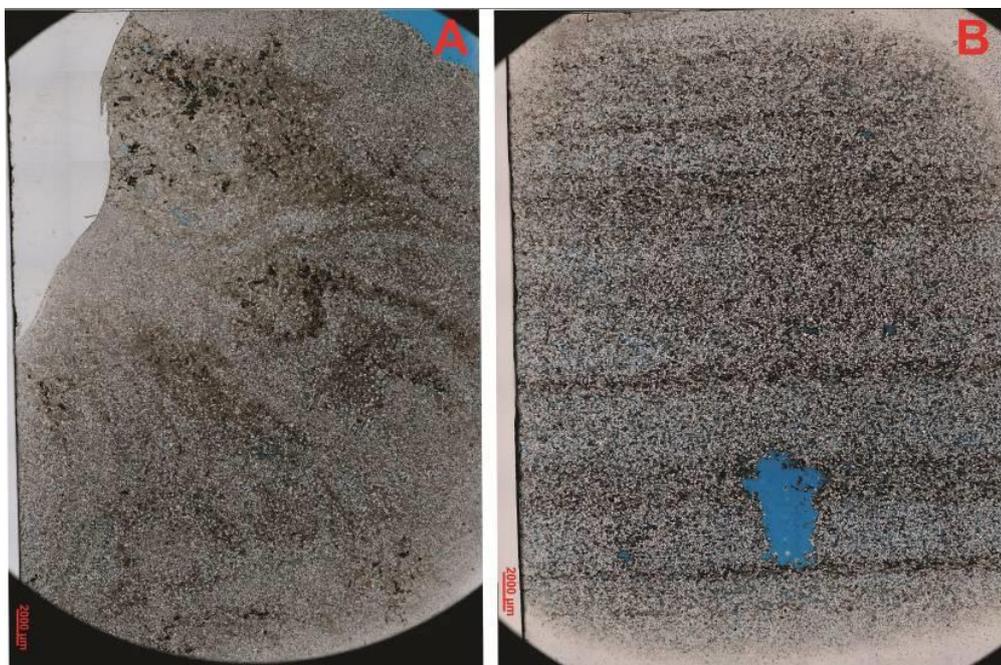


Figura 12 – Imagem das lâminas em nicóis descruzados mostrando dois tipos de laminação. (A) Laminação convoluta em 45,60m. (B) Laminação plano paralela em 82,85m.

A Figura 13 mostra um arenito com laminação cruzada, esta estrutura é marcada por material argiloso. Por processos diagenéticos, principalmente compactação, e talvez também por bioturbação, esta estrutura se apresenta parcialmente obliterada.



Figura 13 – Imagem das lâminas em nicóis descruzados de arenito da Formação Rio da Batateira com laminação cruzada na profundidade 66,55m, as linhas tracejadas amarelas destacam esta estrutura.

5.2.2. Alinhamento de filossilicatos detríticos

O alinhamento de filossilicatos detríticos está presente em algumas lâminas. Estes filossilicatos são muscovitas e biotitas, e não é rara a presença de sinais de compactação e de alteração, como é possível ver na Figura 14. Esses alinhamentos marcam laminações plano-paralelas.

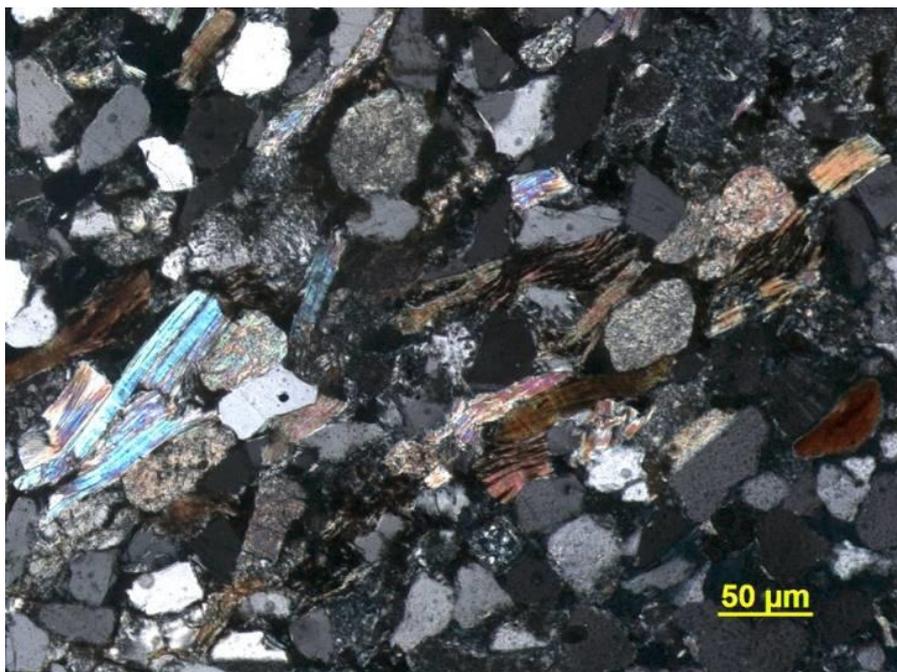


Figura 14 – Filossilicatos detríticos orientados, marcando laminação plano-paralela em arenito da Formação Rio da Batateira em nicóis cruzados na profundidade de 82,85m.

5.2.3. Variação granulométrica

Variações granulométricas são observadas em algumas lâminas, essas variações podem ser sutis, onde a diferença granulométrica é pequena, ou podem ser significativas com diferença granulométrica relativamente grande. A Figura 15 mostra um exemplo de variação granulométrica marcando a laminação plano paralela, afetando inclusive a distribuição da cimentação nesta rocha, onde as porções de granulometria mais grossa apresentam maior cimentação.



Figura 15 – Variação granulométrica de areia grossa a fina em arenito da Formação Rio da Batateira na profundidade de 74,70m, a nicóis descruzados. É importante destacar como a granulometria condiciona a cimentação nesta rocha.

5.2.4. Bioturbações

Escavações preenchidas por material na fração silte e argila, ou seja, de granulometria inferior ao arcabouço da rocha, foram observadas em uma das lâminas. As estruturas são alongadas e é possível observar bifurcações. As escavações podem ser visualizadas a partir de cortes oblíquos, perpendiculares e transversais como pode ser observado na Figura 16.

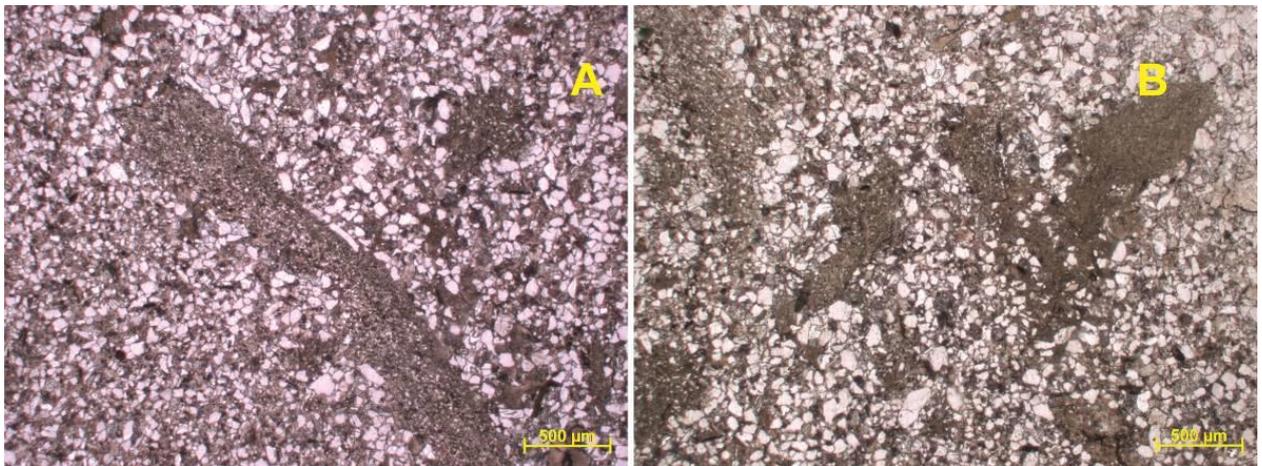


Figura 16 – Bioturbação em forma de túneis em lâminas delgadas na profundidade de 58,80 m a nicóis descruzados. (A) Túnel com corte longitudinal. (B) Túneis com cortes oblíquos.

5.3. Constituintes Primários

Os constituintes primários presentes nas amostras analisadas são quartzo, microclina, plagioclásio, ortoclásio, litoclastos sedimentares, vulcânicos e metamórficos e minerais acessórios. Entre os minerais acessórios estão presentes biotita, clorita, muscovita, granada, turmalina, zircão, anfibólio e piroxênio. Devido às alterações nos constituintes primários, alguns feldspatos e minerais acessórios não puderam ser identificados com precisão por microscopia de luz transmitida polarizada. A porcentagem de cada um destes constituintes nas lâminas amostradas pode ser observada no Quadro 3 (ver lista de abreviaturas e siglas). Cada um dos constituintes primários será discutido em maior detalhe nos subitens a seguir.

Quadro 3: Porcentagem total de constituintes primários em cada lâmina descrita quantitativamente, com a indicação das amostras abaixo e acima do Membro Fundão.

Prof	Qtz	Qtzp	Mc	Pl	Or	Fi	Lm	Lv	Ls	Bt	Ms	Cl	An	Px	Zr	Tur	Grt
25,10 m	40,4%	0,7%	13,7%	-	0,3%	1%	0,3%	-	-	0,3%	-	-	-	-	-	-	-
29,65m	22,9%	4,7%	2,7%	0,7%	4,3%	2,7%	0,6%	-	-	1,7%	0,3%	-	-	-	-	-	-
34,45m	42,3%	-	9%	-	2,7%	-	-	-	-	7,4%	1%	2%	-	0,7%	0,3%	-	-
45,60m	35,3%	0,7%	7,7%	0,6%	2%	-	0,7%	-	1%	2%	1%	10%	-	0,7%	-	-	-
58,80m	32,9%	-	7,3%	-	1%	-	0,3%	-	-	2%	-	1,3%	-	-	-	-	-
63,80m	41,2%	3,7%	16%	-	2,3%	-	0,3%	-	-	1,3%	-	-	-	-	-	-	-
70,35m	54,9%	0,7%	3,7%	-	1,7%	0,7	0,6%	0,7%	1,3%	0,3%	-	-	-	0,7%	-	-	-
74,70m	45%	0,3%	6,6%	-	0,7%	0,3%	-	0,3%	1,7%	0,7%	-	-	0,3%	-	-	-	-
82, 85m	48,1%	1%	6%	-	2,4%	1,6%	1,7%	0,7%	-	3,3%	0,3%	-	-	-	-	-	-
88,40 m	67%	-	1,3%	-	0,6%	0,3%	0,7%	0,3%	-	-	-	-	0,3%	0,3%	-	0,3%	0,3%
90,30m	55,4%	-	5%	-	1,3%	1%	1,3%	2%	1,3%	0,6%	-	-	-	-	-	-	-
Membro Fundão																	
106,35m	68,3%	0,7%	4,4%	-	1%	0,3%	-	-	-	-	0,3%	-	-	0,3%	-	0,3%	-
113,25m	49%	-	4,3%	0,3%	2,7%	0,3%	1,6%	0,7%	1,7%	0,7%	-	-	-	-	-	-	-
116,45m	57,8%	1%	3,7%	-	2%	0,7%	1,3%	-	1,6%	0,7%	-	-	-	0,3%	-	-	-
118,50m	42%	0,6%	4,3%	-	2,3%	-	0,3%	-	1%	-	0,3%	-	-	-	-	-	-

5.3.1. Quartzos

O quartzo é o mineral mais abundantes nas lâminas estudadas. Eles podem aparecer principalmente como quartzo monocristalino (Figura 17A), quartzo policristalino (Figura 17B), com inclusões (Figura 17C) e com textura micrográfica (Figura 17D).

O quartzo monocristalino apresenta um único cristal de mineral em um clasto, e pode apresentar ou não extinção ondulante. Já o quartzo policristalino apresenta diversos cristais de quartzo em um mesmo grão, desde que o tamanho dos cristais esteja na fração silte ou menor. Quartzos policristalinos são contabilizados como fragmentos líticos (*sensu Dickinson et al.* 1983). Nas amostras estudadas todos os grãos de quartzo policristalino tinham origem metamórfica, embora esta classificação de quartzo também inclua cherts, que caso estivessem presentes seriam contabilizados como litoclastos sedimentares.

Também é possível encontrar alguns grãos que apresentam registro de textura micrográfica, que é uma feição de intercrescimento de quartzo com provavelmente algum feldspato, onde há a formação de uma textura com um padrão geométrico característico (Figura 17D).

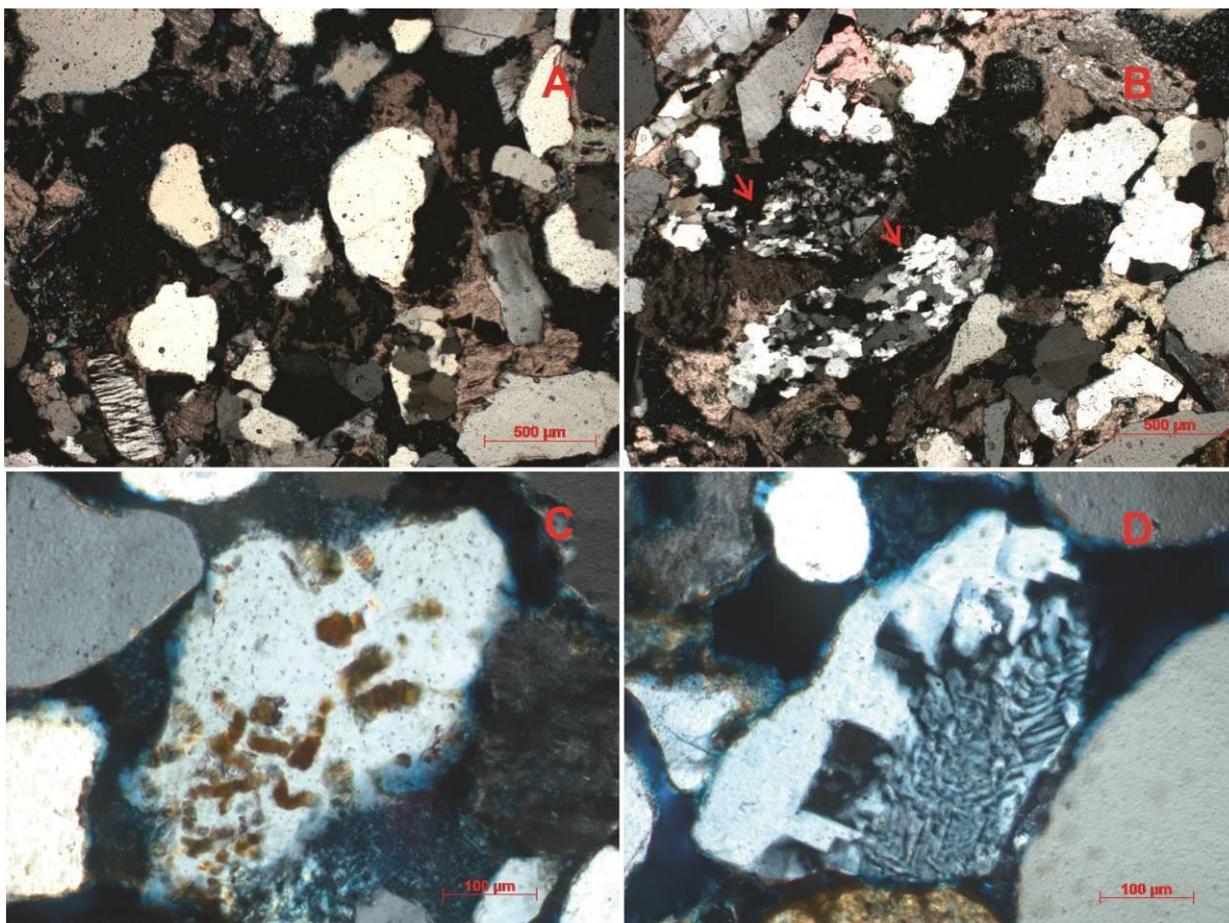


Figura 17 – Diferentes tipos de quartzo em lâminas delgadas a nicóis cruzados. (A) Quartzo monocristalino. (B) Quartzo policristalino. (C) Quartzo com inclusões na profundidade 90,30m. (D) Quartzo micrográfico na profundidade 90,30m.

5.3.2 Feldspatos

Feldspatos são frequentes na coleção de lâminas de arenitos no intervalo de estudo. Clastos deste grupo de minerais aparecem em diversos graus de alteração. Nas lâminas são mais comuns a presença de clastos microclínio (figura 18B) e plagioclásio (figura 18A), embora também apareçam com menor frequência clastos de ortoclásio.

É comum os minerais deste grupo apresentarem alteração para caulinita, como é possível observar nas manchas no clasto de plagioclásio da figura 18A. Em algumas situações a alteração é tão intensa que não é possível identificar qual é o feldspato original, já que a geminação diagnóstica de cada um deles não pode ser observada, embora padrões de fratura e alteração podem permitir a identificação do grão como pertencente ao grupo dos feldspatos.

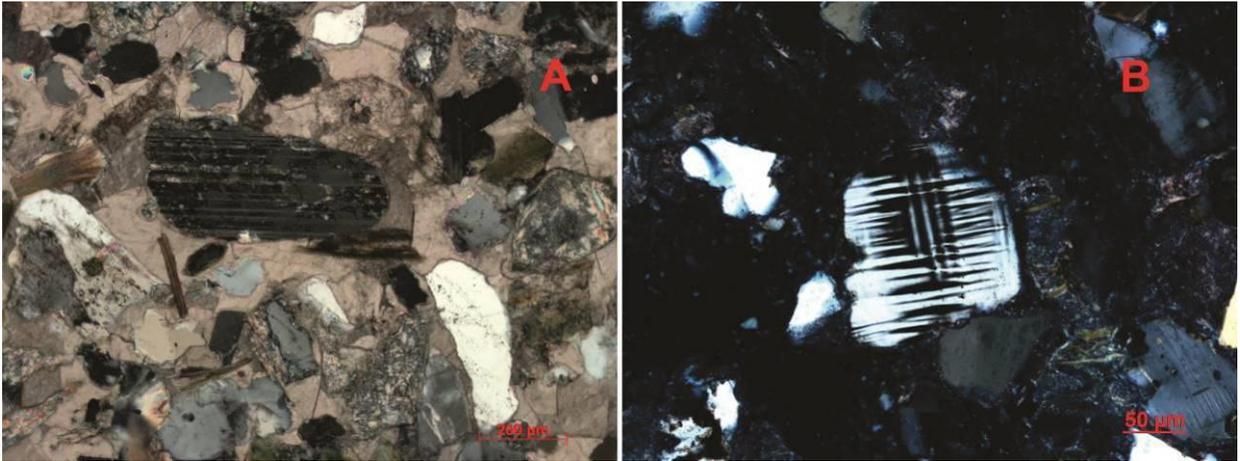


Figura 18 – Diferentes tipos de feldspatos em lâminas delgadas a nicóis cruzados. (A) Plagioclásio com sinais de alteração para argilominerais. (B) Microclina.

5.3.3. Filossilicatos

Filossilicatos detríticos estão presentes em arenitos da Formação Rio da Batateira. Biotita (Figura 19A), clorita (Figura 19B) e muscovita são os filossilicatos de origem primária observados. É importante destacar que também há a presença de cloritas diagenéticas em algumas lâminas, contudo características morfológicas podem ser utilizadas para descartar a possibilidade de serem deposicionais. Clastos primários de biotita também podem apresentar alterações parciais para clorita. Em nicóis paralelos isto é observado pela coloração esverdeada em algumas porções do clasto.

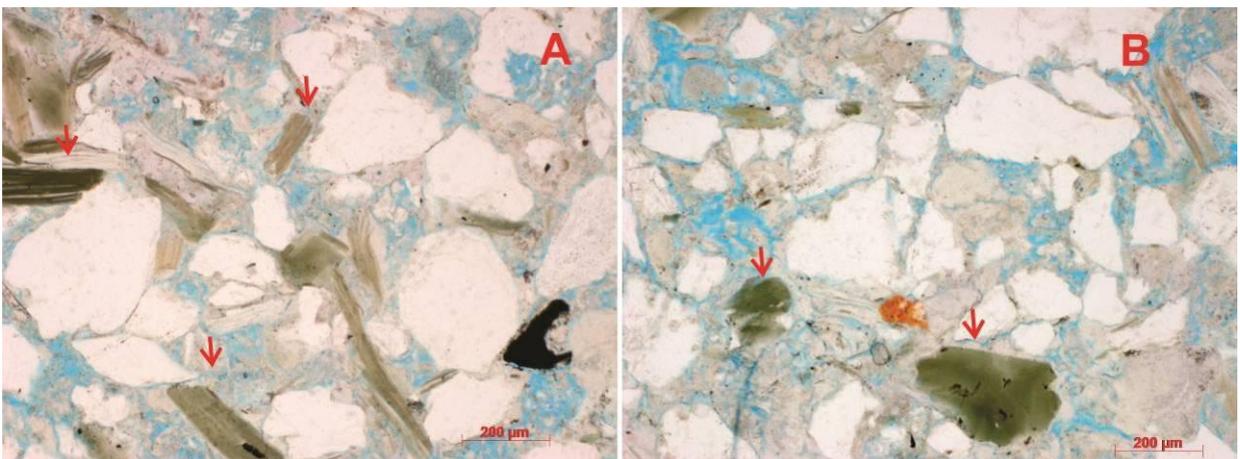


Figura 19 – Filossilicatos em lâminas delgadas a nicóis descruzados. (A) Biotitas com sinais de cloritização. (B) Clorita detrítica.

5.3.4 Outros Silicatos

Apesar de ocorrerem em menor proporção, existem outros silicatos primários que compõe os arenitos estudados. Muitos destes minerais são de difícil identificação precisa devido à um conjunto de fatores, dentre eles alteração e a dificuldade de observação de características diagnósticas como clivagem, pleocroísmo e cor de interferência.

Os minerais observados foram a titanita, piroxênios, clorita e anfibólios, além de silicatos não identificados. A figura 20A mostra um anfibólio, com a clivagem característica do mineral, embora a cor de interferência seja ligeiramente diferente. A figura 20B é de uma titanita, onde o relevo, hábito e cor de interferência característico desse grupo de minerais é visível. Na Figura 20C é possível observar clastos do grupo dos piroxênios, pela alteração e transporte dos clastos é difícil identificar com precisão qual o mineral do grupo, embora tenha sido identificada enstatita em uma das lâminas. Na Figura 20D é possível observar um silicato muito alterado, sendo impossível identificá-lo por microscopia de luz transmitida.

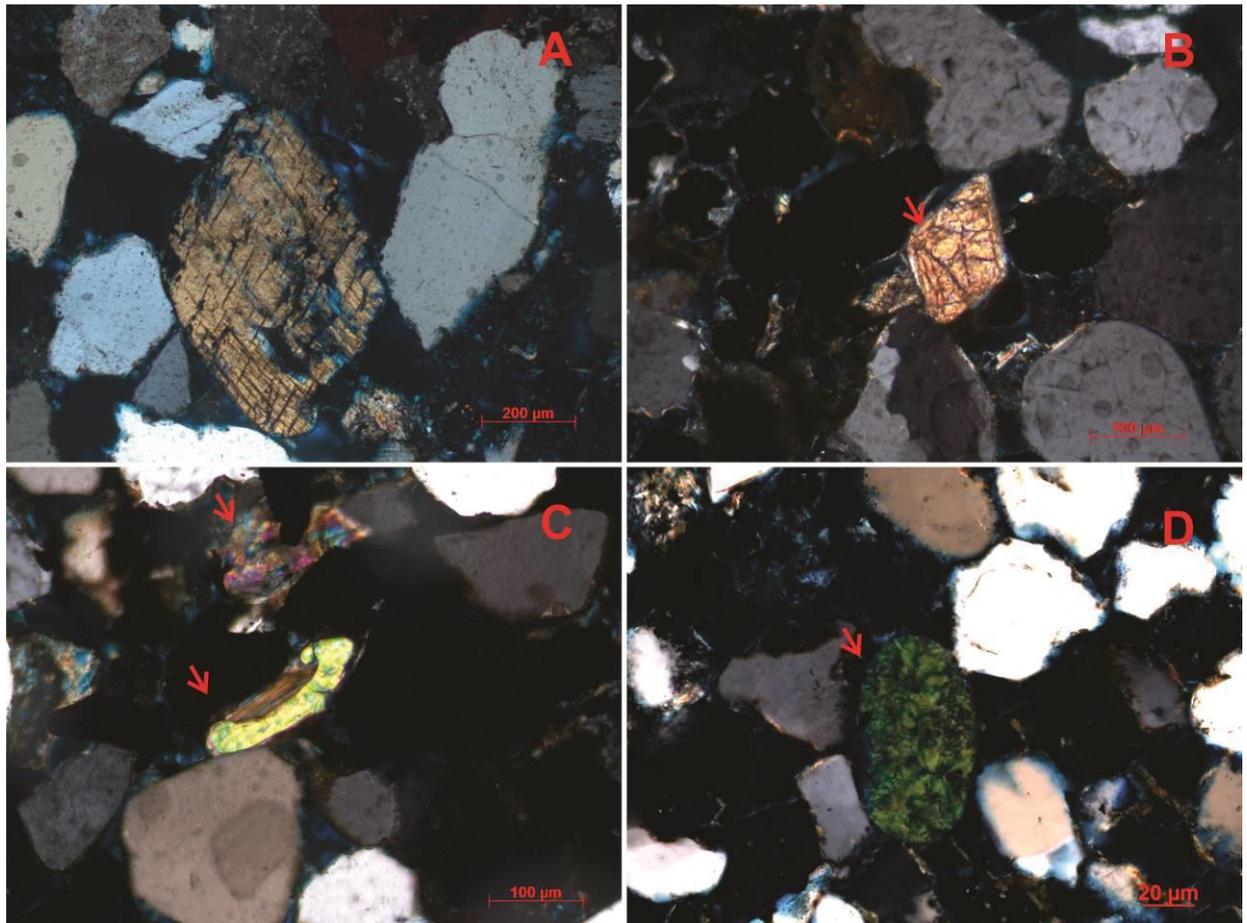


Figura 20 – Diferentes silicatos em lâminas delgadas a nicóis cruzados. (A) Anfibólio com clivagem característica em 74,70m. (B) Titanita em 88,4m. (C) Piroxênios em 88,4m. (D) Silicato indiferenciado em 106,35m.

5.3.5 Litoclastos Metamórficos

É comum a presença de litoclastos metamórficos em diversos graus de preservação. Os fragmentos de rochas metamórficas observados foram ardósias, quartzitos, filitos e xistos. É importante destacar que os quartzitos foram contados como quartzo policristalino, caso os cristais que compunham o grão fossem menores que a fração silte. Na figura 21A é possível observar um litoclasto de xisto e na 21B há um litoclasto de quartzito e outro de filito.

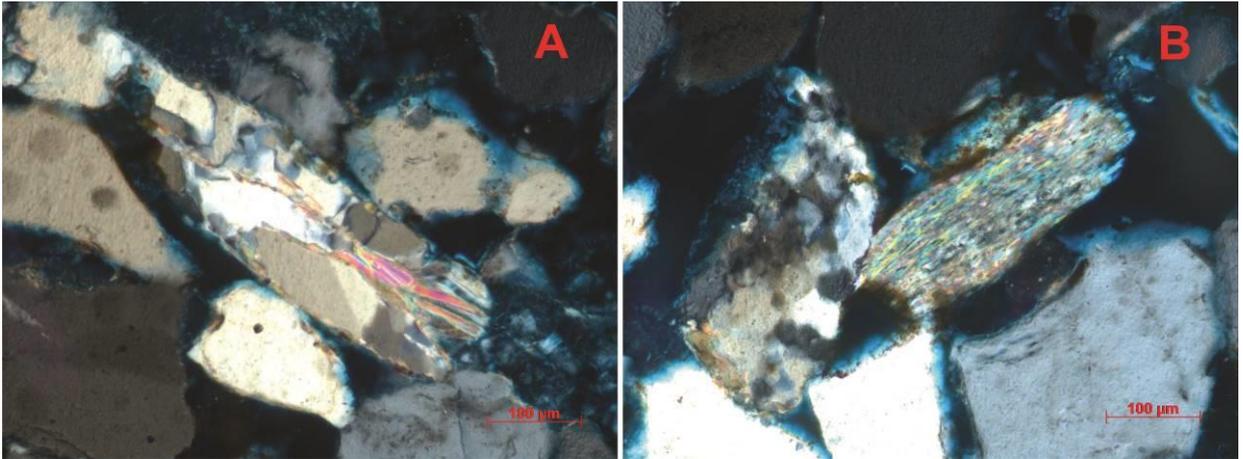


Figura 21 – Diferentes litoclastos metamórficos em lâminas delgadas a nicóis cruzados em 90,30m. (A) Xisto. (B) Filito e quartzito.

5.3.6 Litoclastos Sedimentares

Litoclastos sedimentares são comuns em algumas lâminas. A maior parte é composta de litoclastos de lamitos, argilitos e siltitos, embora hajam litoclastos de arenitos lamosos Figura 15D.

Freqüentemente, é difícil afirmar se esses litoclastos são intrabaciais ou extrabaciais. No caso da Figura 20B, o intraclasto de argilito é irregular e anguloso, além de estar em uma fração granulométrica superior às predominantes na rocha, indicando ser um intraclasto. Contudo, nas Figura 22A, 22C e 22D, esta tarefa não é simples, visto que estão dentro das frações granulométricas predominantes e são subarredondados a arredondados.

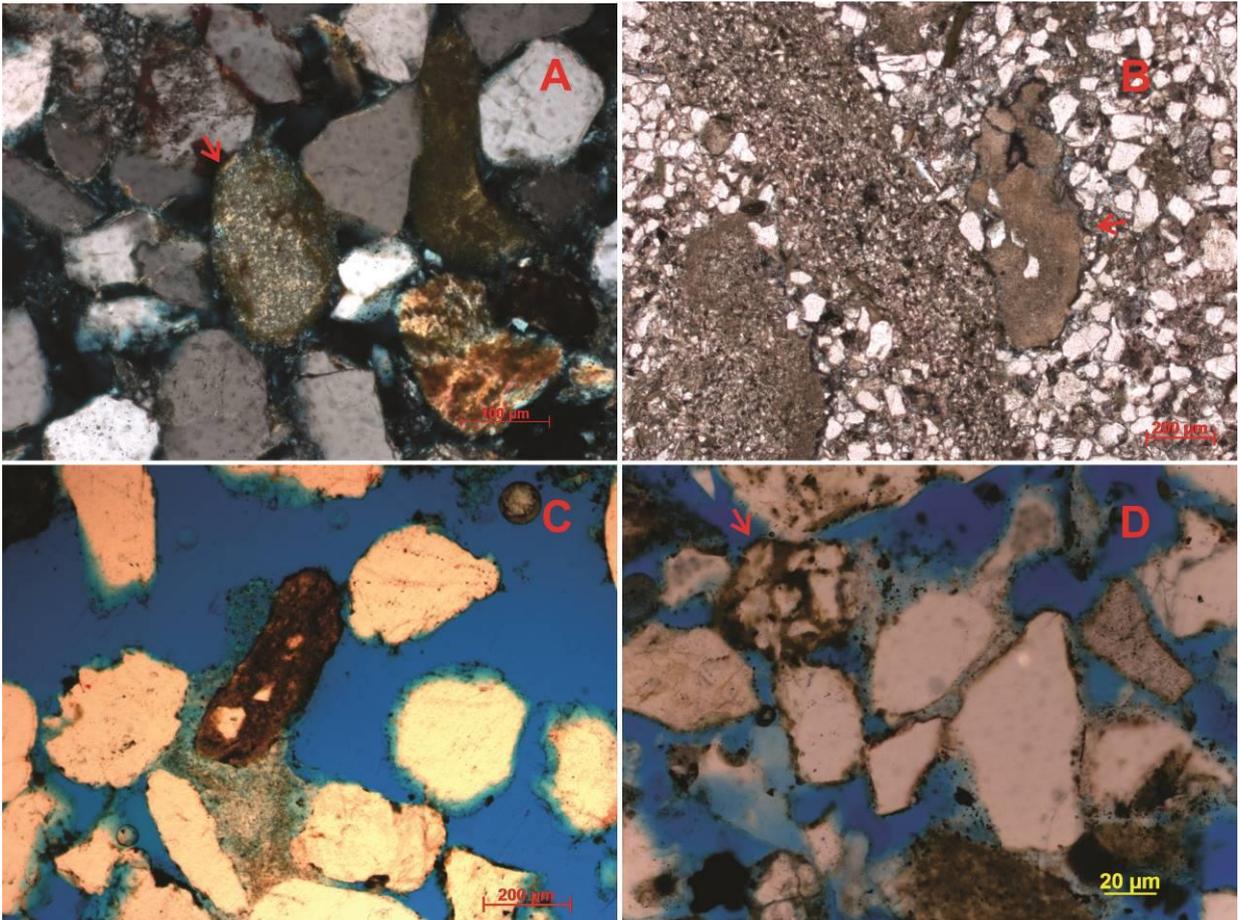


Figura 22 – Diferentes litoclastos sedimentares em lâminas delgadas a nicóis cruzados e descruzados. (A) Litoclasto de argilito em nicol cruzado. (B) Litoclasto de argilito, possivelmente um intraclasto em nicóis descruzados em 58,80m. (C) Litoclasto de lamito em nicol descruzado em 74,70m. (D) Litoclasto de arenito em nicol descruzado em 113,25m.

5.3.7 Litoclastos Vulcânicos

Litoclastos com textura vulcânica preservada são encontrados em pequenas porcentagens em algumas lâminas. É possível observar os fenocristais dentro do fragmento de rocha na Figura 23. Muitos litoclastos vulcânicos sofreram dissolução, principalmente da matriz, associados de alterações.

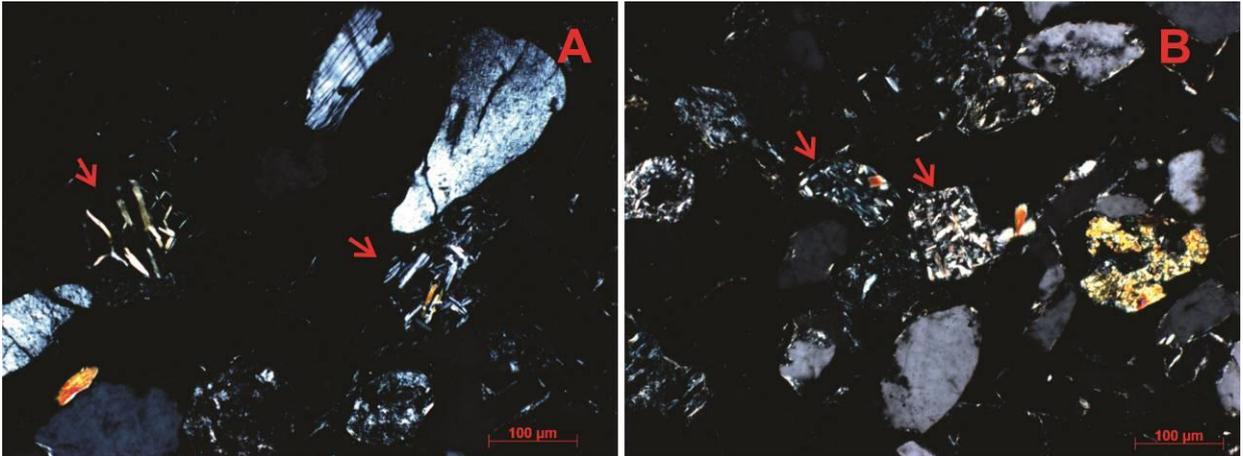


Figura 23 – Litoclastos vulcânicos em lâminas delgadas a nicóis cruzados na profundidade 82,85m.

Muitos destes clastos são de difícil identificação devido ao grau de alteração, sendo frequente existir dúvidas sobre se é realmente um litoclasto vulcânico em alguns casos. Contudo as imagens da Figura 21 são indubitavelmente litoclastos de origem vulcânica.

5.4 Constituintes Diagenéticos

5.4.1. Cimento Carbonático

A cimentação carbonática é comum no intervalo. Muitas vezes preenchendo completamente a porosidade primária e secundária das rochas, como pode ser visto na Figura 24, onde é possível observar a cimentação completa dos poros intergranulares e de poros intragranular.

Há evidência de corrosão de grãos associados com a cimentação carbonática, como é possível observar nas Figuras 24C e 24D. Na figura 24 D há um a feição onde os grãos são expandidos e dispersados pela cristalização de calcita decorrente da evaporação de H₂O (Armenteros, 2010).

Após o tingimento com alizarina, foi possível identificar que o cimento é composto de calcita, não havendo evidência de outros minerais do grupo dos carbonatos. Contudo, a presença de outros carbonatos não pode ser destacada sem análises geoquímicas.

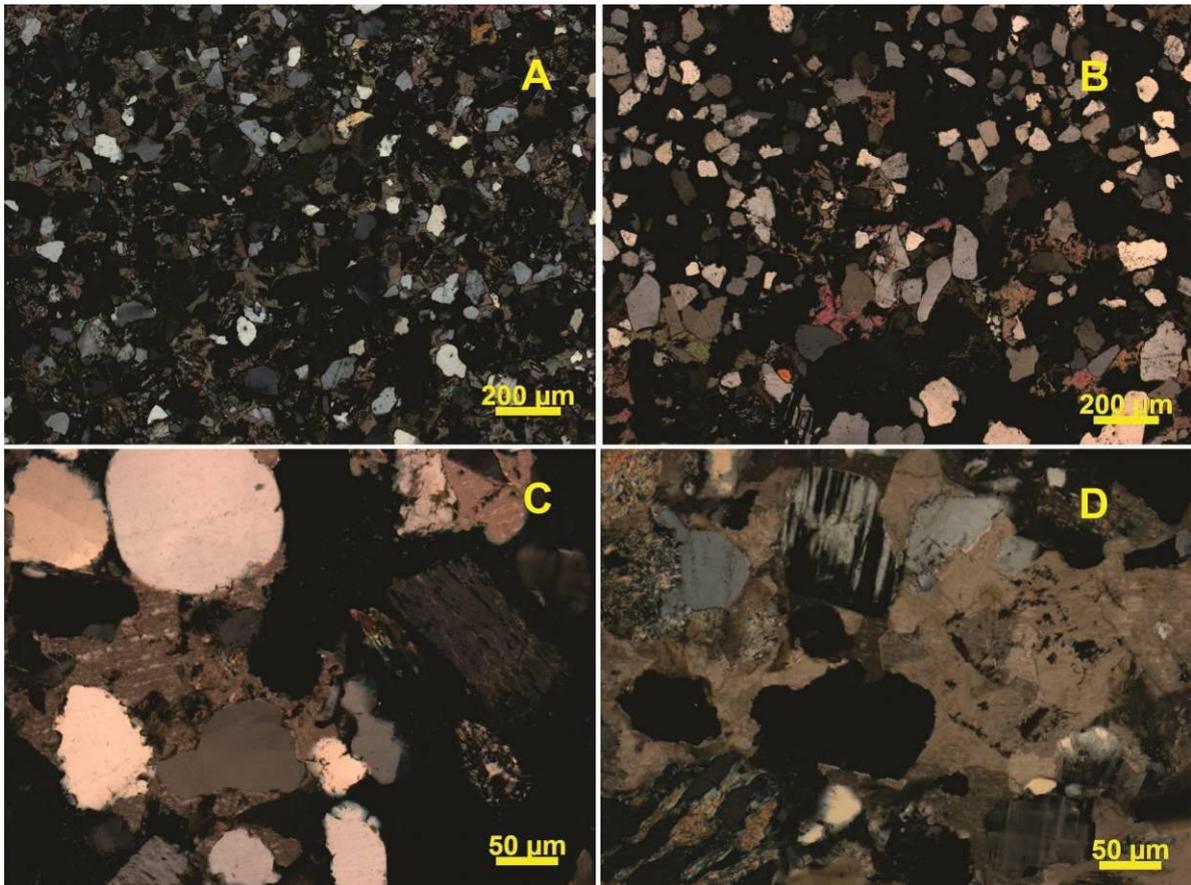


Figura 24 – cimentação carbonática em arenitos da Formação Rio da Batateira a nicóis cruzados. (A) arenito com poros intergranulares preenchidos por cimentos carbonático (B) cimentação carbonática com aspecto blocoso. (C) Corrosão de grãos associados à cimentação calcítica. (D) Expansão e dispersão de grãos por cimentação de calcita decorrente da evaporação de H₂O.

5.4.2. Caulinita

A caulinita é um constituinte diagenético frequente no intervalo. Este constituinte ocorre preenchendo porosidade primária e secundária ou como produto de alteração total ou parcial de minerais, do grupo dos feldspatos e outros silicatos. A caulinita pode ocorrer de forma microcristalina, (Figura 25 A e B), em aspecto vermicular ou em agregados de cristais bem formados (Figura 25 C e D).

Os cristais mais bem formados de caulinita estão associados com processos mesodiagenéticos, incluindo recristalização. A caulinita associada com cimentação calcítica pode ser interpretada como produto de sistemas de água subterrânea em sedimentos de alta permeabilidade em climas áridos e semiáridos (Morad, 1998).

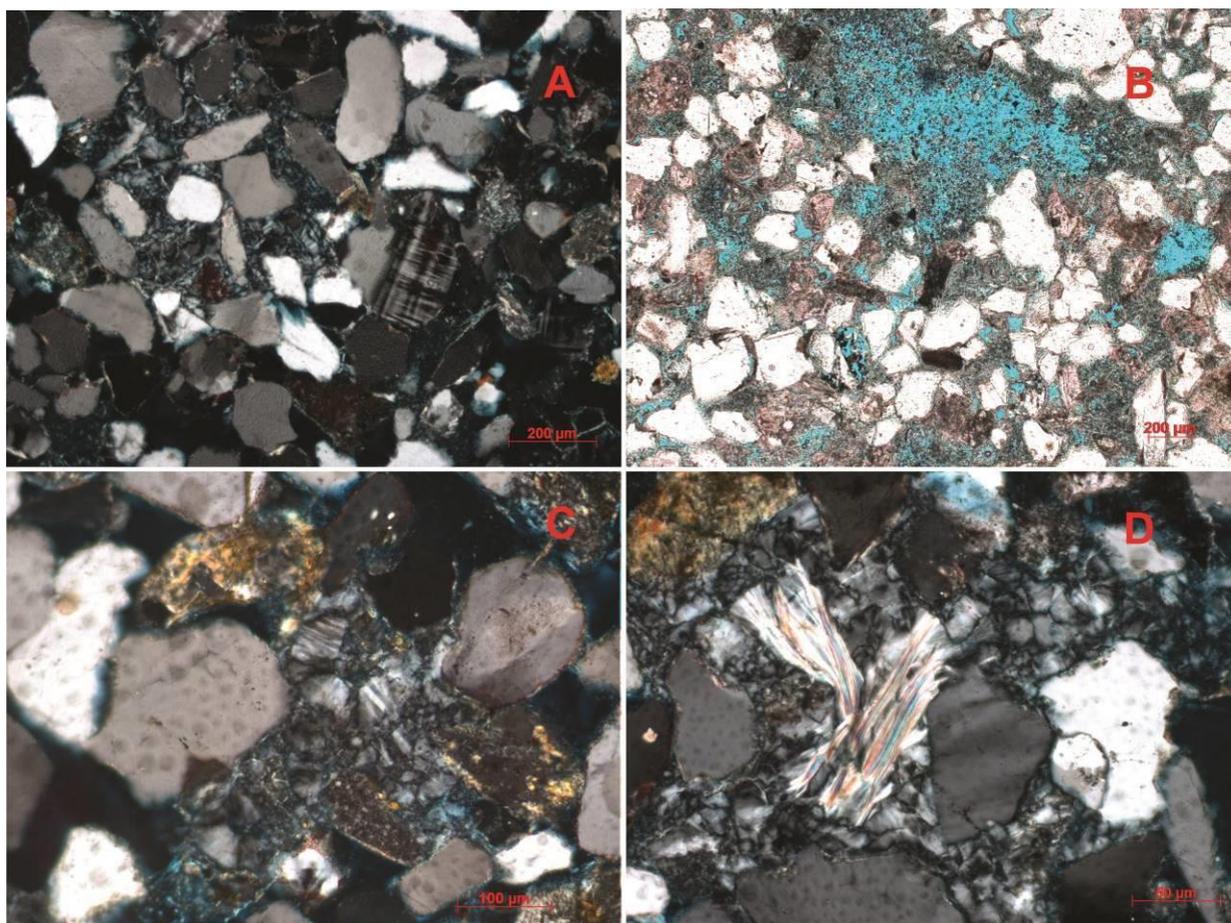


Figura 25 – Diferentes ocorrências de caulinita em arenitos da Formação Rio da Batateira em microscopia de luz transmitida. (A) Caulinita preenchendo porosidade intergranular em 73,45m. (B) Presença de caulinita microcristalina substituindo constituinte primários e preenchendo porosidade intergranular em 25,10m. (C) Caulinita bem formada preenchendo porosidade intergranular e constituinte primário completamente substituído por caulinita em profundidade 116,45m. (D) Caulinita preenchendo porosidade intergranular expandindo muscovita 73,45m.

5.4.3. Óxidos e hidróxidos de ferro

Óxidos e hidróxidos de ferro, como hematita e/ou goethita são encontrados em algumas lâminas. A hematita é mais abundante, estando presente como alteração de constituintes primários, cutículas e preenchendo porosidade intergranular. Alguns vestígios de óxidos parecem ser herdados da fonte, como na Figura 26A.

A goethita está presente de forma pontual, sendo diferenciada pela cor alaranjada com o cruzamento dos nicóis. Embora muitas vezes seja difícil a diferenciação de óxidos e

hidróxidos de ferro ao microscópio de luz transmitida. A ocorrência diversa destes constituintes pode ser observada na Figura 26B.

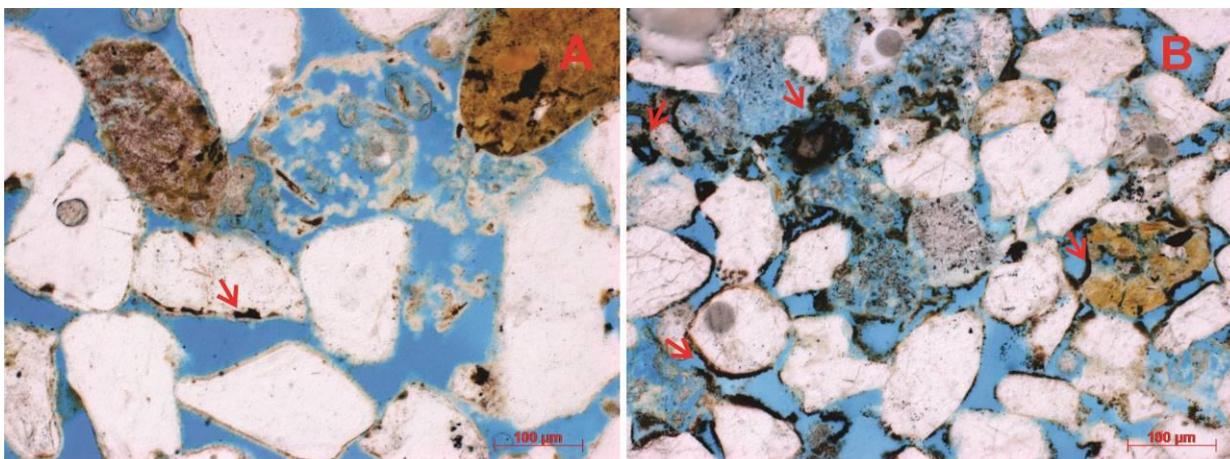


Figura 26 – Óxidos e hidróxidos em arenitos da Formação Rio da Batateira a nicóis descruzados. (A) Óxido herdado da fonte, coberto por cutícula de esmectitas na profundidade 118,50 m. (B) Óxidos e hidróxidos circundando grãos e substituindo constituintes primários 82,85m.

5.4.4. Esmectita

Franjas e cutículas de esmectitas são bastante frequentes nas amostras estudadas. Embora haja a presença deste mineral preenchendo porosidade intergranular.

Nas Figura 27, é possível observar franjas e cutículas de esmectitas, indubitavelmente de origem diagenética. Na Figura 27A é possível observar que há franjas bordeando óxidos de ferro, também diagenéticos. Algumas das franjas de esmectitas se descolam do grão original, preenchendo porosidade intergranular com esmectitas que podem ter aspecto de agregados como pode ser observado na Figura 27B. Em algumas amostras é difícil afirmar se as esmectitas são de origem deposicional, ou seja, compõe a matriz, ou se tem origem diagenética.

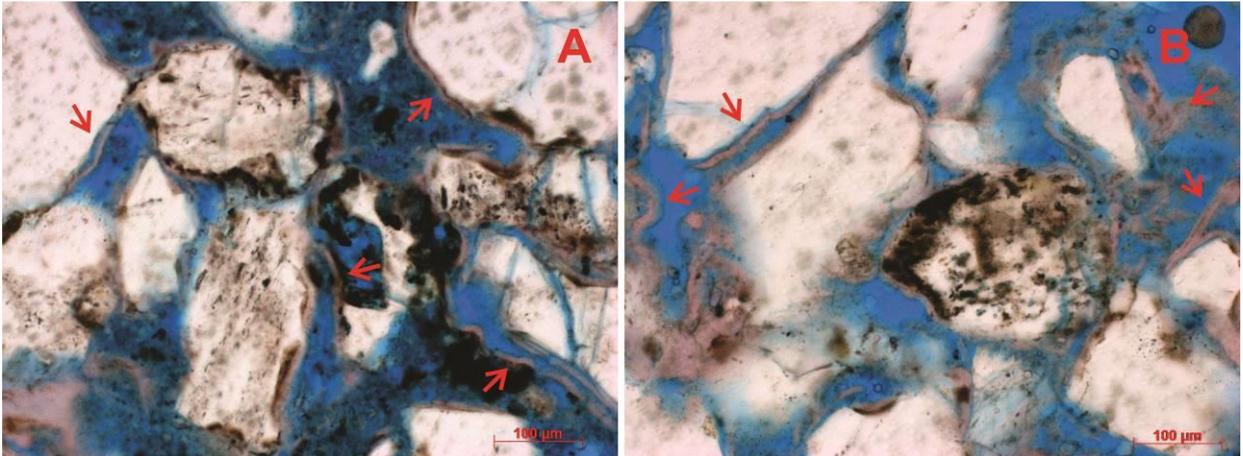


Figura 27 – Esmectitas em arenitos da Formação Rio da Batateira a nicóis descruzados. (A) Franjas de esmectitas em constituintes primários e secundários. (B) Franjas de esmectitas circundando grãos e soltas, preenchendo porosidade intergranular.

5.4.5. Ilita

A ilita aparece como um mineral de alteração de feldspatos e outros silicatos indiferenciados, em diversos graus de alteração deste constituinte primário. Em alguns intervalos é comum este mineral aparecer como franjas e cutículas de constituintes primários (Figura 28). Algumas franjas e cutículas marcam a borda de constituintes dissolvidos, como apresentado na Figura 28B.

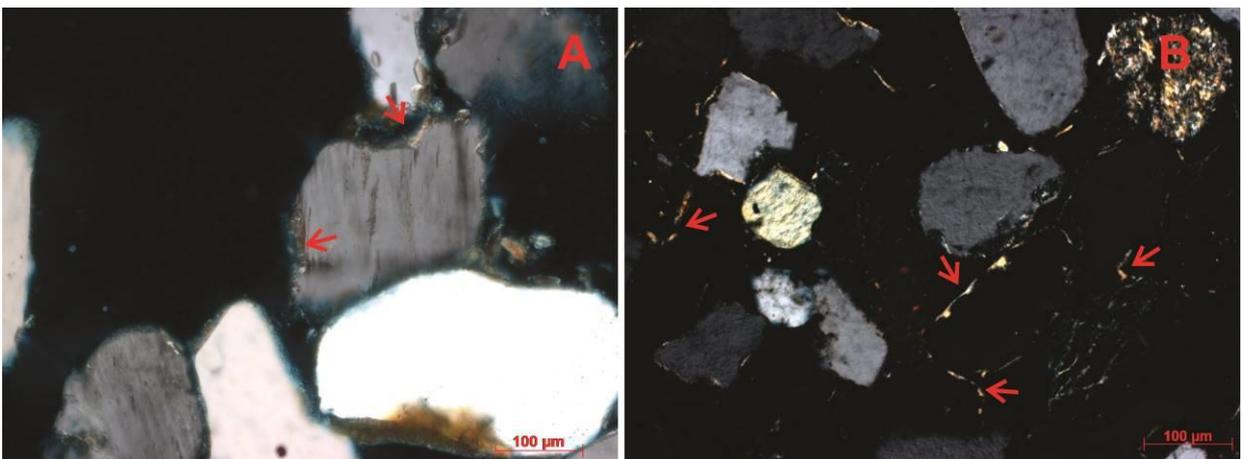


Figura 28 – Ilita diagenética em arenitos da Fm Rio da Batateira a nicóis cruzados. (A) Cutículas de ilita em constituinte primário (B) Cutícula de ilita marcando o contorno de grãos dissolvidos.

5.4.6. Sobrecrescimento de Feldspatos

Há a presença de sobrecrescimento de feldspatos em continuidade óptica com os constituintes primários em alguns níveis. As geminações típicas do grupo dos feldspatos marcam o limite original do clasto, sobre o qual é possível observar o sobrecrescimento do mineral, como é pode ser observado nas figuras 29A e 29B onde a seta vermelha indica a feição de sobrecrescimento do mineral. Existe a possibilidade destes sobrecrescimentos serem herdados da área fonte, e apenas a descrição de um número maior de lâminas pode esclarecer esta dúvida.

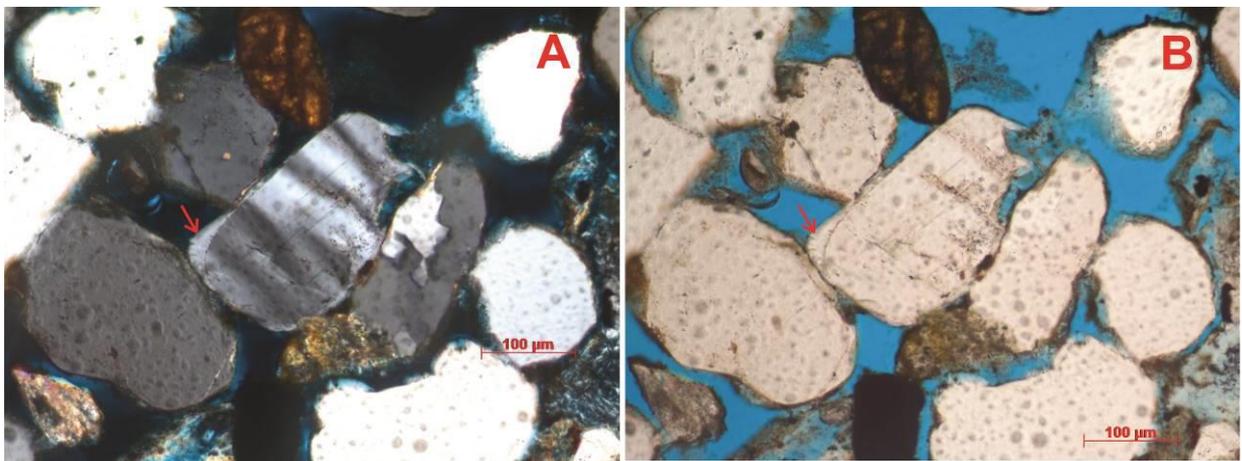


Figura 29 – Microclina com sobrecrescimento em microscópio de luz transmitida na profundidade de 88,40m. (A) Grão mineral a nicóis cruzados. (B) Grão mineral a nicóis descruzados.

5.4.7. Sobrecrescimento de Quartzo

Em alguns intervalos é possível observar sobrecrescimento de quartzo em continuidade óptica com o constituinte primário, sendo preservado o contorno original do clasto por acúmulo de minerais secundários, muito frequentemente minerais opacos. Um exemplo destas feições em um mesmo grão em nicóis cruzados e descruzados pode ser visto na Figura 30.

Assim como no caso dos feldspatos, alguns clastos com esta feição podem ter herdado da área fonte, embora um volume maior de descrições seja necessário para validar ou não esta hipótese.

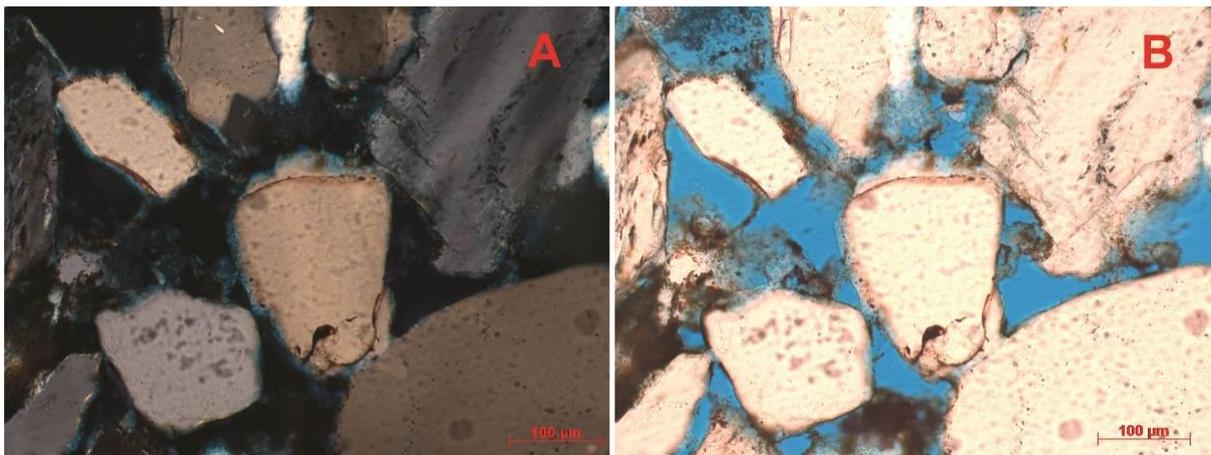


Figura 30 – Quartzo com sobrecrecimento em microscópio de luz transmitida na profundidade de 90,30m. (A) Grão mineral a nicóis cruzados. (B) Grão mineral a nicóis descruzados.

5.5. Composição

As amostras que foram descritas quantitativamente através do método Gazzi-Dickinson (Zuffa, 1980) foram plotadas no diagrama de Folk (1968) na Figura 31. Os pontos em azul são as lâminas do ciclo inferior da Formação Rio da Batateira, ou seja, estratigraficamente abaixo do Membro Fundão. Os pontos em vermelho são as lâminas estratigraficamente acima do Membro Fundão. Contudo, os dados analisados não permitem chegar em um resultado conclusivo, embora relativamente, as amostras do ciclo inferior aparentem ser mais maduras composicionalmente.

É importante destacar que a Figura 31 mostra a classificação atual e original das amostras por Folk (1968). A classificação original é diferente da atual em alguns casos onde é possível reconstruir a composição original, onde minerais fruto de alteração de constituintes primários são contabilizados como o constituinte original, e não como o constituinte atual. As amostras abaixo do Membro Fundão são todas subarcóseos três delas agrupadas. Embora a amostragem seja desigual, sendo quatro amostras para o ciclo abaixo do Membro Fundão e onze amostras para o ciclo acima, este padrão sugere uma variação composicional.

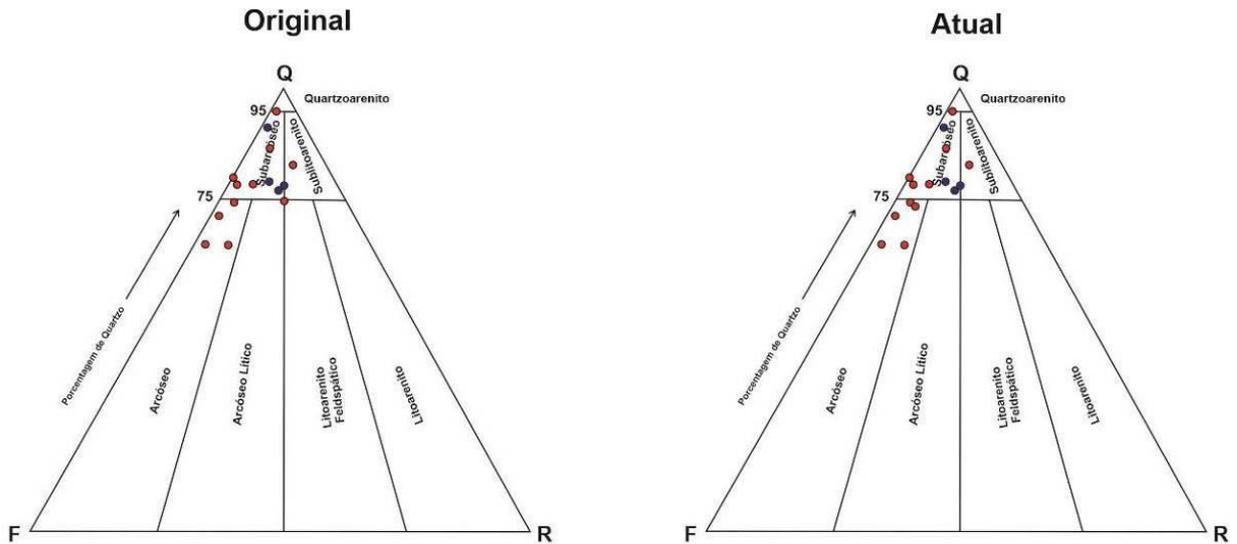


Figura 31 – Diagrama de Folk (1968) com as lâminas descritas quantitativamente plotadas. Os pontos azuis são as lâminas do ciclo inferior, abaixo do Membro Fundão. As lâminas vermelhas são do ciclo superior, acima do Membro Fundão.

A síntese da descrição das amostras está no Quadro 4, onde estão registradas a profundidade das amostras, os constituintes diagenéticos identificados e a classificação atual de cada amostra por Folk (1968) e Dickinson (1985).

A classificação por Dickinson (1985) nos fornece uma inferência de ambientes geotectônicos a partir da composição dos arenitos. A maior parte das amostras foram classificadas como pertencentes ao ambiente tectônico de bloco continental, e apenas três foram classificadas como orógeno reciclado. Contudo, esta classificação deve ser utilizada com cautela e associada com outros dados e evidências que corroborem os ambientes inferidos. Todavia, para fins expositivos, optou-se por apresentar as classificações obtidas para as amostras. Embora não seja possível descartar a influência tectônica na variação composicional das lâminas estudadas, principalmente no contexto de tectonossequências identificadas por Paula Freitas & Borghi (2011) e de sequências de Scherer *et al.* (2015).

Quadro 4: Síntese dos resultados obtidos a partir da descrição das amostras estudadas.

Profundidade	Constituintes Diagenéticos	Folk atual	Dickinson
25,10 m	Caulinita, cimento carbonático, esmectita e illita	Arcóseo	Bloco continental
29,65m	Cimento carbonático, caulinita, esmectita e illita	Arcóseo	Bloco continental
34,45m	Cimento carbonático, illita, esmectita, clorita	Arcóseo	Bloco continental
40,75m	Caulinita, esmectita e illita	-	-
45,60m	Caulinita, illita, óxidos/hidróxidos de ferro e esmectita	Arcóseo	Bloco continental
58,80m	Caulinita, cimento carbonático, esmectita e clorita	Subarcóseo	Bloco continental
63,80m	Caulinita, cimento carbonático, esmectita e illita	Arcóseo	Bloco continental
66,55m	Caulinita, illita, esmectita e cimento carbonático	-	-
70,35m	Cimento carbonático, caulinita e óxido/hidróxido de ferro	Subarcóseo	Bloco continental
73,45m	Caulinita e cimento carbonático	-	-
74,70m	Cimento carbonático	Arcóseo Lítico	Orógeno reciclado
82,85m	Caulinita, illita e óxidos/hidróxidos de ferro	Subarcóseo	Bloco continental
88,40 m	Crescimento de feldspato, caulinita, óxidos e illita	Quartzarenito	Bloco continental
90,30m	Sobrecrescimento de quartzo e feldspato, illita, esmectita, caulinita e óxidos diagenéticos	Arcóseo lítico	Orógeno reciclado
96,00 m	Esmectita, caulinita e óxidos/hidróxidos de ferro	-	-
99,30 m	Membro Fundação	-	-
99,40 m	Membro Fundação	-	-
106,35m	Caulinita, cimento carbonático, esmectita e illita	Subarcóseo	Bloco continental
113,25m	Cimento carbonático, illita, esmectita, sobrecrescimento de quartzo	Subarcóseo	Orógeno reciclado
116,45m	Caulinita e illita	Sublitoarenito	Bloco continental
118,50m	Cimento carbonático, sobrecrescimento de feldspatos e óxidos diagenéticos	Subarcóseo	Bloco continental

A Figura 30 organiza os dados de forma que a visualização da variação composicional estratigraficamente seja melhor destacada. Foi separada em duas colunas as porcentagens modais, uma coluna para os constituintes que classificam a rocha, sendo eles quartzo (Qtz), feldspatos totais (Ft) e litoclastos totais (Ltt). E outra coluna apenas para as porcentagens modais de litoclastos, separados em litoclastos metamórficos (Lm), litoclastos sedimentares (Ls) e litoclastos vulcânicos (Lv).

É importante destacar que a porcentagem de litoclastos vulcânicos se concentra em um intervalo específico, estando presentes entre as amostras 70,35m e 113,25m. Baseado nas

características dos litoclastos vulcânicos observados, isto pode ser o indicativo de um possível evento vulcânico próximo da bacia. Embora uma mudança de área fonte seja uma abordagem mais conservadora baseada no conjunto de dados analisados, mesmo sem haver indícios de variação de paleocorrentes no intervalo, como destaca Scherer *et al.* (2015).

Contudo, a preservação e concentração de litoclastos vulcânicos em intervalos específicos chamam atenção. Principalmente pela proximidade estratigráfica do Membro Fundão, que apresenta mineralização sulfetada de Pb e Zn. Não há na literatura uma classificação detalhada do sistema de mineralização de sulfetos no intervalo. Chagas *et al.* (2007) cita essas mineralizações em carbonatos brechados, embora não avance na gênese das mineralizações no texto. Isto desperta suspeitas da mineralização de sulfetos de chumbo e zinco poderem ter relação com hidrotermalismo ou vulcanismo, que são as principais fontes destes elementos em ambientes sedimentares segundo Ridley (2013).

O perfil apresentado na Figura 32 foi feito a partir da descrição o testemunho, as estruturas e contatos erosivos foram retiradas desta descrição macroscópica. É possível observar nela o intervalo que se concentra os litoclastos vulcânicos, e a sua relação com a posição estratigráfica no Membro Fundão. Também está destacado o limite entre a sequência 1 e sequência 2 de Scherer *et al.* (2015), que coincide com a superfície discordante D1 de Paula Freitas & Borghi (2011). A superfície de inundação I1, identificada por Paula Freitas & Borghi (2011), também está destacada na Figura 32. É importante ressaltar que as superfícies e limite de sequência citados anteriormente foram transpostos para o testemunho estudado a partir das descrições apresentadas pelos autores em suas publicações.

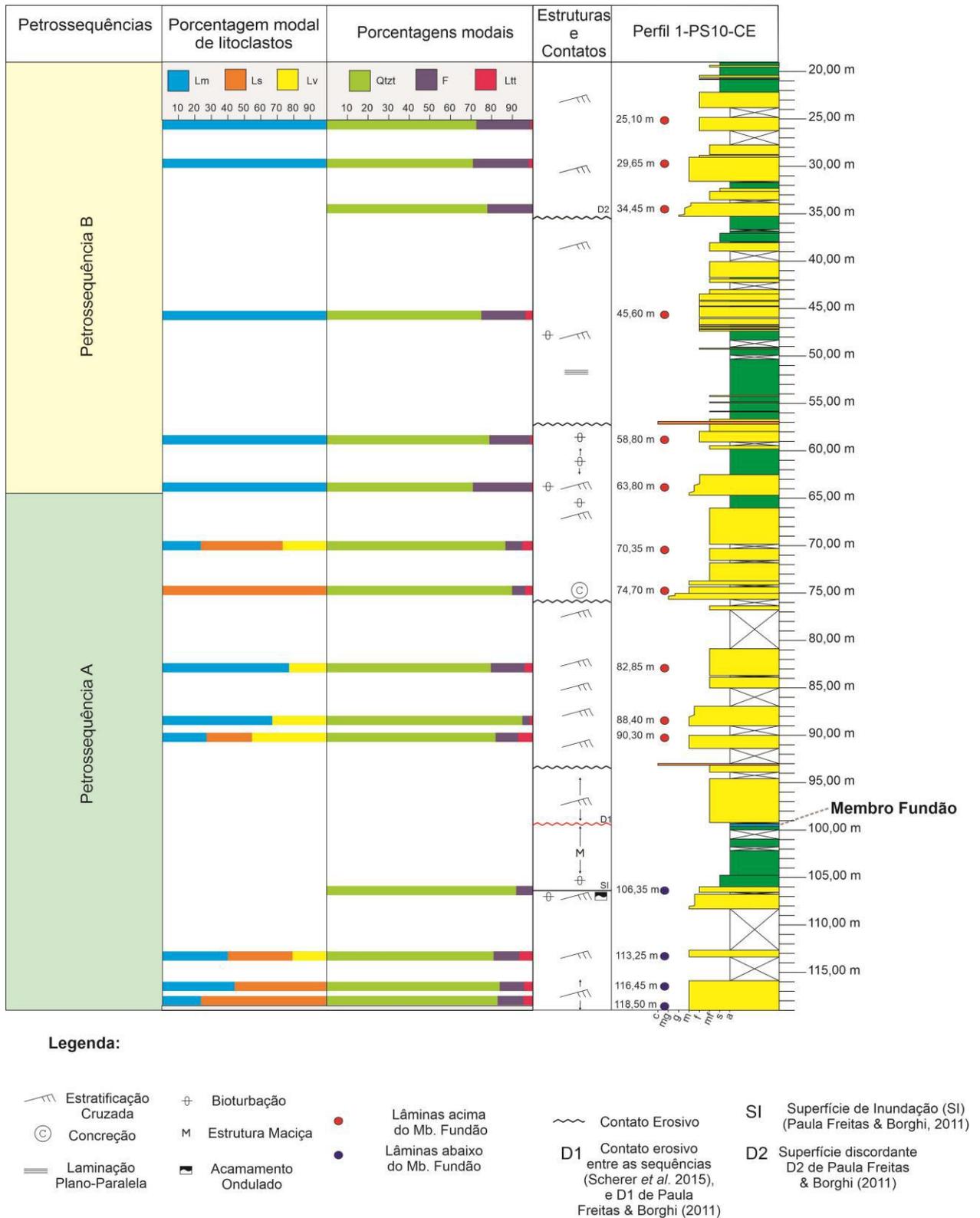


Figura 32 – Síntese das porcentagens modais de constituintes que classificam a rocha e de litoclastos. Com algumas estruturas representativas e contatos erosivos identificados na descrição do poço, assim como os pontos de amostragem.

Entre 25,10m e 63,80m a fração de litoclastos dos arenitos que apresentam tal constituinte é exclusivamente de origem metamórfica. Esses litoclastos podem ter origem diversa, já que a Província Borborema é composta por inúmeras unidades metamórficas.

Nos intervalos entre 70,35m e 74,70m, e entre 90,30m e 118,50m se concentram as amostras com presença de litoclastos sedimentares, embora nem todas tenham o constituinte. Esta concentração pode indicar os Tratos de Sistema de Baixa Acomodação (TSBA) localizados na base de cada um dos dois ciclos da Formação Rio da Batateira, descritos por Scherer *et al.* (2015), onde há retrabalhamento de sedimentos e rochas da própria bacia. Como a localização das amostras com litoclastos sedimentares estão concentradas na base de cada ciclo, elas coincidem com a posição estratigráfica esperada do TSBA do intervalo.

Scherer *et al.* (2015) também discutem as variações nos padrões de canais fluviais na Formação Rio da Batateira, resultantes da relação entre acomodação/sedimentação. Os autores identificam variações de tipo de canal dentro de cada um dos dois ciclos, embora não haja variação na paleocorrente em todo o intervalo. Com isso, não é esperada uma mudança de área fonte no intervalo.

Com base nos resultados composicionais obtidos da fração correspondente aos litoclastos, pode-se dividir o intervalo amostrado em duas petrossequências, como pode ser observado na Figura 32. Na petrossequência A, há a ocorrência de litoclastos sedimentares e em algumas amostras litoclastos vulcânicos, como já foi discutido anteriormente. Na petrossequência B há apenas litoclastos metamórficos compondo a fração de litoclastos dos arenitos amostrados.

5.6. Diagênese

A formação de franjas de esmectita é o primeiro constituinte diagenético formado. Devido à relação espacial deste constituinte, a sua provável origem é tanto precipitação química quanto a infiltração de argilominerais segundo Worden & Burley, (2003). Em algumas

lâminas as franjas foram deslocadas da borda dos grãos, provavelmente por contração, gerando agregados de esmectita e illita em porosidade intergranular.

Os argilominerais do grupo das esmectitas estão associados com a eodiagênese, já que se relacionam com o intemperismo inicial de aluminossilicatos e percolação de água com grande atividade de Ca e Mg (Worden & Burley, 2003). As condições eodiagenética para a formação deste argilomineral é de alta concentração de íons, e posteriormente, em condições mesodiagenéticas, esmectitas podem se transformar em illitas (Worden & Morad, 2003). Neste contexto, as cutículas e franjas de illita observadas nas amostras são mesodiagenéticas, e provavelmente são derivadas de esmectitas, já que é comum estarem associadas.

Morad *et al.* (2000) relacionam a formação de esmectitas ao regime à climas áridos e semiáridos, com precipitações abaixo de 200mm ano^{-1} , onde pode ocorrer a formação de óxidos, hidróxidos e calcretes, por exemplo.

Alguns grãos apresentam sinais de dissolução eodiagenética posterior a formação de esmectitas, embora esta dissolução ocorra também na mesodiagênese e provavelmente na telodiagênese. Segundo Worden & Morad (2003) a dissolução de grãos eodiagenética é prevalente em sedimentos permeáveis, como depósitos de areia de canal. Morad *et al.* (2000) também associa esta dissolução à influxo de água meteórica ou proximidade à canais fluviais.

O sobrecrecimento de quartzo e feldspatos é observado pontualmente. Um maior número de lâminas precisaria ser descrito para que houvesse maior assertividade em definir se a origem dos sobrecrecimentos observados é ou não a área fonte. Embora pontualmente alguns sobrecrecimentos de quartzo são indubitavelmente oriundos do regime de mesodiagênese da Formação Rio da Batateira. Quanto ao sobrecrecimento de feldspatos, como são raramente observados na rocha, não se pode ter certeza se são ou são herdados.

Bjørlykke & Egeberg (1993) destacam que reações diagenéticas como a formação de illita, em temperaturas relativamente altas (mesodiagéticas) são responsáveis pelo fornecimento de

sílica para sobrecrecimento de quartzo. Além disto, K-feldspatos se tornam instáveis na presença de caulinita acima de 130°C, liberando sílica. Em condições mesodiagenéticas favorecem a formação de quartzo ao invés de sílica amorfa.

A caulinita é muito abundante em diversas lâminas, preenchendo porosidade intergranular, substituindo feldspatos primários e substituindo e expandindo micas. Este mineral, assim como outros argilominerais da família do caulim, “ocorre na eodiagênese, onde as condições de formação são pH baixo, fluidos de baixa força iônica” (Worden & Burley, 2003). Emery *et al.* (1990) destacam a contribuição da lixiviação de feldspatos potássicos por água doce como uma das condições para a formação e caulinita.

A caulinita eodiagenética está associada com climas quentes e úmidos, devido à alta disponibilidade de água meteórica para haver baixa concentração iônica e favorecer a formação deste argilomineral. Embora em climas áridos e semiáridos possa haver a formação de caulinita na região do freático, principalmente em áreas próximas à canais com grande influxo de água com baixa concentração iônica, neste caso a caulinita pode estar associada com a cimentação calcítica. Tanto a quantidade, quanto o padrão de distribuição da caulinita é influenciada por diversos fatores, como a quantidade de silicatos detríticos instáveis, precipitação anual, condutividade hidráulica e taxa de fluxo de fluido no corpo arenoso. Já a caulinita mesodiagenética é caracterizada por cristais bem formados, devido ao soterramento e aumento da temperatura, este soterramento ocorre por volta de 2Km-3Km e as temperatura ficam na faixa de 70°C a 90°C (Worden & Morad, 2003)

A cimentação carbonática é composta basicamente por calcita eodiagenética, havendo sinais expansão e dispersão de grãos por cristalização. As amostras 29,65m, 70,35m, 74,70m e 118,50m estão fortemente cimentadas, com calcita blocosa. Este padrão pode estar relacionado com calcretes, ou recristalização, seja eodiagenética tardia ou mesodiagenética da calcita, como é discutido por Morad (1998). Alonso-Zarza & Wright (2010) elucidam a partir

de extensa revisão bibliográfica que calcrites são formadas pela precipitação de calcita em regiões áridas e semiáridas em condições de água subterrânea na zona vadosa e freática. Logo, estas amostras podem ter alguma relação com a formação de calcrites, o que precisa ser melhor investigado.

Em algumas amostras é possível observar a corrosão de grãos decorrentes da cimentação calcítica, atribuídas por Bjørlykke & Egeberg (1993) ao aumento do pH que altera a solubilidade do quartzo.

Óxidos e hidróxidos de ferro estão presentes em diversas amostras. Alguns recobrimentos de óxidos em grãos são herdados. Contudo a maioria é eodiagenético tardio, em grande parte resultado de alteração de constituintes primários, embora óxidos e hidróxidos resultantes da precipitação pela percolação de fluidos não possa ser excluída. Também há uma fase telodiagenética de formação de óxidos e hidróxidos de ferro, onde é possível observar estes constituintes depositados após a dissolução de alguns grãos. Estes óxidos de ferro cobrindo minerais pode ser um indicativo de clima árido, já que o ferro tende a estar completamente oxidado neste clima, formando óxidos e hidróxidos (Worden & Morad, 2003).

Muscovitas e biotitas frequentemente apresentam sinais de compactação mecânica, que ocorre entre a eodiagênese tardia e início da mesodiagênese. Alguns grãos de quartzo e feldspatos também apresentam sinais desta compactação por conta de fraturas.

A síntese dos processos e constituintes diagenéticos mais representativos observados nas amostras podem ser vistos na Figura 33. Onde é possível observar a relação de ordem inferida dos processos e constituintes diagenéticos.

Processos e constituintes	Eodiagênese	Mesodiagênese	Telodiagênese
Esmectita	—		
Dissolução	-----	-----	-----
Caulinita	—	—	
Calcita	—		
Óxidos/hidróxidos		—	—
Compactação		—	
Corrosão		—	
Ilita			—
Sobrecrescimento de quartzo		-----	
Sobrecrescimento de feldspato		-----	

Figura 33 – Síntese simplificada e esquemática dos processos e constituintes diagenéticos.

As características diagenéticas das amostras estudadas corroboram com estudos faciográficos como o de Chagas *et al.* (2007), Scherer *et al.* (2015) e Fambrini *et al.* (2015), que interpretam as os intervalos de arenitos da Formação Rio da Batateira como produto de sistemas fluviais. Como já foi discutido anteriormente, a presença de caulinita eodiagenética se relaciona com canais, assim como a cimentação calcítica pode estar associada com sistema de águas subterrâneas próximas de sistemas fluviais.

A presença de óxidos e hidróxidos telodiagenéticos apoiam a identificação de fases tectonicamente ativas dentro da Formação Rio de Batateira feita por Paula Freitas & Borghi (2011). Já que a telodiagênese é o resultado da exposição de rochas por soerguimento.

6. CONCLUSÕES

Os constituintes eodiagênicos observados foram esmectita, caulinita, calcita e óxidos/hidróxidos de ferro, nesta fase da diagênese houve dissolução, compactação e corrosão. Na mesodiagênese houve a formação de caulinita, illita e provavelmente sobrecrecimento de quartzo e feldspatos, nesta fase também ocorreu a dissolução de grãos. Há uma nova fase de formação de óxidos/hidróxidos de ferro na telodiagênese, onde também há evidências de dissolução de grãos.

Os constituintes diagenéticos descritos, assim como a relação espacial entre eles, indica que a eodiagênese ocorreu predominantemente em clima semiárido ou árido, em zona vadosa ou próxima de canais. A associação de caulinita e calcita, presentes em algumas lâminas assim como esmectitas, são um forte indicativo desta interpretação. Chagas *et al.* (2007), Scherer *et al.* (2015) e Fambrini *et al.* (2015) interpretam os arenitos da Formação Rio da Batateira como o registro de sistemas fluviais, o que está de acordo com a interpretação diagenética.

Todas as amostras do ciclo abaixo do Membro Fundão são subarcóseos, enquanto acima existem quartzarenito, sublitoarenito, arcóseos, subarcóseos e arcóseos líticos. Isso pode indicar uma variação composicional sutil entre o ciclo superior e inferior da Formação Rio da Batateira. Estudos petrográficos quantitativos em um maior número de amostras de outros poços posicionados em outras regiões da bacia são necessários para resultados mais conclusivos. Já que compartimentações tectônicas da bacia podem influenciar na composição dos arenitos. E o estudo de apenas um furo de sondagem não permite comparar variações laterais.

A presença de litoclastos vulcânicos concentrados em arenitos entre 70,35m e 113,25m pode ser um indicativo de mudança na área fonte. Talvez isso indique um possível evento vulcânico na Bacia do Araripe ou próximo dela, contudo um número maior de amostras

precisa ser investigado. Fora isso, análises geoquímicas podem fornecer informações mais conclusivas sobre um possível evento vulcânico ou variação de área fonte.

Algumas mudanças composicionais e diagenéticas dos arenitos podem estar relacionadas com períodos de baixa acomodação e alta acomodação, identificados por Scherer *et al.* (2015) no intervalo. Principalmente onde há concentrações de litoclastos sedimentares que podem ter origem intrabacia. Com base nisso, podemos dividir o intervalo amostrado em duas petrosequências, a partir de critérios composicionais da fração dos arenitos correspondentes aos litoclastos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO-ZARZA, A.M., WRIGHT, V.P. **Calcretes**. In: ALONSO-ZARZA, A.M., L.H. TANNER. (Eds), *Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments, and Processes*, Vol. 61, Elsevier, Amsterdam. 2010

ARMENTEROS, I. **Diagenesis of Carbonates in Continental** In: ALONSO-ZARZA, A.M., TANNER, L.H. (eds)*Carbonates in Continental Settings: Geochemistry, Diagenesis and Applications*. Elsevier, Amsterdam. 2010

ASSINE, M. F. **Bacia do Araripe**. Boletim de Geociências - Petrobras 2007

ASSINE, M. L. **Análise Estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste Do Brasil**. 1992.

BEURLIN, K. **As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana, na chapada do Araripe (Nordeste do Brasil)**. An.Acad.Bras.Ciênc., 43 (suplemento):411-415. 1971

BEURLIN, K. **A geologia da Chapada do Araripe**. An.Acad.Bras.Ciênc., 34(3):365-370. 1962

BOGGS, Jr. S. **Petrology of Sedimentary Rocks**. Cambridge University Press, 2009

CHAGAS, D.B.; ASSINE, M.L. & FREITAS, F.I. **Fácies sedimentares e ambientes deposicionais da Formação Barbalha no Vale do Cariri, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil**. Geociências, 26(4): 313-322. 2007

CHOQUETTE, P. W. & PRAY, L.C. Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. AAPG Bull., 54, 207–250. 1970

COIMBRA, J.C.; ARAI, M. & CARREÑO, A.L. **Biostratigraphy of Lower Cretaceous microfossils from the Araripe basin, northeastern Brazil**. Geobios, 35(6):647-767. 2002

DICKINSON W. R. and SUCZEK C. A. **Plate tectonics and sandstone compositions**. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 63,2 164-2 182. 1979

DICKINSON W. R., BEARD L. S., BRAKENRIDGE G. R., ERJAVEC, J. L., FERGUSON R. C., INMAN K. F., KNEPP R. A., LINDBERGF. A., RYBERG P. T. **Provenance of**

North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. Geol. Soc. Amer. Bull. 94,222-235. 1983

DICKINSON, W. R. **Interpreting Provenance Relations From Detrital Modes of Sandstones.** In: Provenance of Arenites. ed. ZUFFA, G. G. vol. C-148, 333–362 NATO Advanced Science Institutes. 1985.

EMERY, D., R.J. MYERS, R.J. & YOUNG, R. **Ancient subaerial exposure and freshwater leaching in sandstones.** Geology, 18, 1178–1181. 1990

FAMBRINI, G. L., DE MENEZES-FILHO, J. A. B., JESUÍNO, P. C. L., DE ARAÚJO, J. T., DE LIMA DURVAL, L. G., & NEUMANN, V. H. D. M. L. **Sucessão faciológica da Formação Barbalha, Bacia do Araripe, nordeste do Brasil.** Estudos Geológicos, 25(1), 137-164. 2015

Folk, R. L. **Petrology of sedimentary rocks.** 1968.

GASPARY, J. & ANJOS, N.F.R. Estudo hidrogeológico de Juazeiro do Norte – Ceará. DRN/SUDENE, Série Hidrogeologia, 3, 25p. 1964

HASHIMOTO A.T., APPI C.J; SOLDAN A.L; CERQUEIRA J.R. **O neo-alagoas nas bacias do Ceará. Araripe e Potiguar (Brasil): caracterização estratigráfica e paleoambiental.** Revista Brasileira de Geociências, 17:118-122. 1987

K. BJØRLYKKE, K. & P. K.EGEBERG, **Quartz cementation in sedimentary basins.** American Association of Petroleum Geologists. 1993

MORAD, S. **Carbonate Cementation in Sandstones: Distribution Patterns and Geochemical Evolution.** In: MORAD, S. Carbonate Cementation in Sandstones: Distribution Patterns and Geochemical Evolution. 1998

MORAD. S, KETZER, J. M & DE ROS, L. F. **Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliciclastic rocks: implications for mass transfer in sedimentary basins.** Sedimentology, 47 (Millenium Reviews), 95–120. 2000

- NICHOLS, G. *Sedimentology and Stratigraphy*. Blackwell Science Ltd., London, 335 p. 2009
- PAULA FREITAS, A. B. L. & BORGHI, L. **Estratigrafia de Alta Resolução do Intervalo Siliciclástico Aptiano Da Bacia Do Araripe**. Geociências. 2011
- PONTE, F. C. & PONTE-FILHO, F. C. **Estrutura Geológica e Evolução Tectônica da Bacia do Araripe**. Ministério de Minas e Energia. 1996.
- RIDLEY, J. **Ore Deposit Geology**. Cambridge Univ. Press, New York. 2013
- SCHERER, C. M. S., GOLDBERG, K., BARDOLA, T. **Facies architecture and sequence stratigraphy of an early post-rift fluvial succession, Aptian Barbalha Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil**. *Sedimentary Geology*. 2015
- WORDEN, R. H. & BURLEY, S. D. (2003). **Sandstone diagenesis: the evolution of sand to stone**. In: Burley, S. D. & Worden, R. H. (Eds.). *Sandstone diagenesis: Recent and Ancient*. Reprint series of International Association of Sedimentologists. 2003
- WORDEN, R.H., MORAD, S. **Clay minerals in sandstones: controls on formation, distribution and evolution**. In: WORDEN, R.H., MORAD, S. (eds.) *Clay Mineral Cements in Sandstones*. International Association of Sedimentologists Special Publication 34, Oxford, Blackwell Science. 2003
- ZUFFA, G.G. **Hybrid Arenites: Their Composition and Classification**. *Journal of Sedimentary Research*. 1980