



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**FACULDADE DE GEOLOGIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC**

**ESTUDO PETROGRÁFICO E DIAGENÉTICO DOS ARENITOS  
DO PARQUE NACIONAL DE SETE CIDADES - FORMAÇÃO  
CABEÇAS.**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:**  
**FÁBIO LUIZ MOREIRA BRASIL**  
**Orientador (a): Profa. Dra. Rosemery da Silva Nascimento (IG/UFPA)**

---

**BELÉM – PARÁ**

**2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

B823e Brasil, Fábio Luiz Moreira.  
Estudo petrográfico e diagenético dos arenitos do  
Parque Nacional de Sete Cidades - Formação Cabeças /  
Fábio Luiz Moreira Brasil. — 2022.  
xiii, 51 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Rosemery da Silva Nascimento  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade  
Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de  
Geologia, Belém, 2022.

1. Arenitos. 2. Bacia do Parnaíba. 3. Mineralogia.  
4. Petrografia. 5. Catodoluminescência. I. Título.

CDD 552.5

---



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE GEOLOGIA**

**ESTUDO PETROGRÁFICO E DIAGENÉTICO DOS ARENITOS  
DO PARQUE NACIONAL DE SETE CIDADES - FORMAÇÃO  
CABEÇAS.**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado por  
FÁBIO LUIZ MOREIRA BRASIL**

**Como requisito para a obtenção do Grau de Bacharel em Geologia, linha de  
pesquisa em Sedimentologia**

Data de aprovação: 21/02/2022

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Rosemary da Silva Nascimento  
(Orientadora – UFPA)

Prof. Dr. Joelson Lima Soares  
(Relator Interno – UFPA)

Prof. Dr. Pedro Augusto Santos da Silva  
(Relator Externo – PPGG/UFPA)

*Aos meus pais,  
Pelo suporte e motivação de todos os dias*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me dado saúde e me guiado até aqui, sem sua compaixão e bênçãos, eu não seria a pessoa que me tornei hoje.

Agradeço aos meus pais, José e Socorro, por terem me dado suporte em todos os meus anos de ensino. Eu não seria ninguém sem a confiança que crença que eles depositaram em mim.

À minha namorada, Jhennyfer, que desde o ensino médio esteve ao meu lado e viu a minha luta para chegar até aqui, o seu amor e carinho foram essenciais nessa jornada.

Aos meus colegas de turma, por todo o apoio e companheirismo nestes longa jornada da graduação. Em especial ao meu grande amigo Heron, pelo apoio nas atividades de campo do curso de Geologia.

À minha orientadora e tutora do Grupo PET-Geologia-UFGA, Profa. Dra. Rosemery da Silva Nascimento, pela oportunidade de desenvolver este trabalho e por prestar todo o suporte necessário para o bom desenvolvimento do mesmo.

Aos professores da faculdade de Geologia da Universidade Federal do Pará, que se tornaram a minha segunda família, o carinho e o amor que todos têm pelos alunos é incomparável.

À Faculdade de Geologia e ao Instituto de Geociências da UFGA, que através de sua estrutura e corpo técnico foram fundamentais em minha formação profissional.

Ao Grupo de Análise de Bacias Sedimentares da Amazônia (GSED-UFGA), por ceder sua estrutura de laboratórios para a realização deste trabalho. Em especial, agradeço ao geólogo Dr. Pedro Augusto pelo auxílio na etapa de catodoluminescência.

*“Só fazemos melhor aquilo que repetidamente insistimos em melhorar. A busca da Excelência não deve ser um objetivo, e sim um hábito”.*

**Aristóteles**

## RESUMO

O presente estudo é parte integrante do Projeto de Pesquisa Estudos Mineralógico e Petrológico desenvolvido dentro do Grupo PET-Geologia-UFPA em parceria com o Grupo de Análises de Bacias Sedimentares da Amazônia (GSED) e apresenta essencialmente resultados de levantamento bibliográfico e analíticos de arenitos que afloram no Parque de Sete Cidades no estado do Piauí dentro da Bacia da Parnaíba. Os dados analíticos foram obtidos por meio de análises petrográficas e de catodoluminescência em amostras de arenitos da Formação Cabeças coletados no Parque Nacional de Sete Cidades (PI) que pertencem ao acervo da FAGEO-IG-UFPA. Foram descritas, a mineralogia e textura destes arenitos, a fim discutir sobre os processos diagenéticos que deram origem a estas rochas. A partir das descrições petrográficas e de catodoluminescência foi possível discutir sobre a proveniência dos constituintes do arcabouço da rocha, assim como a origem do cimento, os tipos de poros e as relações de contato entre os tipos de grãos. Macroscopicamente, as amostras de arenitos estudadas são maciças, de cor branca, granulometria fina e composição predominante de quartzo. Enquanto que nas descrições microscópicas, as lâminas apresentam em seu arcabouço: 1) constituintes detríticos – quartzo monocristalino (96%) de forma predominante, além de fragmentos de rochas (2%) e feldspatos (2%); 2) constituintes diagenéticos – cimento de óxido-hidróxido de ferro e sobrecrescimento de sílica. Ocorrem ainda poros de origem primária e secundária (por dissolução) e uma pequena quantidade de argila infiltrada em volta dos grãos de quartzo. Quanto à sequência diagenética deste arenito, foi possível observar os processos eodiagenéticos, considerando a formação de cutículas de argila, além dos processos mesodiagenéticos, com a compactação mecânica (micas contorcidas e pseudomatriz) e química (contatos côncavo-convexos). A formação de cimento de óxido-hidróxido de ferro pode estar relacionada a processos telodiagenéticos. Com base nas estimativas percentuais dos três principais constituintes do arcabouço (quartzo, fragmento de rocha e feldspato) é possível classificar estes arenitos como quartzoarenitos.

**Palavras-chave:** arenitos; mineralogia; petrografia; catodoluminescência; Bacia do Parnaíba.

## ABSTRACT

The present study is an integral part of the Mineralogical and Petrological Research Project developed within the PET-Geology-UFPA Group in partnership with the Amazon Sedimentary Basin Analysis Group (GSED) and essentially presents results of a bibliographic and analytical survey of sandstones that outcrop in the Sete Cidades Park in the state of Piauí within the Parnaíba Basin. The analytical data were obtained through analytical data and cathodoluminescence in a sample of sandstones from the Cabeças petrográfica Formation in the Sete Cidades National Park (PI) belonging to the FAGE-UFPA collection. There were, the mineralogy and textures of these sandstones, in order contestable about the diagenetic processes that gave rise to these rocks. From the origins of the petrographic rock and the cadence of all the constituents, it was possible to determine the provenance of the framework, as well as the origin of the cement, the types of pores and the contact relationships between the types of grains. Macroscopically, as removal of finely-grained sandstones, and predominant composition of white quartz. while microscopic monoscopic feldspathic laminae present in their framework: 1) predominant – quartz (96%) of form, in addition to rock fragments (2%) and feldspathic (2%) 2) diagenetic constituents – oxide-hydroxide cement iron and silica overgrowth. There is also a small amount of clay infiltrated around the quartz grains. Regarding the diagenetic sequence of this sandstone, it was possible to observe the eodiagenetic processes, considering the formation of clay cuticles, in addition to the mesodiagenetic processes, with mechanical (contorted micas and pseudomatrix) and chemical (concave-convex contacts) compaction. The formation of iron oxide-hydroxide cement may be related to telodiagenetic processes. Based on the percentage estimates of the three main constituents of the framework (quartz, rock fragment and feldspar) it is possible to classify sandstones as quartzarenites.

**Keywords:** sandstones; mineralogy; petrography; cathodoluminescence; Parnaíba basin.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Mapa de localização do Parque Nacional de Sete Cidades, estado do Piauí, situado no Município de Piracuruca .....3
- Figura 2 - Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba, sendo destacado (em vermelho) o posicionamento estratigráfico da Formação Cabeças, objetivo de estudo deste trabalho (Vaz *et al.* 2007) .....9
- Figura 3 - Mapa de isópacas da área estudada (Modificado de Lima & Leite 1978). A área de estudo encontra-se destacada pelo retângulo em vermelho .....10
- Figura 4 - Mapa geológico da área estudada, tendo como foco o posicionamento da Formação Cabeças na Bacia do Parnaíba (demarcada em verde), modificado de Lima & Leite (1978) .....13
- Figura 5 - Mapa Geológico do Parque Nacional de Sete Cidades Cidades, apresentando a sua litologia (arenitos da Formação Cabeças) e seu geologia estrutural, com as principais falhas e fraturas .....16
- Figura 6 - Bloco diagrama do modelo ruiforme, onde o tamanho dos blocos individualizados cresce do topo para a base do escarpamento (Mainguet 1972) .....17
- Figura 7 - Modelo esquemático de Fortes (1996) para as feições conhecidas como junções tríplexes que gerou diversos formas dentro do Parque Nacional de Sete Cidades, entre elas as feições poligonais da Pedra da Tartaruga .....17
- Figura 8 - Formação rochosa (Formação Cabeças) pertencente ao Parque Nacional de Sete Cidades, reconhecida como pedra da tartaruga, que apresenta feições poligonais .....18
- Figura 9 - Biblioteca, formação rochosa erodida, com a presença de uma discordância erosiva, marcada pela passagem de uma estratificação cruzada plano-paralela na base para uma estratificação cruzada no topo da camada (destacado em vermelho) .....19

Figura 10 - Pedra do elefante, onde pode ser observado os efeitos de poligonização nos arenitos .....	19
Figura 11 - Os três reis magos, no centro da foto, uma seqüência de três monólitos com aproximadamente 10m de altura, observa-se no topo dos afloramentos os efeitos de poligonização .....	20
Figura 12 - Rede hidrográfica do estado do Piauí, com destaque para a área em vermelho onde encontra-se a área de estudo (CPRM 2017) .....	22
Figura 13 - Morro do Gritador, com cornija bem pronunciada e vertentes íngremes, representando um relevo do tipo “meseta” no seio do Planalto da Ibiapaba, nas proximidades do Parque Nacional de Sete Cidades no Estado do Piauí .....	23
Figura 14 - Relevo do Parque Nacional formado a partir do modelo ruiforme, sendo derivado da associação de processos erosivos com características preexistentes da rocha (Foto: André Dib) .....	24
Figura 15 - Pinturas rupestres do Parque Nacional de Sete Cidades (França 2017) .....	25
Figura 16 - Pannel de pinturas rupestres na Pedra do Leque, situada na Serra da Descoberta do Parque Nacional de Sete Cidades (Santos 2000) .....	26
Figura 17 - Classificação das 4 amostras de superfície da área estudada no Parque Nacional de Sete Cidades, a partir do diagrama de Folk (1968) .....	27
Figura 18 - Fotomicrografias mostrando o aspecto geral do arcabouço do arenito que aflora no Parque Nacional de Sete Cidades, as imagens destacam o formato subanguloso dos grãos.....	32
Figura 19 - Grão de turmalina em nicóis cruzados. (A); Grão de zircão em nicóis cruzados – mineral pesado com quantidade relevante no arcabouço da rocha. (B) .....	33
Figura 20 - Infiltração mecânica de argila (indicada pelas setas), ocasionada ainda no estágio da eodiagenese (A). Infiltração de argila preenchendo os poros intergranulares (B) .....	36

- Figura 21 - Mica (muscovita) com aspecto contorcido em decorrência dos processos de compactação mecânica.....37
- Figura 22 – Contatos do tipo côncavo-convexo entre os grãos de quartzo, formados a partir da compressão dos grãos durante o soterramento.....37
- Figura 23 – Contato tríplice entre os grãos de quartzo evidenciando a formação de cimento de sílica. (A); Crescimento sintaxial de sílica (B) .....39
- Figura 24 – Cimento de óxido-hidróxido de ferro preenchendo os espaços porosos. (A); Cimento de óxido-hidróxido de ferro formado durante o processo da telodiagênese. (B) .....39
- Figura 27 - Diagramas triangulares mostrando os tipos de proveniência tectônica a partir de petrografia quantitativa observadas nas amostras (modificado de Dickinson 1985) .....42
- Figura 28 - Imagens de CL dos grãos de quartzo do Parque Nacional de Sete Cidades. A-B) Grãos de quartzo com luminescência marrom avermelhada são predominantes, a emissão dessa cor está associada com o metamorfismo de baixo grau. Também é evidente a presença de grãos com luminescência azul, que está relacionado com um resfriamento lento em baixa temperatura.....44
- Figura 29 - Imagens de CL dos grãos de quartzo em rochas do Parque Nacional de Sete Cidades. A-B) Grãos de quartzo com luminescência marrom avermelhada (M) predominam na área de estudo, a emissão dessa cor está relacionada com o metamorfismo de baixo grau. Circulado em vermelho, o grão com luminescência violeta possui origem vulcânica.....44

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Relação Cimentação x Porosidade .....	29
Tabela 2 - Frequência dos componentes detríticos e diagenéticos em contagem com mais de 300 pontos das amostras de arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades – Formação Cabeças. Qm: quartzo monocristalino; F: feldspato monocristalino (feldspato potássico); Fr: fragmento de rochas (fragmentos de chert); Mc: mica; Zr: zircão; Ti: titanita; Ru: rutilo; Tu: turmalina; Mt: matriz; La: lentes de argila; Cs: cimento de sílica; O-H Fe: cimento de óxido-hidróxido de ferro; e Po: poros .....	30
Tabela 3 - Frequência (%) dos componentes detríticos e diagenéticos das amostras de arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades – Formação Cabeças. Qm: quartzo monocristalino; F: feldspato monocristalino (feldspato potássico); Fr: fragmento de rochas (fragmentos de chert); Mc: mica; Zr: zircão; Ti: titanita; Ru: rutilo; Tu: turmalina; Mt: matriz; La: lentes de argila; Cs: cimento de sílica; O-H Fe: cimento de óxido-hidróxido de ferro; e Po: poros .....	31
Tabela 4 - Frequência dos principais constituintes dos Arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades para a classificação da rocha, seguindo os métodos de Folk (1968) .....	31
Tabela 5 – Principais fases minerais da evolução diagenética, segundo Choquete & Pray (1970) aplicadas às rochas do Parque Nacional de Sete Cidades – Formação Cabeças .....	35

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>EPÍGRAFE</b> .....	vi
<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	2
1.2 OBJETO GERAL.....	4
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4 JUSTIFICATIVA.....	4
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Levantamento Bibliográfico.....	5
2.2 Análises Petrográfica.....	5
2.3 Catodoluminescência.....	6
<b>3 GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	<b>7</b>
3.1 FORMAÇÃO CABEÇAS.....	10
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>14</b>
4.1 HISTÓRIA E GEOLOGIA DO PARQUE NACIONAL DE SETE CIDADES.....	14
4.2 AS SETE CIDADES.....	20
4.3 FISIOGRAFIA REGIONAL.....	21

4.4	ARQUEOLOGIA DO PARQUE NACIONAL DE SETE CIDADES.....	24
4.5	ANÁLISES PETROGRÁFICAS.....	27
4.5.1	<b>Textura e Classificação.....</b>	<b>27</b>
4.5.2	<b>Elementos Constituintes do Arcabouço.....</b>	<b>29</b>
4.5.3	<b>Evolução Diagenética.....</b>	<b>34</b>
4.6	PROVENIÊNCIA DOS ARENITOS.....	40
4.7	ANÁLISES DE CATODOLUMINESCÊNCIA.....	42
5	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Parque Nacional de Sete está situado no estado do Piauí, dentro do Município de Piracuruca e abrange uma área de aproximadamente 6.200 hectares. Possui paisagens de grande beleza cênica que merecem ser preservadas e conservadas. Para isso, o Parque Nacional de Sete Cidades foi criado pelo Decreto Federal n.º 50.744, de 8 de junho de 1961, no Município de Piracuruca, no nordeste do estado do Piauí, com o objetivo de preservar o importante patrimônio ambiental, geológico e arqueológico na região, uma vez que há áreas dentro do parque onde são encontradas pinturas rupestres de cerca de 6000 anos (Santos 2001)

As terras do Parque Nacional de Sete Cidades foram todas desapropriadas pelo Ministério da Agricultura, passando para o domínio da União. Não há nenhum conflito fundiário no interior do Parque, protegido que está por uma cerca em toda a sua extensão desde 1979.

Muitas características, desde o relevo, o solo, a sua exuberante fauna e a hidrografia da região transformam o Parque de Sete Cidade em um natural patrimônio natural do País. Entretanto, o que mais chama atenção dos visitantes do Parque são suas formações rochosas compostas por arenitos que foram esculpidos pela natureza, a partir de processos erosivos durante milhões de anos.

A deposição dos sedimentos que constituem os arenitos de Sete Cidades remonta ao Devoniano (Della Fávera 1999). Os sedimentos foram depositados em um mar raso, um mar epicontinental. Esses sedimentos se depositaram sobre o substrato em subsidência da Bacia Sedimentar do Parnaíba, e pertencem à Formação Cabeças (Della Favera 1999). Entretanto, as interpretações mais atuais indicam que há uma predominância de depósitos deltaicos influenciados por tempestade (Ponciano & Della Favera 2009).

Assim considerando os vários aspectos descritos acima, esta monografia de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) trata essencialmente da caracterização petrográfica e diagenética de amostras da Formação Cabeças oriundas do Parque Nacional de Sete Cidades, pertencentes ao acervo da Faculdade de Geologia da UFPA, a fim avançar no entendimento dos processos geológicos que atuaram e modelaram este importante patrimônio histórico e geológico dentro do território nacional, uma vez que os

estudos sobre a caracterização mineralógica, a proveniência e a evolução diagenética destes arenitos até então são inexistentes.

Devido a raridade dos estudos de cunho sedimentar no Parque Nacional de Sete Cidades, este trabalho propôs através de métodos que os arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades (PI) são classificados como quartzarenitos e apresentam em seu arcabouço quartzo monocristalino, feldspatos e fragmentos de rocha (chert e fragmentos de rochas vulcânicas), além de cimentos de sílica e hematita, e minerais pesados como micas, turmalinas, titânitas, zircão e rutilo. A evolução diagenética sugere a evidência de processos de eodiagênese, mesodiagênese e telodiagênese.

## 1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Parque Nacional de Sete Cidades-PI (figura 1) está localizado no norte do estado do Piauí, ocupando uma área de 77km<sup>2</sup>, sendo que 73,77% da área pertence ao município de Piracuruca e 26,21% do município de Brasileira, que estão localizados a aproximadamente 200km ao Norte da Capital Teresina. As principais vias de acesso são a BR-222, no trecho Piripiri-Fortaleza, e a BR-343, que liga Teresina a Parnaíba.

Em seu entorno espalham-se aproximadamente 16 mil km<sup>2</sup> da Área de Proteção Ambiental da Serra de Ibiapaba. As coordenadas geográficas de seus pontos extremos são: ao norte 4o 02' 55,9"S e 41° 44' 13,7"W; ao sul 4o 08' 53,1"S e 41° 44' 39,2"13W; a leste 4o 06' 23" S 41° 40' 00" W; e a oeste 4o 05'43,00'Se 41° 45' 32,2" W.

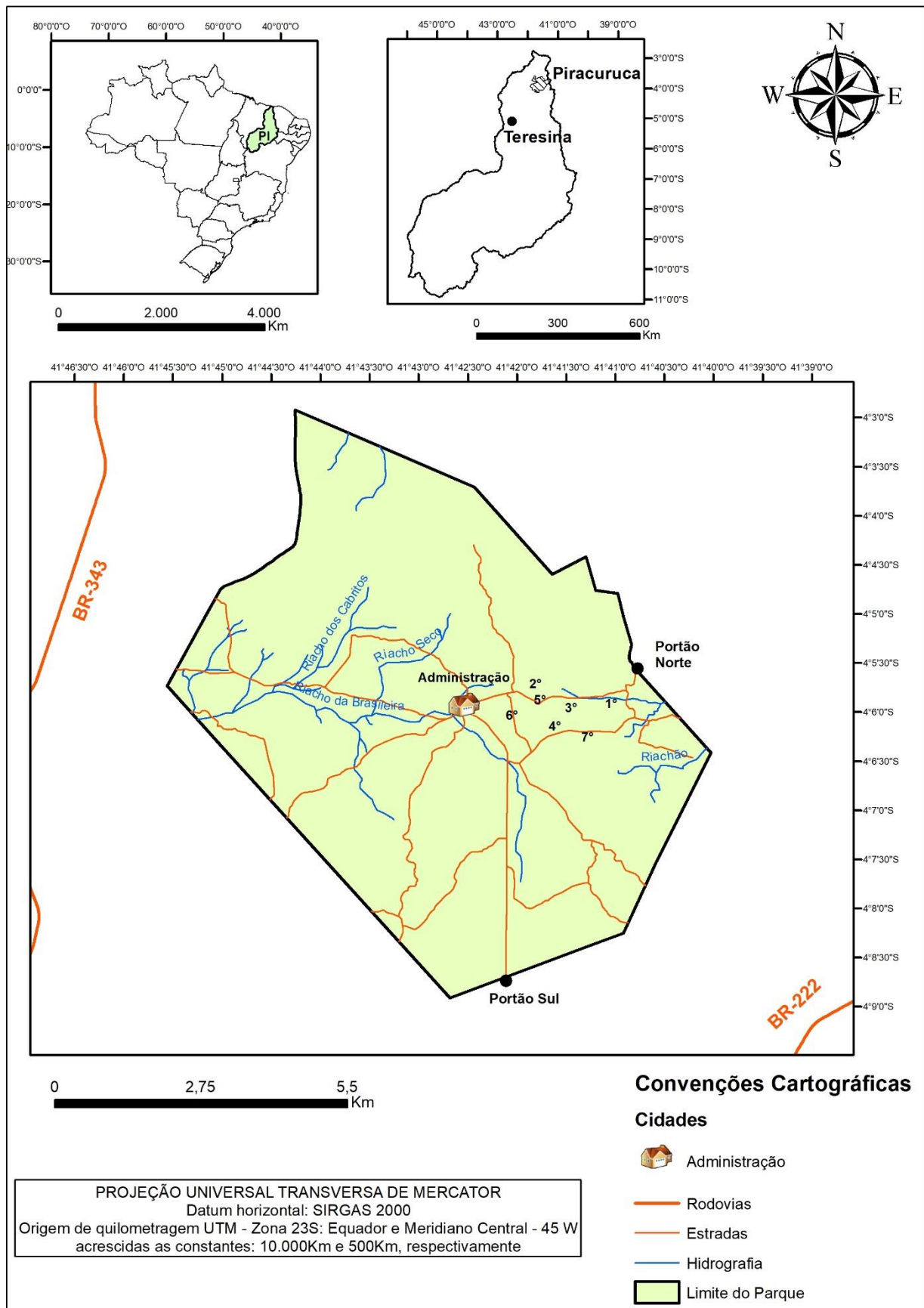


Figura 1 - Mapa de localização do Parque Nacional de Sete Cidades, estado do Piauí, situado no Município de Piracuruca.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo principal identificar a mineralogia, caracterizar as feições petrográficas e diagenéticas dos arenitos pertencentes ao Parque Nacional de Sete Cidades, inserido na Formação Cabeças dentro do contexto geológico da Bacia do Parnaíba, bem como identificar a proveniência destes arenitos e os processos erosivos que modelam as formas deste parque.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos desta pesquisa são:

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre a história e a importância didática do Parque Nacional de Sete Cidades no ensino dos processos geológicos que atuaram na região.
- Caracterizar e classificar os arcabouços e principais tipos petrográficos da Formação Cabeças que afloram no Parque Nacional de Sete Cidades.
- Identificar e discutir sobre a sequência sedimentar e os processos diagenéticos, destacando os principais eventos de intemperismo e erosão que esculpíram as formações rochosas presentes hoje no Parque Nacional de Sete Cidades.
- Identificar as principais fontes de proveniência dos constituintes da rocha.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Esta monografia de Trabalho de Conclusão de Curso resulta do Projeto de Pesquisa Estudos Mineralógico e Petrológico desenvolvido dentro do Grupo PET-Geologia-UFPA que busca motivar os estudantes de graduação do curso de geologia da UFPA a desenvolver atividades de pesquisas em áreas diferenciadas como o Parque Nacional de Sete Cidades (PI). Ao executar o levantamento bibliográfico desta pesquisa percebemos que raros são os estudos petrográficos e diagenéticos refinados relacionados à Formação Cabeças, mais especificamente em amostras oriundas do Parque Nacional de Sete Cidades (PI) que apresenta formações rochosas com características morfológicas e sedimentares peculiares. Em geral, os trabalhos de atividade de campo e de pesquisa são escassos e não apresentam enfoque na mineralogia e petrologia das rochas que afloram no parque.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

O levantamento bibliográfico deste estudo envolveu a pesquisa e consulta em resumos de eventos científicos, relatórios técnicos, monografia de TCC, dissertações de mestrado, tese de doutorado e artigos científicos em periódicos que abordassem as informações geológicas sobre a Formação Cabeças e do Parque Nacional de Sete Cidades. Além disso, também foi realizado o levantamento do histórico do Parque Nacional de Sete Cidades como Geoparque dentro do território Nacional, suas características fisiográficas e seus aspectos arqueológicos.

### 2.2 ANÁLISES PETROGRÁFICAS

A petrografia microscópica é uma ferramenta eficaz e importante no estudo de rochas sedimentares, foi desenvolvida por Henry Sorby em meados do século XIX (Pettijonh *et al.* 1973) e tem grande importância dentro do campo da sedimentologia, a partir do direcionamento da pesquisa para a indústria do petróleo que buscava estudar os espaços porosos das rochas sedimentares capazes de armazenar hidrocarbonetos (Adams *et al.* 1984). As análises petrográficas e mineralógicas das rochas desta monografia foram realizadas nos laboratórios de Petrografia do Instituto de Geociências da UFPA, utilizando microscópio óptico. A análise petrográfica consiste na descrição detalhada de lâminas polidas, por meio de microscópio óptico para determinação do arcabouço rochoso, a fim de identificar cada constituinte mineralógico da rocha, além da observação e descrição de aspectos micro texturais.

A classificação foi feita com base na descrição de rochas, com a identificação dos principais constituintes das rochas sedimentares, que são: grãos do arcabouço, cimento, matriz e porosidade, podendo dessa forma classifica-las seguindo o método de Folk (1968), sendo feita uma contagem de 300 grãos em cada uma das lâminas, utilizando o espaçamento de 1mm entre cada grão. O empacotamento da rocha foi caracterizado segundo os métodos de Kahn (1956).

As interpretações relacionadas à proveniência dos constituintes da rocha seguiram os métodos de Dickinson *et al.* (1983) e Dickinson (1985), a partir das descrições petrográficas, obtendo os percentuais dos principais constituintes da rocha, propuseram um estudo sobre os tipos de proveniência, em que dividiram os arenitos em

quatro principais terrenos de proveniência: cratón estável, soerguimento do embasamento, arco magmático e reciclagem orogenética.

### 2.3 CATODOLUMINESCÊNCIA

Catodoluminescência auxilia nos estudos de proveniência dos grãos de quartzo (Zinkernagel 1978), sendo utilizado um sistema analítico do tipo acoplado ao microscópio óptico. A catodoluminescência (CL) se baseia na excitação do material por elétrons e é um processo que acontece em um tubo de raio catódico, normalmente usados em osciloscópios e em aparelhos de televisão. A energia incidente causa emissão de radiação visível do sólido luminescente (Marshall 1988).

A CL é determinada pelo fenômeno da luminescência emitida por determinados minerais sob o efeito de bombardeamento por um feixe de elétrons acelerados à vácuo. Desde seu advento, a CL tem sido um instrumento de grande valia em diversos estudos geológicos.

### 3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área proposta do Geoparque de Sete Cidades está localizada no Nordeste da Bacia do Parnaíba, uma bacia intracratônica de idade paleozóica a mesozóica que está localizada na região nordeste ocidental do território brasileiro, ocupa uma área de 665.888 km<sup>2</sup> e os estados Piauí, Maranhão, Pará, Tocantins, Bahia e Ceará (Goes & Feijó 1994, Vaz *et al.* 2007). As rochas vulcano-sedimentares que preenchem esta bacia estão divididas em cinco sequências deposicionais (figura 2): Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana-eocarbonífera (Grupo Canindé), Neocarbonífera-eotriássica (Grupo Balsas), Jurássica (Grupo Mearim) e Cretácea (Formações Grajaú, Codó, Itapecuru e Corda); ocorrem também diques de diabásio e soleiras de basalto das formações Mosquito do Jurássico e Sardinha do Cretáceo (Vaz *et al.* 2007).

No entorno do proposto Geoparque, conforme a sequência estratigráfica da Bacia do Parnaíba, afloram apenas rochas pertencentes a sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera: Grupo Canindé, além da Formação Sardinhas. As Formações sedimentares que afloram no entorno do Geoparque posicionam-se no Período Devoniano e são cortados por diabásios da Formação Sardinha, de idade Cretácea; depósitos colúvio-aluviais do Neógeno ocorrem a Noroeste e a Nordeste da área (Vaz *et al.* 2007).

O Grupo Canindé, também conhecido como Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera do Parnaíba, se subdivide em 5 formações: Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti (Góes & Feijó 1994, Vaz *et al.* 2007). O Grupo Canindé foi depositado discordantemente sobre a sequência Siluriana e é compreendido como sendo de idade que se estende do Eodevoniado até o Eocarbonífero (Vaz *et al.* 2007).

A Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera está presente em toda a extensão da bacia. O processo de subsidência tectônica continuou ocorrendo de forma contínua e no fim da deposição desta sequência os efeitos da orogenia eoherciniana originaram uma discordância que marcou o fim desta (Della Favera 1990). Por outro lado, Caputo *et al.* (2006), baseando-se nos argumentos que tratam da localização geográfica dos principais orogêneses globais como, por exemplo, a Orogênese eoherciniana (pensilvaniana), e da preponderância dos efeitos das flutuações do nível do mar em comparação com as taxas de subsidência ou de movimentos ascendentes verificados no substrato, considerou que a eustasia, e não a orogenia, foi fator primordial no controle dos ciclos transgressivos-

regressivos e, por consequência, das discordâncias que limitam as sequências da Bacia do Parnaíba.

A Formação Itaim cuja deposição ocorreu em ambiente deltaico plataformal representa o período de início de uma ingressão marinha. Cujo ápice culminou numa regressão marinha máxima, representada pela Formação Pimenteiras, está depositada em um contexto de plataforma rasa dominada por tempestades (Freitas 1990, Della Favera 1990). Logo após este período, ocorreu queda do nível do mar, cujo evento regressivo e representado pela Formação Cabeças depositada em contexto plataformal sob influência preponderante de mares que é defendido por Góes & Feijó (1994). Na época de deposição da Formação Longá, ocorreu um outro pico de subida do nível de mar, mas não tão grande quanto o que ocorreu na época de deposição da Formação Pimenteiras. A deposição da Formação Longá se deu em ambiente plataformal dominado por tempestades. Já a última (Formação Poti) caracteriza outro período de queda eustática, cuja deposição ocorreu em ambientes deltaicos e de planícies de marés, as vezes com influência de tempestades (Della Favera 1990).

### 3.1 FORMAÇÃO CABEÇAS

Esta unidade estratigráfica quando definida por Plummer (1946) foi caracterizada por uma sequência predominantemente arenosa que aflora na Vila de Cabeças (norte de Picos, PI) (figura 3).

De acordo com Lima & Leite (1978), a Formação Cabeças é representada por arenitos finos, róseo-avermelhados, grãos subarredondados, silicificados, aflorando sob a forma de blocos isolados de aspecto ruiforme cuja existência está relacionada a processos erosivos de origem física e química, exibindo externamente disjunções poligonais (dando um aspecto de “casco-de-tartaruga”) e internamente estratificação plano-paralela.

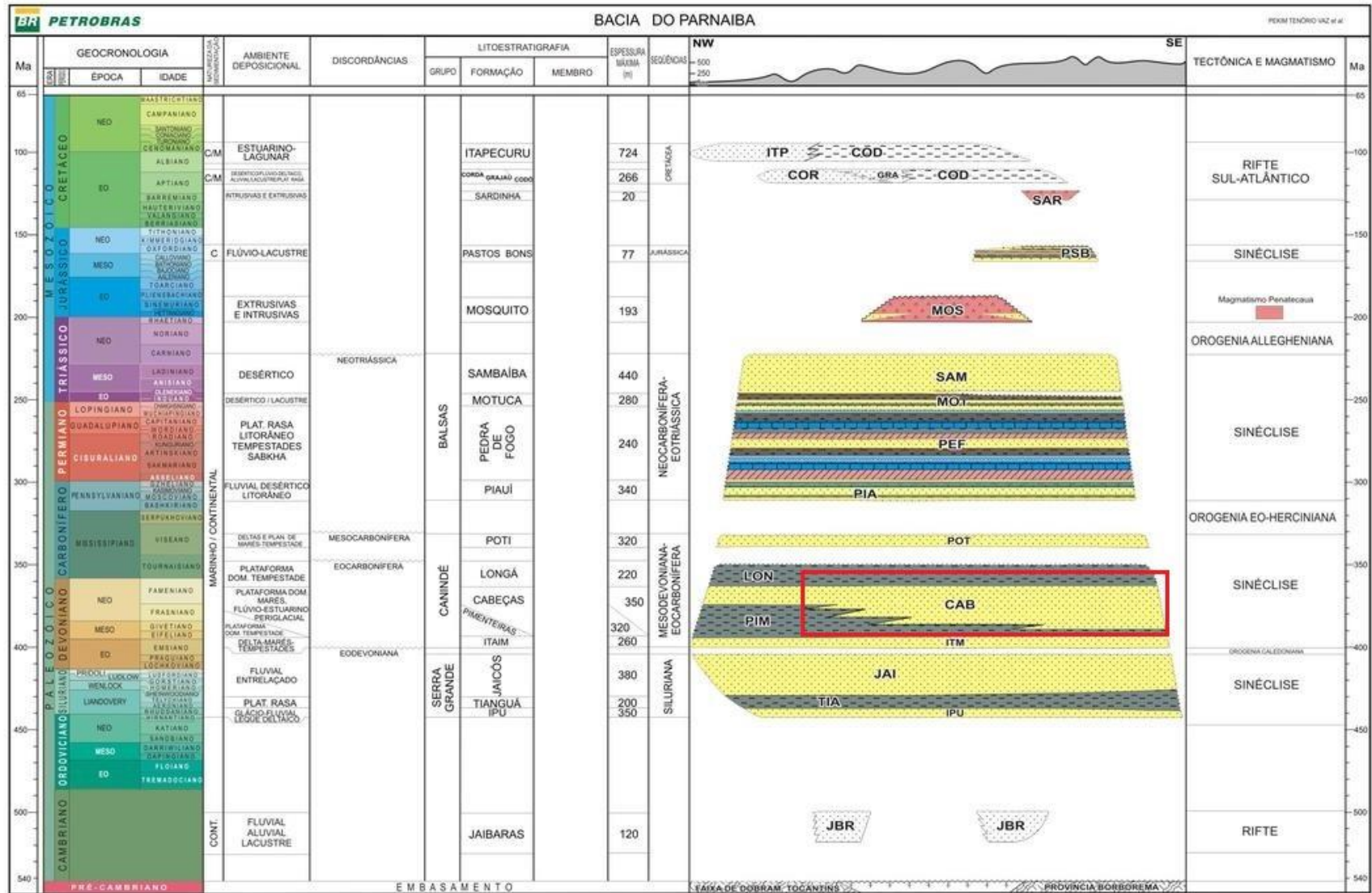


Figura 2- Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba, sendo destacado (em vermelho) o posicionamento estratigráfico da Formação Cabeças, objetivo de estudo deste trabalho (Vaz et al. 2007).

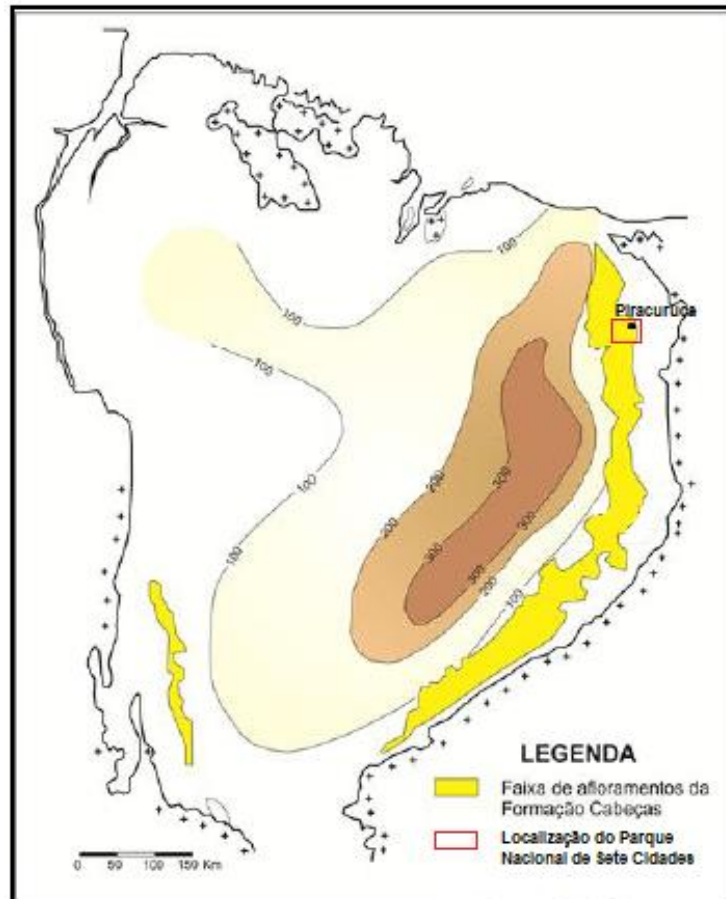


Figura 3- Mapa de isópacas da área estudada (Modificado de Lima & Leite 1978). A área de estudo encontra-se destacada pelo retângulo em vermelho.

As estruturas sedimentares encontradas na Formação Cabeças indicam sua deposição em águas rasas e aprofundamento da lâmina d'água, com retrogradação dos sedimentos. A deposição em água rasa, em um ambiente de intermaré é evidenciada pela presença dos icnofósseis (Campelo 2019). Este fato também é comprovado pela presença de estratificações cruzadas sigmoidais entre planos de estratificação, que indicam depósitos deltaicos (Ponciano & Della Favera 2009). A progradação dos sedimentos é interpretada a partir dos ciclos *thickening up*, também observados (Lima & Leite 1978).

A Formação Cabeças é atualmente dividida nos membros Passagem e Oeiras, apesar de alguns autores terem tentado incorporar o Membro Passagem na Formação Pimenteiras, devido ao fato de as litofácies deste possuírem mais afinidade com esta formação (Beurlen 1965).

No Membro Passagem, são descritos frequentemente intercalação de lobos sigmoidais com arenitos com estratificação cruzada hummocky. Os macrofósseis ocorrem na parte inferior deste membro, em arenitos médios micáceos esbranquiçados,

com siltitos intercalados e conglomerados. Na parte superior do Membro Passagem, a litologia é composta por arenitos maciços médios e proporcionalmente menor quantidade de mica quando comparada ao membro inferior (Beurlen 1965). Enquanto que o membro Oeiras é maciça, embora também apresente alguns níveis conglomeráticos, estratificação cruzada de baixo ângulo, coloração acinzentada com pouca quantidade de mica, ausência de microfósseis. Estruturas de fluidificação e escorregamento são comuns, dando aparência de um relevo uniforme descrito para o afloramento de Alpes de Buriti (Ponciano 2009). Freitas (1990) atribuiu o paleoambiente da mesma localidade como de uma plataforma dominada por marés, através da descrição de intercalações de fácies de barras de maré e feixes de estratos de maré. O mesmo autor descreveu a intercalação de processos como produto de uma subsidência gradativa.

Barbosa (2015) apresentou a primeira descrição de tilitos pedregosos deformados na Formação Cabeças na fronteira sudeste da Bacia do Parnaíba, que representa a registro direto da Glaciação Famennian. A análise estratigráfica e de fácies baseada em afloramentos combinada com estudos geométrico-estruturais dos depósitos permitiram identificar um ciclo de avanço-recuo de geleiras e suas características glaciectônicas relacionadas, bem como interpretá-lo dentro de um modelo de evolução sedimentar.

Com relação a idade da Formação Cabeças, na borda leste, a porção inferior é considerada de idade givetiana de acordo com os microfósseis (Melo 1988). Segundo Fonseca (2004), *Pleurochonetes*, *comstocki*, um *Chonetoidea* identificado na base de Formação Cabeças (borda leste), é conoespecífico com formas ocorrentes nos sedimentos neo-eifelianos a eogivetianos da Formação Ererê, na Bacia do Amazonas.

Young (2006) com o apoio da análise estratigráfica de poços na borda leste da bacia, atribuiu a Formação Cabeças um paleoambiente fluvial na transição Pimenteira / Cabeças. Este ambiente foi estabelecido devido à detecção de uma superfície regressiva (20R), e também pela descrição de sucessões de fácies de arenitos com estratificação cruzada, intraclastos argilosos evidenciando processos erosivos e laminação plano-paralela.

Mais recentemente, Ponciano & Della Favera (2009) com a análise combinada das tafofácies e da composição da fauna do Membro Passagem, sugerem que os depósitos fossilíferos na borda leste da Bacia do Parnaíba, representariam a parte distal da barra de embocadura de um sistema flúvio-deltaico influenciado por inundações, sujeito a eventos

episódicos de tempestades. Tais depósitos, vindo principalmente de sudeste, com progradações menores a leste, e com fácies glaciais no topo. Este fato é corroborado por Fonseca *et al.* (2010), em estudo realizado com a descrição de crinóides da Formação Cabeças. A forma de ocorrência dos crinóides encontra-se em concordância com este modelo, pois em períodos de baixa taxa de sedimentação ocorria a desarticulação completa, interrompidos por períodos de sedimentação episódica, causando rápido soterramento e de forma esparsa.

Do ponto de vista da estratigrafia de sequencias, Freitas (1990) considera de idade fransciana o período de transgressão máxima ocorrente em todas as bacias paleozóicas brasileiras: Tal evento de inundação máxima estaria representado por uma seção arenosa na região aflorante (Formação Cabeças) pela zona condensada denominada de marco 550, ou seja, Formação Cabeças para este autor é de idade Fameniana.

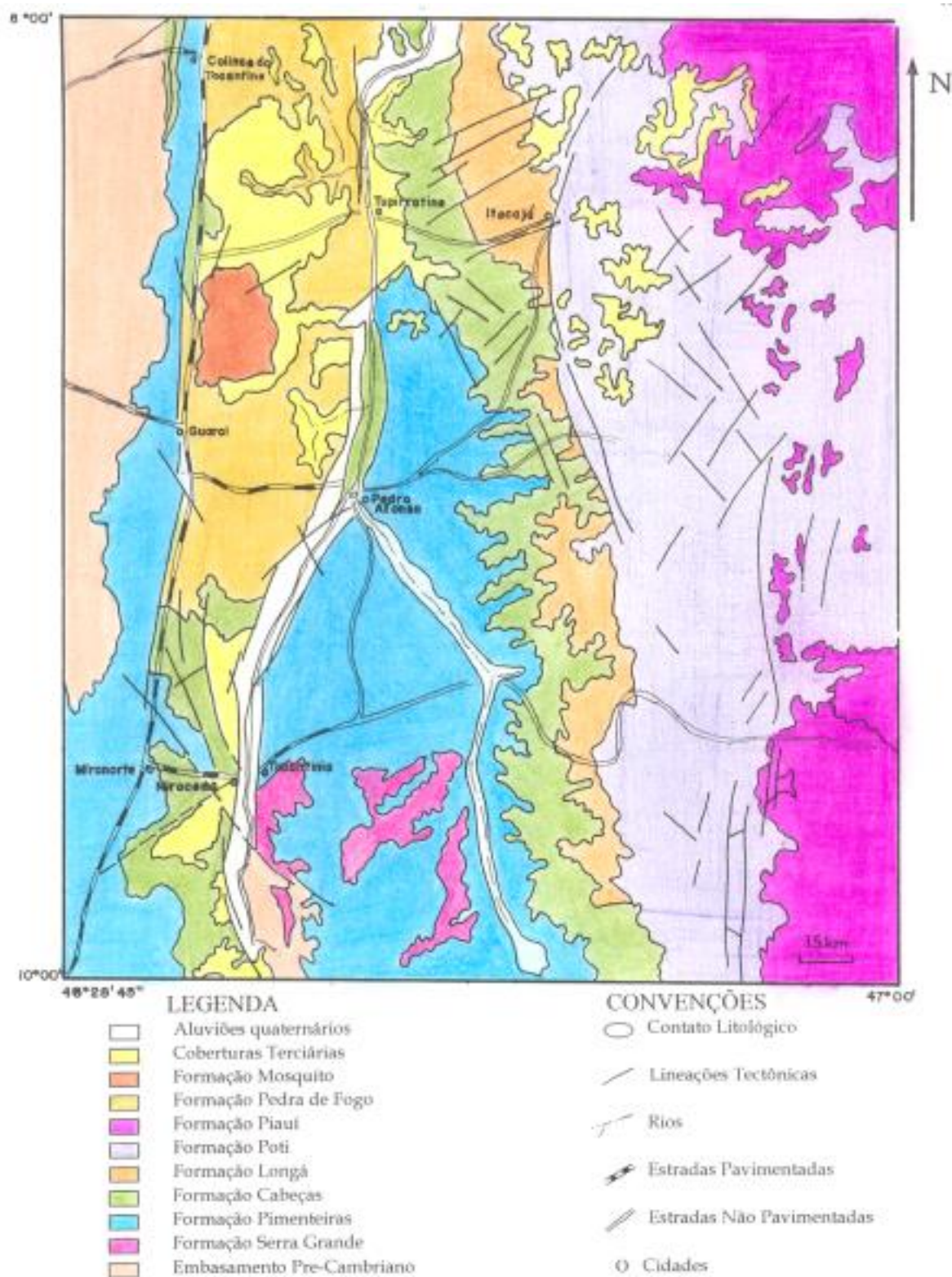


Figura 4- Mapa geológico da área estudada, tendo como foco o posicionamento da Formação Cabeças na Bacia do Parnaíba (demarcada em verde), adaptado de Lima & Leite (1978).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 HISTÓRIA E GEOLOGIA DO PARQUE DE SETE CIDADES

O conceito de geoparque surgiu no final do século XX na Europa. Um geoparque é um território, bem delimitado geograficamente, com uma estratégia de desenvolvimento sustentado baseada na conservação do patrimônio geológico, em associação com os restantes elementos do patrimônio natural e cultural, com vista à melhoria das condições de vida das populações que habitam no seu interior (Brilha 2009)

A primeira referência histórica oficial de Sete Cidades é a comunicação feita pelo Conselheiro Tristão de Alencar Araripe ao Instituto Histórico e Geográfico, denominada de "Cidades Petrificadas e Inscrições Litográficas no Brasil", em 9 de dezembro de 1886. A primeira descrição de Sete Cidades foi feita pela Câmara Municipal de Piracuruca numa comunicação àquele Instituto em 1897. O pesquisador piauiense Reinaldo Coutinho (Coutinho 1997) analisa a história da descoberta de Sete Cidades, bem como trata das diversas teorias sobre o significado das cidades de Pedra e suas inscrições.

O parque recebeu a sua denominação por apresentar sete diferentes grupamentos de rochas, separados entre si, cada um deles considerado uma “cidade”. A topografia ruiforme imita formas que lembram pessoas, animais e coisas, as quais tomam nomes pertinentes como cabeça de Dom Pedro I, cabeça de índio, camelo, tartaruga, biblioteca etc. (Della Favera 1999).

O Parque Nacional de Sete Cidades foi criado através do Decreto Federal n.º 50.744, de 8 de junho de 1961, no Município de Piracuruca, no nordeste do Estado do Piauí. As terras do Parque Nacional de Sete Cidades foram todas desapropriadas pelo Ministério da Agricultura, passando para o domínio da União. Não há nenhum conflito fundiário no interior do Parque, protegido que está por uma cerca em toda a sua extensão desde 1979, quando foi sancionado o Regulamento dos Parques Nacionais, a partir do decreto n.º 84.079, legitimando o plano de manejo do Parque Nacional de Sete Cidades.

O embasamento do Parque Nacional de Sete Cidades pertence ao grupo geológico Canindé, composto pelas Formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti. O substrato geológico corresponde à Formação Cabeças (Figura 5) (Santos 2001). É caracterizada por apresentar rochas arenosas, principalmente arenitos avermelhados e de origem transicional. Estes arenitos são constituídos por areia fino quartzosa, são bem

selecionados, podendo ser amarelos ou brancos. São apresentados horizontalmente, com fraturas, falhamentos ou mesmo inclinados; pelo cimento ser de sílica, apresentam o aspecto ruiforme e os solos são férteis apenas nas primeiras colheitas tendo, portanto, um ciclo vital muito curto (Santos 2001). A deposição dos sedimentos tem uma datação estimada 360 milhões de anos atrás, quando a área do Parque se encontrava submersa em um mar chamado de epicontinental, uma plataforma rasa sob domínio de maré recebendo sedimentos glaciais (Fortes 1996).

O Parque Nacional de Sete Cidades encontra-se na porção proximal de um lobo deltaico. Desta maneira, apresenta feições de sedimentação fluvial e deltaica. Areia de grão médio é a moda, mas conglomerado de cascalho e siltito são também encontrados. Várias estruturas sedimentares podem ser reconhecidas nos afloramentos. Estratificação cruzada acanalada, estratificação cruzada sigmoidal, climbing ripples, e a estratificação plano-paralela são as principais feições sedimentares (Della Fávera 1999).

O parque atualmente é administrado pelo IBAMA, que tem a seu cargo as tarefas de conservação, sinalização e guia através do parque. Um hotel com instalações para pesquisas e conferências está aberto aos turistas o ano todo.

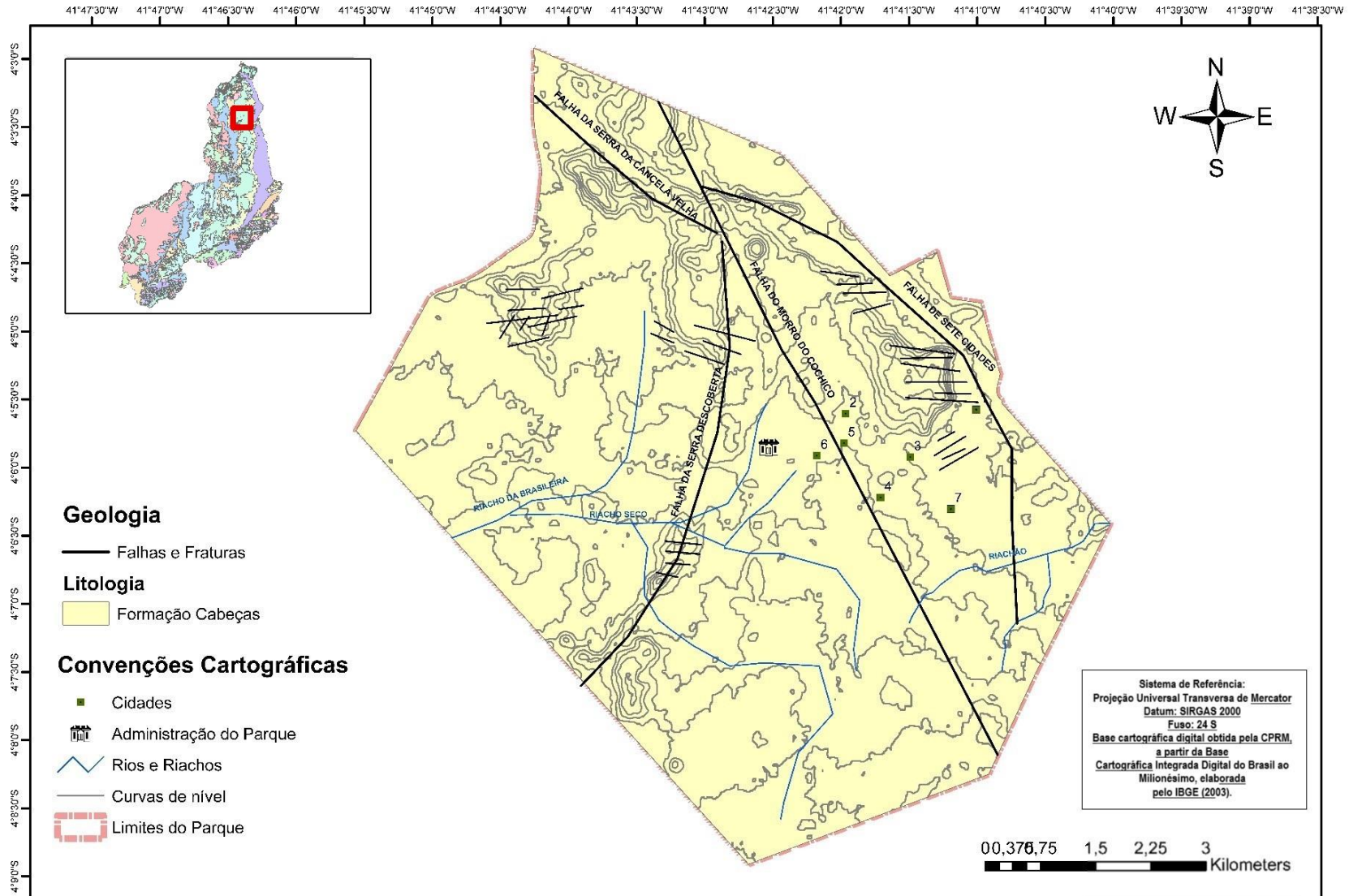


Figura 5- Mapa Geológico do Parque Nacional de Sete Cidades, apresentando a sua litologia (arenitos da Formação Cabeças) e seu geologia estrutural, com as principais falhas e fraturas.

O Parque de Sete Cidades é formado por feições ruiniformes (figura 6), que são feições de origem físico-química. Entre essas feições se destacam as feições poligonais (figura 7), formadas, segundo Mainguet (1972), pela ação da desagregação granular, seguindo os planos de fratura existentes no arenito (figura 8).

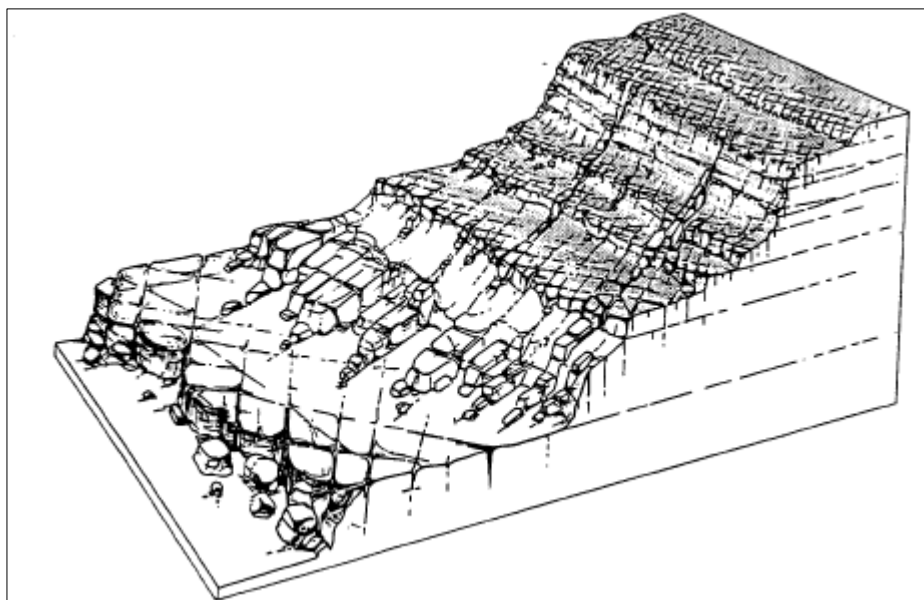


Figura 6- Bloco diagrama do modelo ruiniforme, onde o tamanho dos blocos individualizados cresce do topo para a base do escarpamento (Mainguet 1972).

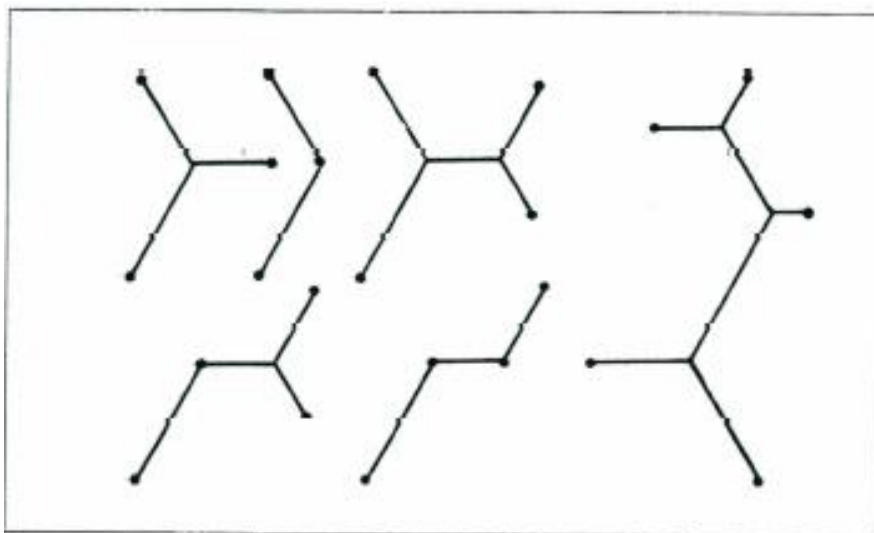


Figura 7- Modelo esquemático de Fortes (1996) para as feições conhecidas como junções tríplices que gerou diversas formas dentro do Parque Nacional de Sete Cidades, entre elas as feições poligonais da Pedra da Tartaruga.

Os alvéolos e arcos, segundo Fortes (1996), ocorrem a partir da ascensão capilar das águas subterrâneas ao longo do pacote rochoso, decorrente da exposição à atmosfera e aos períodos de seca e chuva. As águas subterrâneas evaporam na superfície rochosa. O

caminho da sua ascensão é facilitado pela presença dos “túneis anastomosados” que também aumentam a área de evaporação.



Figura 8- Formação rochosa (Formação Cabeças) pertencente ao Parque Nacional de Sete Cidades, reconhecida como pedra da tartaruga, que apresenta feições poligonais.



Figura 9- Biblioteca, formação rochosa erodida, com a presença de uma discordância erosiva, marcada pela passagem de uma estratificação cruzada plano-paralela na base para uma estratificação cruzada no topo da camada (destacado em vermelho).



Figura 10- Pedra do elefante, onde pode ser observado os efeitos de poligonação nos arenitos (Santos 2001).



Figura 11- Os três reis magos, no centro da foto, uma seqüência de três monólitos com aproximadamente 10m de altura, observa-se no topo dos afloramentos os efeitos de poligonização (Santos 2001).

#### 4.2 AS SETE CIDADES

Sete Cidades foi dividida em sete diferentes associações de afloramentos, denominadas de cidades, cada uma com características únicas e peculiares, que foram modeladas ao longo de milhões de anos e hoje apresentam diferentes formas, que muitas vezes lembram animais silvestres, como é o caso da pedra da tartaruga (Della Fávera 1984).

*Primeira Cidade* – A primeira cidade é caracterizada por feições diagenéticas conhecidas como “canhões”, que são estruturas tubulares de arenitos ferruginizados. Este produto diagenético é também conhecido como “rolos” ou anéis de Liesegang e consistem da migração do tipo cromatográfica de hidróxido de ferro num meio permeável e anisotrópico, normalmente em arenitos fluidizados.

*Segunda Cidade* – Esta cidade é caracterizada por feições bastante interessantes. A primeira feição, que revela erosão alveolar, é chamada de “Arco do Triunfo”. A erosão alveolar é produzida por escultura de arenito homogêneo, dando origem a feições semelhantes à vulva, que passam posteriormente a arcos.

A “biblioteca” (Figura 9) é uma outra feição interessante. É constituída por uma superfície de erosão na base de um depósito de canal, formado por arenito médio com estratificação cruzada, a qual trunca arenitos finos e siltitos com estratificação plano-paralela. Esta estratificação plano-paralela lembra uma pilha de livros numa biblioteca. Vista do mirante, a estratificação plano-paralela é na realidade a porção distal de conjuntos de camadas com climbing ripples, que por sua vez constituem a frente de lobos sigmoidais (Della Fávera 1984).

*Terceira Cidade* – Nesta cidade, várias feições ruiformes podem ser vistas, como o Dedo de Deus, a Cabeça de Dom Pedro I e a Cabeça de Índio.

*Quarta Cidade* – As feições características desta cidade são o “Archette”, onde sedimentos deformados pela ação de escape d’água e o “mapa do Brasil”, figura desenvolvida sobre uma erosão alveolar que lembra o contorno do território brasileiro, podem ser vistos. Estas duas feições são o resultado da erosão alveolar que gera cavernas e arcos.

*Quinta Cidade* – Esta cidade é famosa por suas inscrições. Um desenho que é interpretado como definindo o ritual da caça e o destino final do homem tem servido como ícone para representar o Parque Nacional de Sete Cidades bem como seus municípios vizinhos.

*Sexta Cidade* – A tartaruga (Figura 8) e o elefante são as feições mais conhecidas desta cidade. Ambas são formas cobertas por polígonos, em sua maioria pentagonais, que normalmente intrigam o geólogo tanto pela sua origem como pelo seu processo de formação

*Sétima Cidade* – Nesta cidade, a erosão alveolar e feições poligonais, já referidas, são as principais atrações. A Gruta do Índio é um bom exemplo da erosão alveolar, coberta por polígonos.

#### 4.3 FISIOGRAFIA REGIONAL

*Hidrografia* - O Parque Nacional de Sete Cidades está inserido na sub-bacia do Rio Longá, que pertence à Bacia do Rio Parnaíba (figura 12). A área drenada pela Bacia do Rio Parnaíba ocupa 75% do Piauí, 19% do Maranhão e 6% do Ceará. O Rio Parnaíba nasce na divisa dos Estados do Tocantins, Maranhão, Piauí e Bahia; é perene em todo o seu curso de 1,344km. Os principais afluentes na margem direita são os Rios Longá, Poti,

Canindé e Gurgueia; na esquerda, com expressiva contribuição hídrica está o Rio Balsas (Rivas 1996).

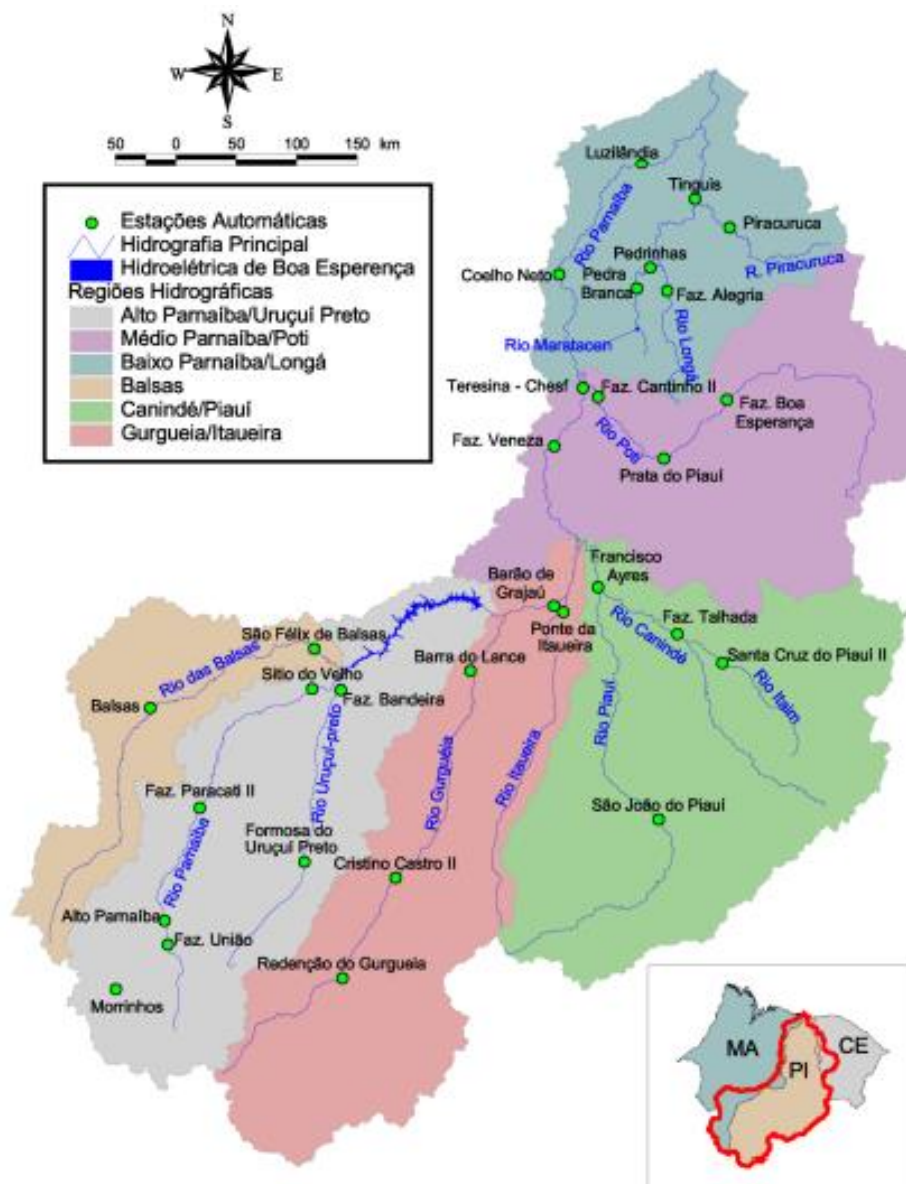


Figura 12- Rede hidrográfica do estado do Piauí, com destaque para a área em vermelho onde encontra-se a área de estudo (CPRM 2017).

*Climatologia* - Rivas (1996) classifica o clima na Bacia Hidrográfica do Parnaíba usando parâmetros pluviométricos e estabelecendo como valor de intervalo para as classes, 300mm critério segundo o qual o clima na área de Sete Cidades vai de clima sub-úmido a úmido, com chuvas anuais de 1.300 a 1.500 mm.

O clima é quente semiárido da região conta com seis meses de seca. A temperatura média anual fica em torno de 25 °C, com máxima e mínima absoluta em torno de 39 e 12°C, respectivamente.

*Relevo* - A área de Sete Cidades localiza-se no Planalto Oriental da Bacia Sedimentar do Parnaíba, nordeste da mesma, à uma distância de aproximadamente de 100 km da cuesta da Serra da Ibiapaba, que faz parte do primeiro alinhamento de cuestas do Estado. Esta bacia apresenta um relevo monodinal de cuestas (figura 14).



Figura 13- Morro do Gritador, com cornija bem pronunciada e vertentes íngremes, representando um relevo do tipo “meseta” no seio do Planalto da Ibiapaba, nas proximidades do Parque Nacional de Sete Cidades no Estado do Piauí.

A topografia dominante em Sete Cidades e arredores é típica de um relevo de bacias sedimentares, ou seja, de chapadas planas formando mesas de declive e escarpas abruptas (Figura 13). O relevo da área mostra uma superfície com altitudes que variam entre 100 e 300m representando as serras locais, como a Serra da Descoberta e a Serra Negra (Santos 2001).



Figura 14- Relevo do Parque Nacional formado a partir do modelo ruiforme, sendo derivado da associação de processos erosivos com características preexistentes da rocha (Foto: André Dib).

*Vegetação* - A região do Parque Nacional de Sete Cidades apresenta o Cerrado como o Bioma predominante em sua extensão, sendo que o mesmo é o segundo maior bioma do país, ocupando cerca de 23% do território brasileiro. Sua vegetação apresenta fisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres. Nas formações florestais, o predomínio é de espécies arbóreas; nas savânicas, a vegetação é composta por árvores e arbustos espalhados por um estrato gramíneo; nos campos predominam espécies herbáceas e algumas arbustivas sem árvores (Ribeiro & Walter 1998).

#### 4.4 ARQUEOLOGIA DO PARQUE NACIONAL DE SETE CIDADES

Afora as atrações geológicas, o Parque de Sete Cidades é internacionalmente conhecido por suas inscrições rupestres nas paredes das rochas (figura 15 e 16). Estas inscrições foram datadas pelo método do 14C com uma idade presumível de 6000 anos e foram interpretadas como mostrando diferentes situações, bem como conceitos religiosos.

O Parque Nacional (PARNA) de Sete Cidades é bastante conhecido por seus sítios com pinturas rupestres. A maior parte das pinturas se encontram na Segunda Cidade, com vários registros de palmas de mãos, o que é um forte indicativo de pinturas indígenas, incluindo-se a mais famosa delas, no Sítio da Mão dos Seis Dedos. Na Segunda Cidade ainda se situam o Sítio Pequeno e na Pedra do Americano, outros locais com

incidência de pinturas rupestres. Na Quinta Cidade há sítios registrando rituais completos de caça, mas é na Sétima Cidade que estão as pinturas mais nítidas de todo parque, quase todas na cor vermelha, habitual também nos outros parques piauienses com pinturas rupestres, como a Serra da Capivara e a Serra das Confusões (França 2017)

A quantidade de pinturas nas Sete Cidades é inferior a estes outros parques piauienses, mas sua localização mais central em relação aos parques do sul, são ótimos indicativos do processo de ocupação do nordeste brasileiro. Vale destacar também o fato de Sete Cidades se localizar numa área bem mais urbanizada nos seus arredores que a Serra da Capivara, além de ser um parque de menor extensão, o que contribui consideravelmente para a existência de menos registros rupestres que resistiram até os dias atuais, o que não diminui sua relevância (França 2017).

O sítio do Parque Nacional de Sete Cidades apresenta muitas pinturas com cores e tonalidades variadas. A observação dos pigmentos sob a lupa do microscópio óptico portátil revela que a distribuição da tinta sobre o suporte rochoso esbranquiçado apresenta-se de forma descontínua pois é possível visualizar partes da rocha sem pigmento. Isto pode ser devido ao longo tempo de exposição destes às intempéries do local, que contribuem para a degradação das pinturas ou ainda sugere que (a aplicação da tinta sobre o mural rochoso foi realizada de maneira grosseira, sem os cuidados de efetuar todo o preenchimento do suporte (Lopes 2018).



Figura 15- Pinturas rupestres com até 6000 anos de idade do Parque Nacional de Sete Cidades (França 2017).



Figura 16- Pannel de pinturas rupestres na Pedra do Leque, situada na Serra da Descoberta do Parque Nacional de Sete Cidades (Santos 2000).

## 4.5 ANÁLISES PETROGRÁFICAS

### 4.5.1 Textura e Classificação

Para a etapa de análises petrográficas, foram analisadas 4 amostras, cuja a relação cimento x porosidade está demonstrado na tabela 1.

As 4 amostras de superfície analisadas representam as características litológicas do Parque Nacional de Sete Cidades na área de estudo e são constituídas primariamente por quartzarenitos, segundo a classificação de Folk (1968), o qual é baseado nas proporções relativas de quartzo, feldspato e fragmentos de rochas (figura 17).

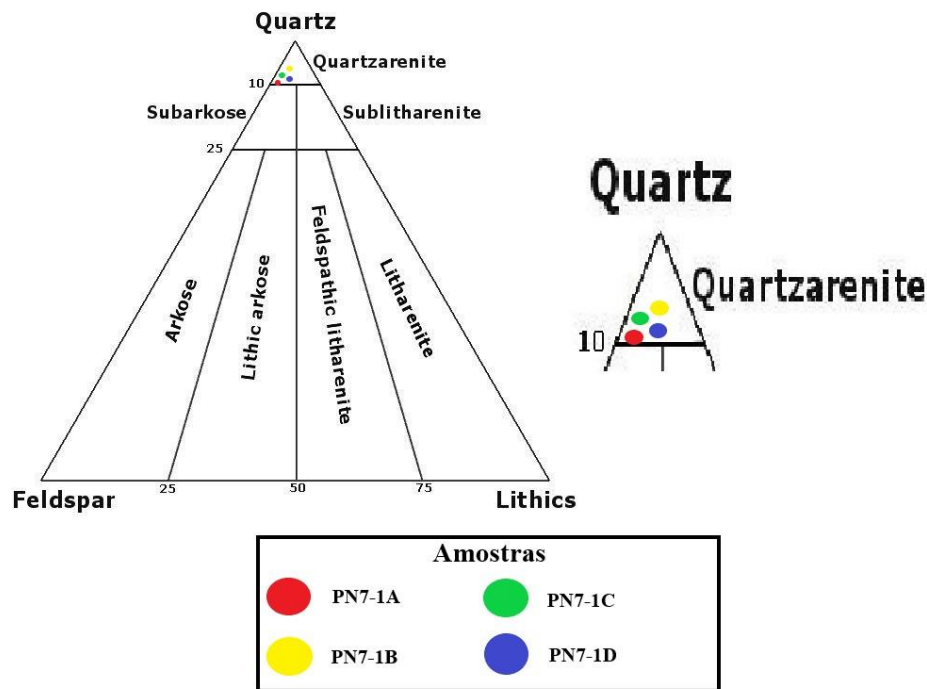


Figura 17- Classificação das 4 amostras de superfície da área estudada no Parque Nacional de Sete Cidades, a partir do diagrama de Folk (1968).

A granulometria das amostras de arenito estudadas são predominantemente areia fina (0,250 mm), secundariamente areia média (0,500 mm). Já o grau de arredondamento varia de bem arredondado a subanguloso.

O grau de seleção, por sua vez, varia de moderado a bem selecionado, com contatos pontuais, longos a suturados, além do tipo côncavo-convexo. De forma geral, as amostras estudadas apresentam empacotamento normal, segundo o índice de Kahn (1956) (equação 1). Os grãos de quartzo são predominantemente monocristalinos, apresentando em alguns casos um sobrecrecimento sintaxial ao redor. Os feldspatos presentes nas amostras são do tipo feldspato alcalino e encontram-se em suma maioria alterados. Em quantidades menores estão muscovita e minerais pesados que correspondem a zircão turmalina, titanita e rutilo. Os fragmentos líticos identificados correspondem predominantemente a fragmentos de chert.

$$IK = \frac{N_{\text{Contatos}}}{N_{\text{Grãos}}} \times 100 \rightarrow \frac{53}{100} \times 100 \rightarrow IK = 53 \rightarrow \text{EMPACOTAMENTO NORMAL}$$

Equação 1- Cálculo a partir do Método de Kahn (1954) para a determinação do empacotamento da rocha.

A porosidade desses arenitos pode ser interpretada como o somatório das porosidades primária e secundária (porosidade total). Foram reconhecidos os tipos nas amostras analisadas: moldica - ocorre quando há intensa dissolução e é possível reconhecer o formato do grão inteiro pré-existente algumas vezes até por cutâns de argila; porosidade intragranular - formada pela dissolução parcial de grãos, em lâminas delgadas reconhece-se através de grãos esqueletais, e a porosidade intergranular, que aparece entre os grãos.

A porosidade nas lâminas delgadas analisadas é predominantemente secundária, evidenciada pela dissolução de grãos. Os valores de porosidade representam aproximadamente 19,45%, o que indica haver processos de dissolução dos grãos – principalmente dos feldspatos – durante os estágios diagenéticos, mais especificamente na telodiagênese.

A dissolução de grãos atuou preferencialmente nos grãos de feldspato (k-feldspatos). A dissolução ocorreu na forma total e parcial, formando porosidade móldica, em alguns a dissolução atuou de forma tão intensa que não foi possível visualizar vestígios para serem identificados.

A presença de cimentação contribuiu significativamente para a redução dos valores de porosidade, observou-se que nas amostras cuja média de cimentação obteve porcentagens menores, como nas amostras PN7-1B e PN7-1D, que atingiram valores de 9,7% e 8,5%, respectivamente, adquiriu-se uma média de porosidade com percentuais mais elevados, alcançando os valores de 22,3% e 20,8%.

Ou seja, os valores de porosidade ( $\phi$ ) aumentam conforme os valores de cimentação diminuem, sendo possível estabelecer a relação porosidade x cimentação (tabela 1), tendo como base, a importância relativa dos processos de compactação e cimentação na redução da porosidade, segundo Houseknecht (1987).

Tabela 1-Relação Cimentação x Porosidade

<b>Amostras</b>	<b>Cimento (%)</b>	<b><math>\phi</math></b>
PN7-1A	11,1%	19,8%
PN7-1B	9,73%	22,31%
PN7-1C	14,68%	16,87%
PN7-1D	8,51%	20,82%

#### **4.5.2 Elementos constituintes do arcabouço**

Com base nos minerais constituintes das rochas estudadas, os grãos são classificados com base em sua maturidade composicional seguido os critérios de Tucker (1991) que separa as fases detríticas siliciclásticas em seis categorias a seguir: (1) quartzo; (2) feldspatos; (3) micas; (4) minerais pesados; (5) fragmentos líticos; (6) outros.

A tabela a seguir (tabelas 2 e 3) mostra a distribuição dos principais constituintes do arcabouço e diagenéticos dos arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades, incluindo todos os fragmentos líticos presentes na amostra, além de outros constituintes, como cimento, poros e matriz. Além disso, nas amostras estudadas foram contabilizados mais de trezentos pontos que de acordo com a classificação de Folk (1968) corresponde a quartzarenitos (tabela 4).

Tabela 2- Frequência dos componentes detríticos e diagenéticos em contagem com mais de 300 pontos das amostras de arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades– Formação Cabeças.

<b>Amostras</b>	<b>Qm</b>	<b>F</b>	<b>Fr</b>	<b>Mc</b>	<b>Zr</b>	<b>Ti</b>	<b>Ru</b>	<b>Tu</b>	<b>Mt</b>	<b>La</b>	<b>Cs</b>	<b>O-H Fe</b>	<b>Po</b>	<b>Total</b>
PN7-1A	164	6	5	4	2	3	1	3	7	15	14	20	61	305
PN7-1B	167	7	3	6	2	3	2	3	7	15	15	13	69	312
PN7-1C	160	9	4	6	1	3	<1	4	8	16	21	24	52	308
PN7-1D	168	8	4	6	1	2	1	4	7	17	14	13	65	310

Qm: quartzo monocristalino; F: feldspato (feldspato potássico); Fr: fragmento de rochas (fragmentos de chert); Mc: mica; Zr: zircão; Ti: titanita; Ru: rutilo; Tu: turmalina; Mt: matriz; La: lentes de argila; Cs: cimento de sílica; O-H Fe: cimento de óxido-hidróxido de ferro; e Po: poros.

Tabela 3- Frequência (%) dos componentes detríticos e diagenéticos das amostras de arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades – Formação Cabeças.

<b>Amostras</b>	<b>Qm</b>	<b>F</b>	<b>Fr</b>	<b>Mc</b>	<b>Zr</b>	<b>Ti</b>	<b>Ru</b>	<b>Tu</b>	<b>Mt</b>	<b>La</b>	<b>Cs</b>	<b>O-H Fe</b>	<b>Po</b>	<b>Classificação</b>	<b>Total (%)</b>
PN7-1A	52,05%	1,94%	1,66%	1,33%	0,98%	1,30%	0,65%	1,30%	2,94%	4,9%	4,57%	6,53%	19,8%	Quartzoarenito	100%
PN7-1B	53,65%	2,22%	0,95%	2,22%	0,63%	1,26%	0,63%	0,95%	2,22%	5,39%	5,07%	4,66%	22,31%	Quartzoarenito	100%
PN7-1C	51,56%	2,81%	1,25%	1,87%	0,34%	0,93%	-	1,56%	2,5%	5,62%	6,87%	7,81%	16,87%	Quartzoarenito	100%
PN7-1D	53,94%	2,52%	1,26%	1,89%	0,34%	0,63%	0,34%	1,26%	2,20%	5,36%	4,41%	4,10%	20,82%	Quartzoarenito	100%

Qm: quartzo monocristalino; F: feldspato (feldspato potássico); Fr: fragmento de rochas (fragmentos de chert); Mc: mica; Zr: zircão; Ti: titanita; Ru: rutilo; Tu: turmalina; Mt: matriz; La: lentes de argila; Cs: cimento de sílica; O-H Fe: cimento de óxido-hidróxido de ferro; e Po: poros.

Tabela 4- Frequência dos principais constituintes dos Arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades para a classificação da rocha, seguindo os métodos de Folk (1968).

<b>Amostras</b>	<b>Qm</b>	<b>F</b>	<b>Fr</b>	<b>Classificação</b>	<b>Total (%)</b>
PN7-1A	95,6%	2,4%	2,3%	Quartzoarenito	100%
PN7-1B	97,3%	1,8%	0,9%	Quartzoarenito	100%
PN7-1C	95,2%	3,2%	1,6%	Quartzoarenito	100%
PN7-1D	97,9%	1,6%	0,5%	Quartzoarenito	100%

*Quartzo* – Nas amostras estudadas, o quartzo ocorre predominantemente em granulometria fina, de forma subangulosa a subarredondado (figura 18). De forma geral, o tipo predominante é o quartzo monocristalino, com extinção ondulante.

A autigênese de quartzo nos arenitos relaciona-se essencialmente ao crescimento sintaxial de quartzo e a precipitação de cimento com eixos ópticos e cristalográficos paralelos aos grãos.

Os grãos de quartzo apresentam faturamento, que pode ser explicado pelos processos de compactação mecânica durante o estágio mesodiagenético.

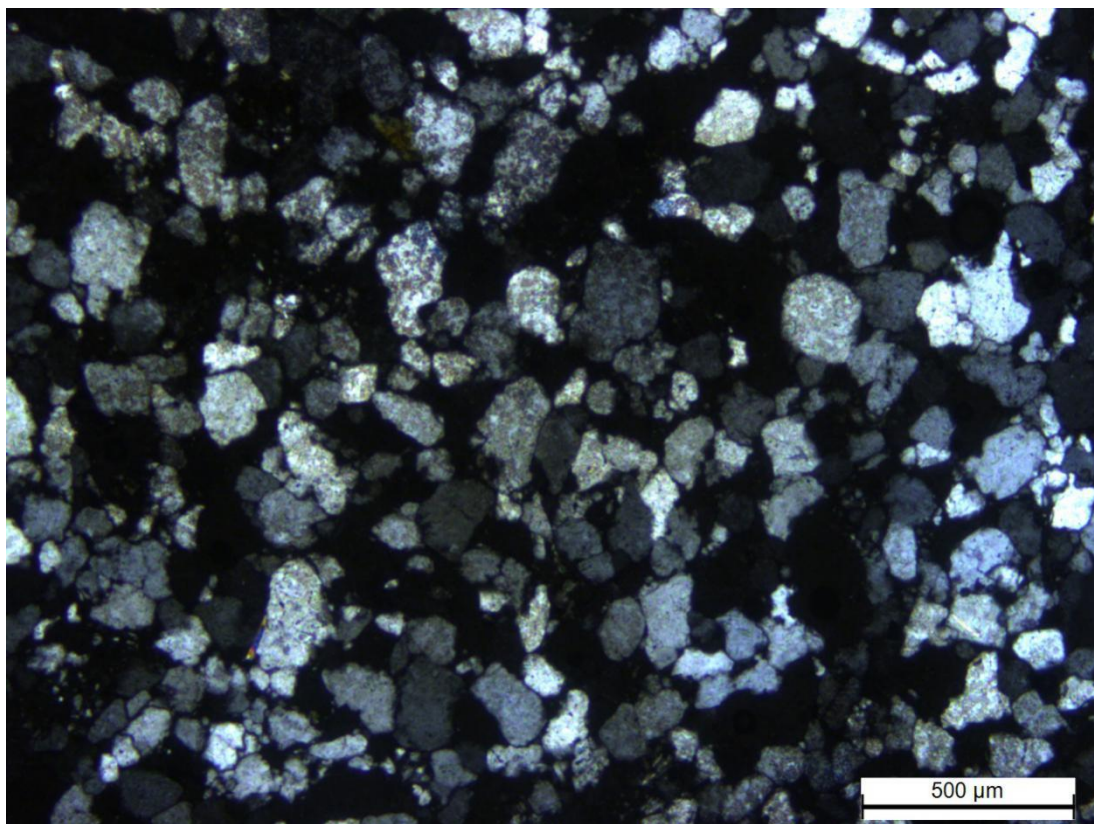


Figura 18 - Fotomicrografias mostrando o aspecto geral do arcabouço do arenito que aflora no Parque Nacional de Sete Cidades, as imagens destacam o formato subanguloso dos grãos.

*Feldspato* – É o segundo constituinte detrítico mineral mais abundante nos arenitos estudados. Esses feldspatos em sua maioria correspondem a feldspato alcalino. Pontualmente, os grãos de feldspato potássico apresentaram-se com sutil alteração para argilominerais, evidenciada pelo aspecto "sujo", sugestivo de alteração para caolinita ou illita. De maneira geral, os feldspatos apresentam dissolução parcial formando grãos alterados, gerando porosidade intragranular e dissolução total (porosidade moldica) por percolação de fluidos diagenéticos da formação.

*Micas* – Os principais tipos de micas que ocorrem nos arenitos estudados são muscovita e biotita, sendo que a muscovita é incolor e a biotita apresenta coloração amarelado ou marrom.

O tipo mais comum de mica encontrada nas amostras foi a muscovita, e de forma bastante isolada, a biotita. Em muitas porções das amostras estudadas, a muscovita apresentam aspecto contorcido, mostrando a evidência de compactação mecânica.

*Minerais Pesados* – No grupo dos minerais pesados, zircão, turmalina, titânita e rutilo foram os minerais descritos nas lâminas de rocha estudada. Os grãos de zircão (Figura 19-B) são incolores e, por poucas vezes, róseo e laranja, com relevo muito alto e bordas bem enegrecidas, extinção reta, alongação positiva e cores de interferência altas, fortes e brilhantes. Esse mineral varia entre 0,3% e 0,9% na contagem de pontos das amostras. A turmalina (Figura 19-A) é, geralmente, marrom esverdeada, mas ocorrem grãos castanho-avermelhados. Tem pleocroísmo forte e inverso, a cor do mineral interfere na sua alta birrefringência e sua seção basal é trigonal com outlines curvadas. O rutilo apresenta cor vermelho a laranja, com leve pleocroísmo, grãos estriados e bordas bem enegrecidas. Devido à cor forte do mineral aliada à birrefringência com cores de ordens extremamente altas, os grãos não mudam de cor sob nicóis cruzados.

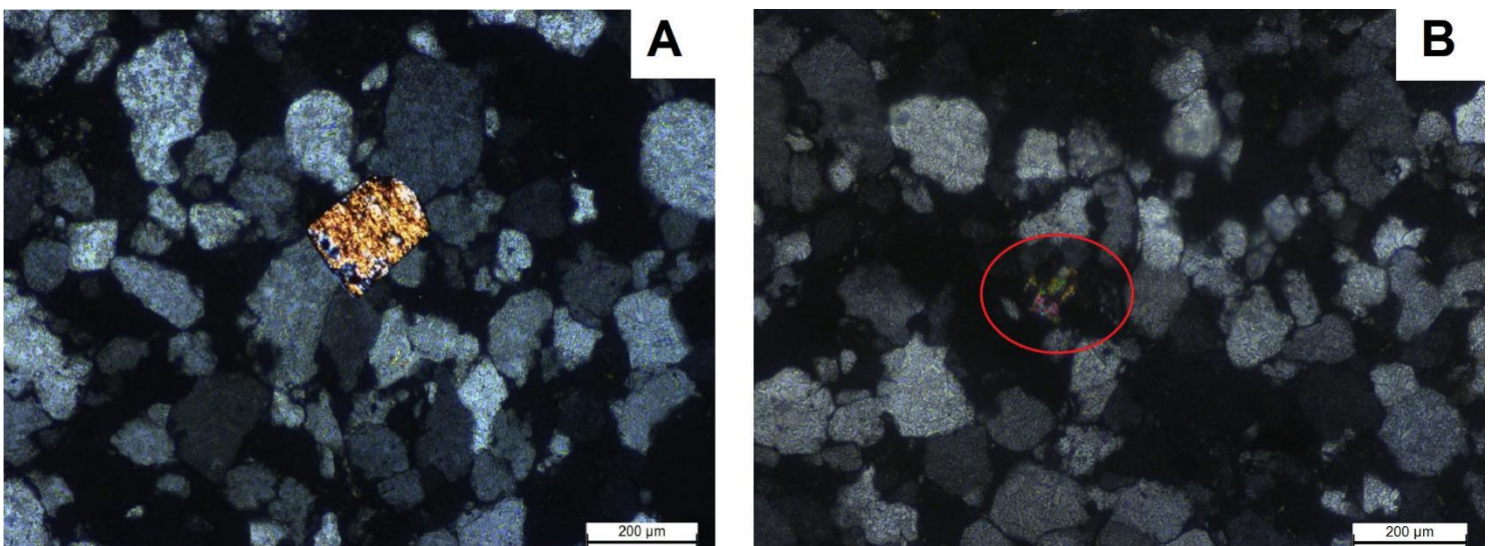


Figura 19 - Grão de turmalina em nicóis cruzados. (A); Grão de zircão em nicóis cruzados – mineral pesado com quantidade relevante no arcabouço da rocha. (B);

*Fragmentos líticos* – Os fragmentos líticos nas amostras são raros e sem grandes variedades. Mais comumente foram observados fragmentos de chert nas amostras, além de fragmentos de rochas vulcânicas. A identificação de fragmentos líticos é importante para a interpretação da proveniência dos arenitos estudados.

#### **4.5.3 Evolução Diagenética**

A diagênese inclui todos os processos físico, químicos e biológicos que ocorrem desde o final da deposição do material sedimentar numa bacia até o limite do metamorfismo ou a desagregação por erosão. O campo da diagênese, portanto, estende-se desde a superfície até cerca de 10.000 m de profundidade, abrangendo variações de 20 a 200°C de temperatura, 1 a 2000 atm de pressão e salinidade de água doce até salmouras (Moraes 1984).

De acordo com Choquette & Pray (1970), os processos diagenéticos (tabela 5) são divididos em eodiagênese, mesodiagênese, telodiagênese, o primeiro foi usado para diagênese precoce, o segundo para diagênese de soterramento e o terceiro denominado para diagênese de soerguimento.

A evolução diagenética dos arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades foi fortemente controlada pelas condições do ambiente deposicional e pela composição mineral do arcabouço. As principais fases diagenéticas relacionam-se aos estágios eodiagenético e mesodiagenético e são representados por: (1) infiltração mecânica de argila, (2) cimentação precoce por óxido-hidróxido de ferro, (3) compactação mecânica, (4) compactação química, (5) cimento de sílica, e (6) oxidação. A tabela 2 mostra as fases diagenéticas e o estágio ao qual se relacionam.

Tabela 5 – Principais fases minerais da evolução diagenética, segundo Choquette & Pray (1970) aplicadas às rochas do Parque Nacional de Sete Cidades – Formação Cabeças.

FASES DIAGENÉTICAS	EODIAGÊNESE	MESODIAGÊNESE	TELODIAGÊNESE
Infiltração mecânica de argila	—————		
Cimento precoce de hematita	—————		
Compactação mecânica	—————	—————	
Compactação química		—————	—————
Cimento de sílica	—————	—————	
Cimento de hematita			—————

*Infiltração mecânica de argila* - A infiltração de argila (figura 20 - A e B) é um dos processos contemporâneos à deposição responsáveis pela redução da porosidade antes do início da compactação e cimentação, que são os dois principais mecanismos de perda de porosidade em arenitos (Tucker 1991).

Walker (1976) descreve quatro mecanismos fundamentais para acumulação de argila nos sedimentos, durante o fluxo vertical de infiltração: concentrações na zona vadosa; concentrações no nível freático; concentrações sobre barreiras impermeáveis; e concentração nas proximidades de infiltração de influentes (zonas de recarga).

Nas amostras foi possível observar uma inversão textural causada pela presença de argila infiltrada que ocorre na forma de cutículas que corresponde a um dos critérios petrográficos de reconhecimento de argila mecanicamente infiltrada. Estas cutículas ocorrem entre os grãos de quartzo do arcabouço. A presença de infiltração mecânica de argila apresenta valor médio de 2,46% da totalidade dos constituintes totais das amostras.

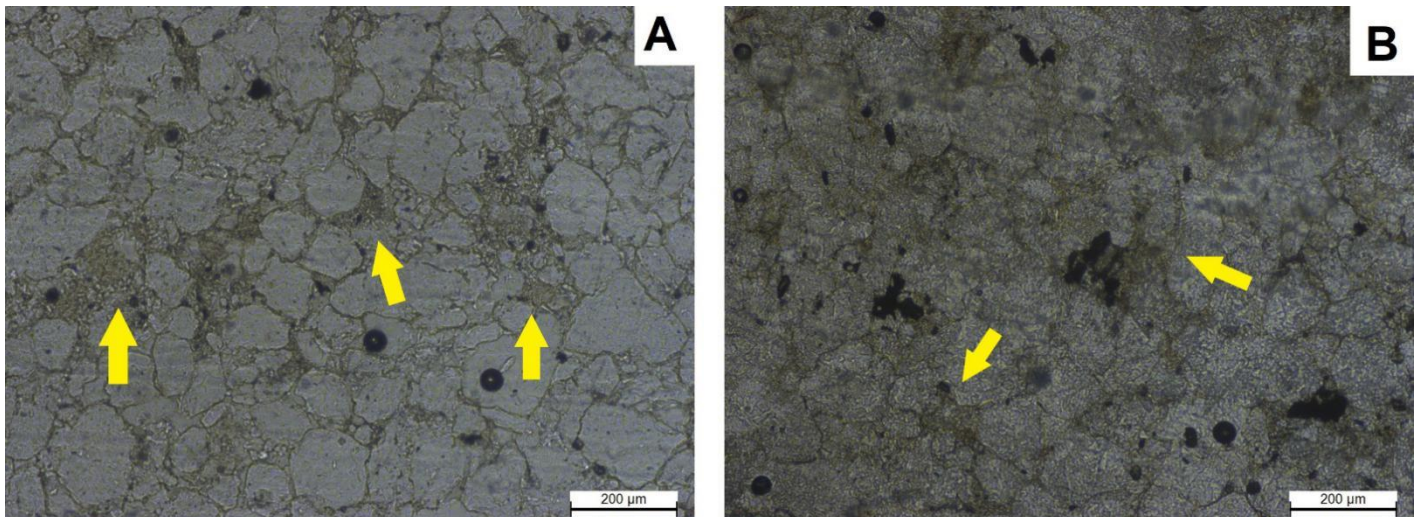


Figura 20- Infiltração mecânica de argila (indicada pelas setas), ocasionada ainda no estágio da eodiagênese (A). Infiltração de argila preenchendo os poros intergranulares (B).

*Cimento precoce de O-H de ferro* - Ocorre sob a forma de uma finíssima película em torno dos grãos. A origem mais provável desta acumulação ferrosa seria produto da alteração dos minerais mais instáveis tanto em profundidade, como fruto da alteração mais superficial.

*Compactação mecânica* - ocorre durante a compactação, os grãos se aproximam em resposta à crescente sobrecarga ou stress tectônico, reduzindo o espaço poroso e expulsando simultaneamente fluidos intersticiais.

Os processos de compactação mecânica podem ter início em profundidades pequenas na crosta após o soterramento, ou seja, abaixo de 2km (profundidade onde se inicia os processos mesodiagenéticos), ainda no estágio eodiagenético, sendo causado pela compressão dos sedimentos na bacia. Os principais indícios de compactação mecânica nestes arenitos são micas deformadas (figura 21), com o aspecto irregular ou sanfonado; e faturamento nos grãos de quartzo.

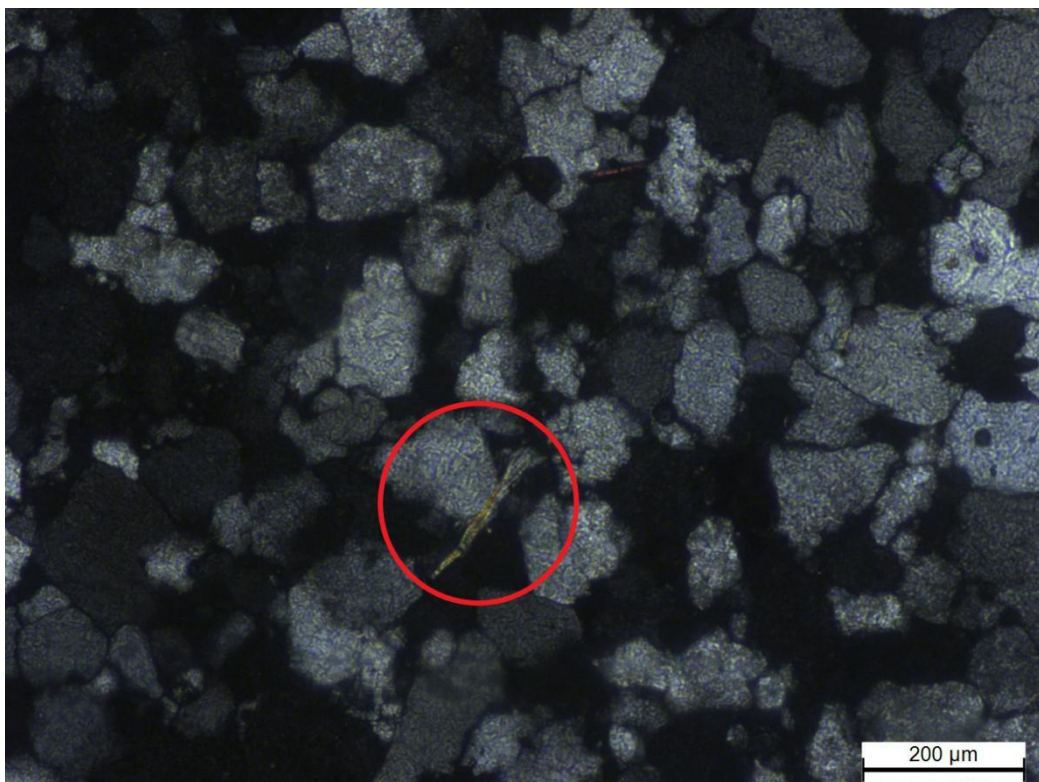


Figura 21- Mica (muscovita) com aspecto contorcido em decorrência dos processos de compactação mecânica.

*Compactação química* - Este processo é resultado do aumento da solubilidade ao longo do contato entre grãos e na interface de sedimentos submetidos à esforços compressivos.

A compactação química, ou dissolução por pressão, inicia-se ao final da eodiagênese e com o máximo no início da mesodiagênese, mas podendo progredir ao longo de todo o soterramento. As evidências de compactação química nos arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades são contatos côncavo-convexos e sobrecrecimento de sílica (figura 22).

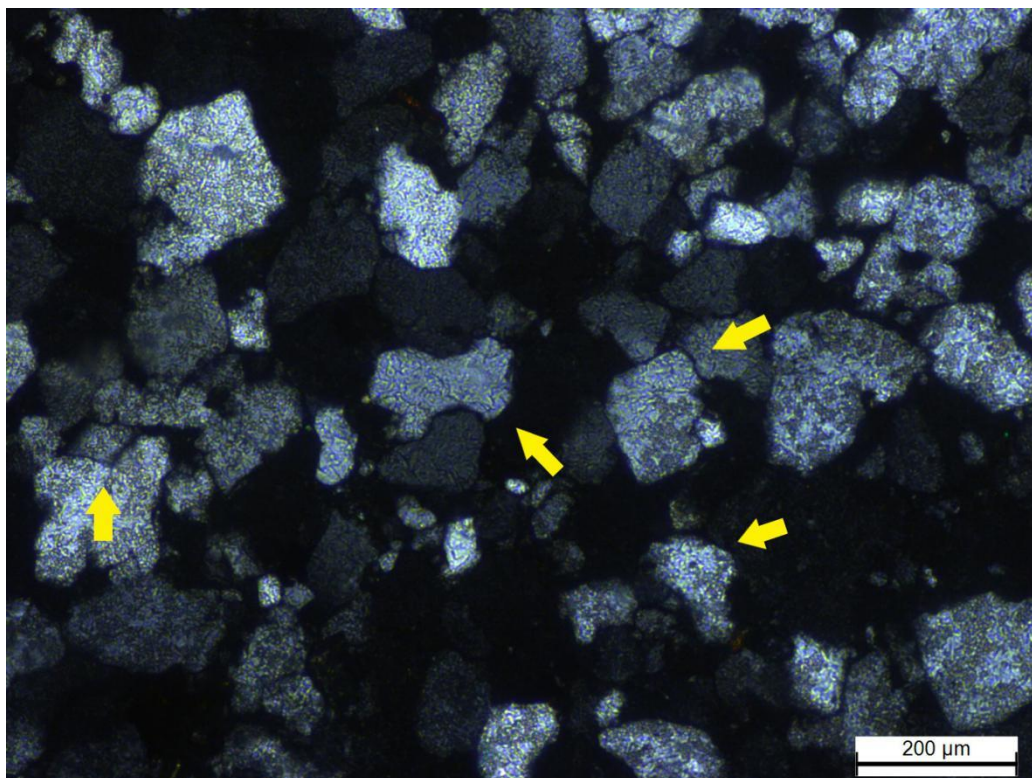


Figura 22 – Contatos do tipo côncavo-convexo entre os grãos de quartzo, formados a partir da compressão dos grãos durante o soterramento.

*Cimento de sílica* – A cimentação por sílica nestes arenitos ocorreu durante a mesodiagênese. Os crescimentos syntaxiais de quartzo (figura 23) são formados após intensa dissolução por pressão. Tal elemento encontra-se em todas as litofácies e perfaz aproximadamente 5% do volume total dos arenitos. Apresenta espessura variada, e é reconhecido a partir de 1) linhas de descontinuidade (sujeira) na borda dos grãos, compostas de cutículas de argilominerais ou óxido-hidróxido de ferro e 2) contatos retos de compromisso (tríplices) indicando o crescimento de cimento em grãos cuja linha de sujeira é incipiente ou 36 inexistente. A partir da proposta de McBride (1989), considera-se que as prováveis fontes de sílica para a geração do cimento nos arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades são: dissolução de grãos de quartzo a partir de siltitos durante compactação mecânica; dissolução de “poeira” de quartzo derivada de abrasão em ambiente eólico e; dissolução por pressão nos contatos côncavo-convexos (compactação química).

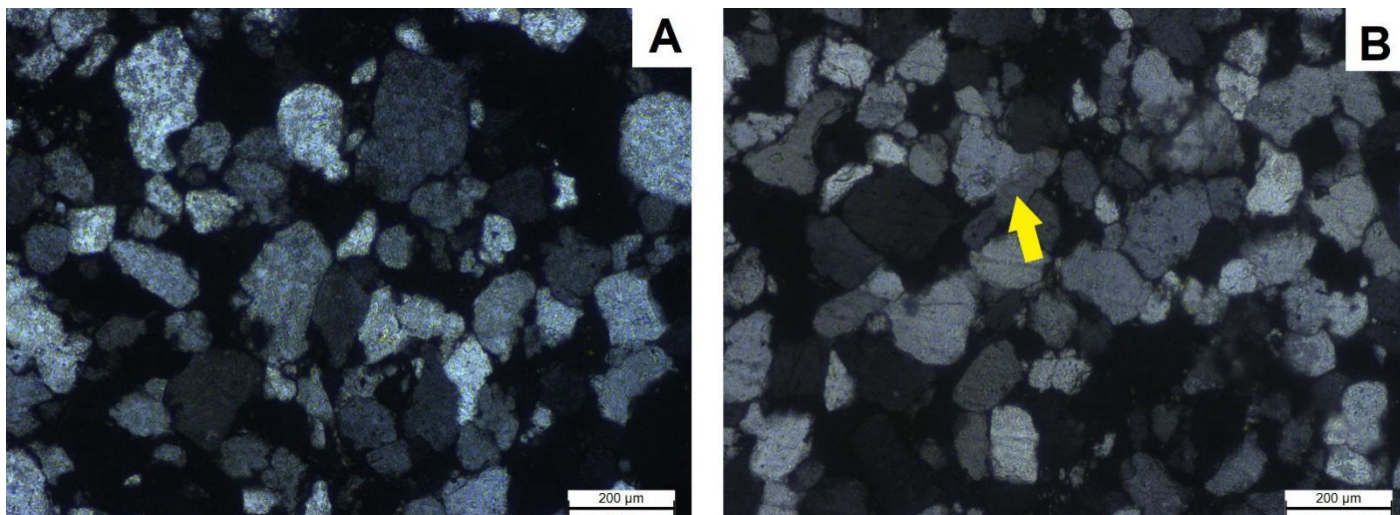


Figura 23 – Contato tríplice entre os grãos de quartzo evidenciando a formação de cimento de sílica. (A); Crescimento syntaxial de sílica (B).

*Cimento de hematita* – As amostras estudadas mostram forte oxidação (cimento de hematita) dos minerais translúcidos. É possível identificar vários pontos com porosidade móldica preenchida pelo cimento de hematita (figura 24), pois o cimento ferroso se acumulou dentro desses poros. É possível que esta cimentação tenha ocorrido em um estágio diagenético posterior (telodiagênese), quando a cimentação ferrosa proveniente da alteração de minerais mais instáveis expostos na fase de soerguimento acumulou-se no arcabouço destes arenitos.

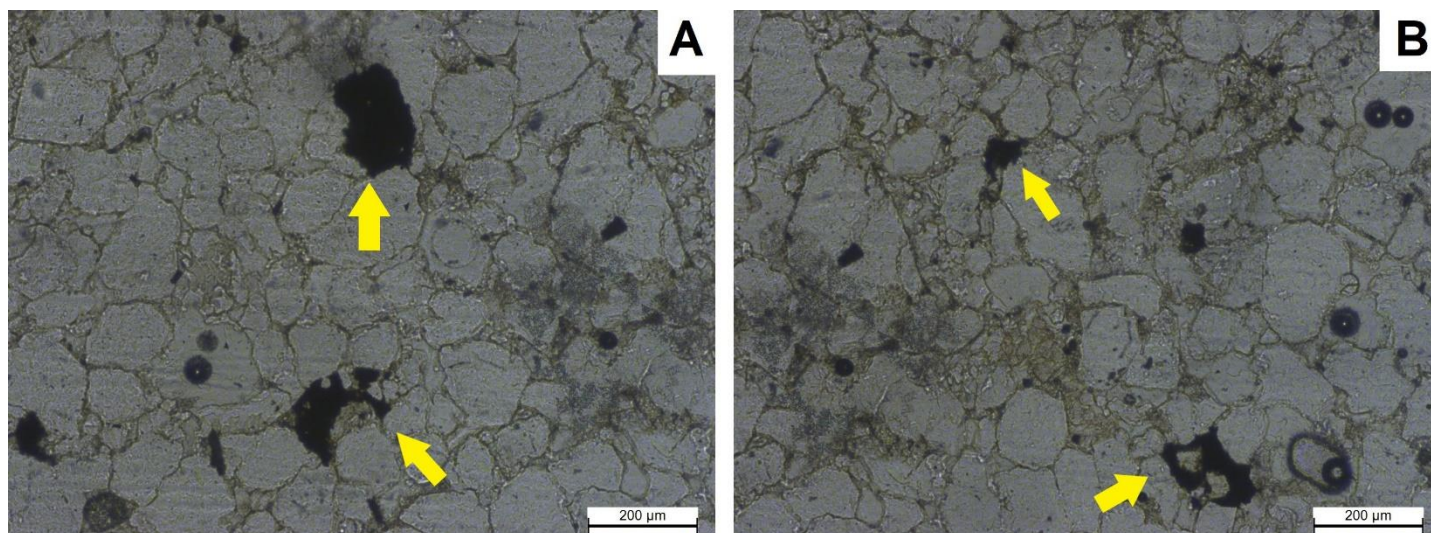


Figura 24 – Cimento de óxido-hidróxido de ferro preenchendo os espaços porosos. (A); Cimento de óxido-hidróxido de ferro formado durante o processo da telodiagênese. (B)

#### 4.6 PROVENIÊNCIA DOS ARENITOS

A proveniência abrange o campo em que se determinam os possíveis locais ou fontes de onde os materiais que compõem as rochas sedimentares, no caso deste estudo, as rochas arenosas, procederam.

O estudo da proveniência sedimentar constitui uma ferramenta fundamental na análise e na compreensão da evolução tectônica de bacias em superfície, assim como contribuem significativamente para reconstrução da história tectônica global (Dickinson 1988, Miall 1990, Miall 2000).

A aplicação da análise de proveniência é bastante utilizada em estudos de bacias sedimentares focadas na exploração de hidrocarbonetos (petróleo e gás) e na manutenção e otimização de reservatórios que já se encontram em exploração. Estudos dessa natureza permitem identificar a composição mineralógica e litológica das áreas-fonte, inferir sua localização geográfica, clima e relevo, determinar as principais rotas de distribuição das areias, e estimar a distância e tempo de transporte (Remus *et al.* 2008).

Um arenito, a maturidade mineralógica indica basicamente os processos de intemperismo atuantes na área fonte e a intensidade do retrabalhamento e transporte que os sedimentos sofreram. Sedimentos com caracterização imatura indicam que os fragmentos que formaram a rocha procederam de uma área fonte muito próxima. Todavia, estes sedimentos também podem ter tido um transporte rápido e curto associado com pouca ação intempérica e retrabalhamento.

De acordo com Carvalho (2010), estes estágios de maturidade mineralógica são reflexos, também, das condições deposicionais e de transporte, como também da natureza das rochas-matrizes e da diagênese.

Dickinson *et al.* (1983) e Dickinson (1985), propuseram um estudo sobre os tipos de proveniência, em que dividiram os arenitos em quatro principais terrenos de proveniência: cratón estável, soerguimento do embasamento, arco magmático e reciclagem orogenética.

A composição detrítica de arenitos, em estudos petrográficos, requer que sejam determinados os reais percentuais de cada tipo de grão presente na rocha analisada, afim

de correlacionar, com melhor precisão, a área fonte e o ambiente tectônico formador dos sedimentos (Carvalho 2010).

Os arenitos estudados são predominantemente classificados como quartzarenitos de acordo com os critérios de Folk (1968). A partir das proporções dos grãos terrígenos foram utilizados os diagramas QtFL e QmFLt do trabalho de Dickinson *et al.* (1983), no qual: (1) Qt, são os grãos de quartzos mono, policristalino e chert; (2) F, são os grãos de feldspatos; (3) L, são os fragmentos de rochas e (4) Lt são os fragmentos de rochas incluindo as variedades do quartzo. Assim, na plotagem em diagrama Qt-F-L (figura 25) há 3 possibilidades de ambientes tectônicos: Bloco continental, Arco magmático e reciclagem orogênica. Os dados obtidos para os arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades – Formação Cabeças sugerem que o modelo que melhor se encaixa é o da composição detrítica proveniente de um cratón estável com eventos tectônicos de pouca intensidade relacionados a rifteamentos ou plataformas passivas e rupturas transformantes.

A constituição dos arenitos analisados não está relacionada apenas à natureza da rocha fonte, mas também está relacionada a tectônica, ao clima, ao relevo da área fonte, ao tempo de transporte sofrido pelas partículas, ao ambiente em que os sedimentos se depositaram e aos processos diagenéticos.

A morfologia geral de todos os grãos (textura), em sua maioria subangulosos a subarredondados, implicam que essas partículas sofreram curto a médio transporte, com área fonte próxima.

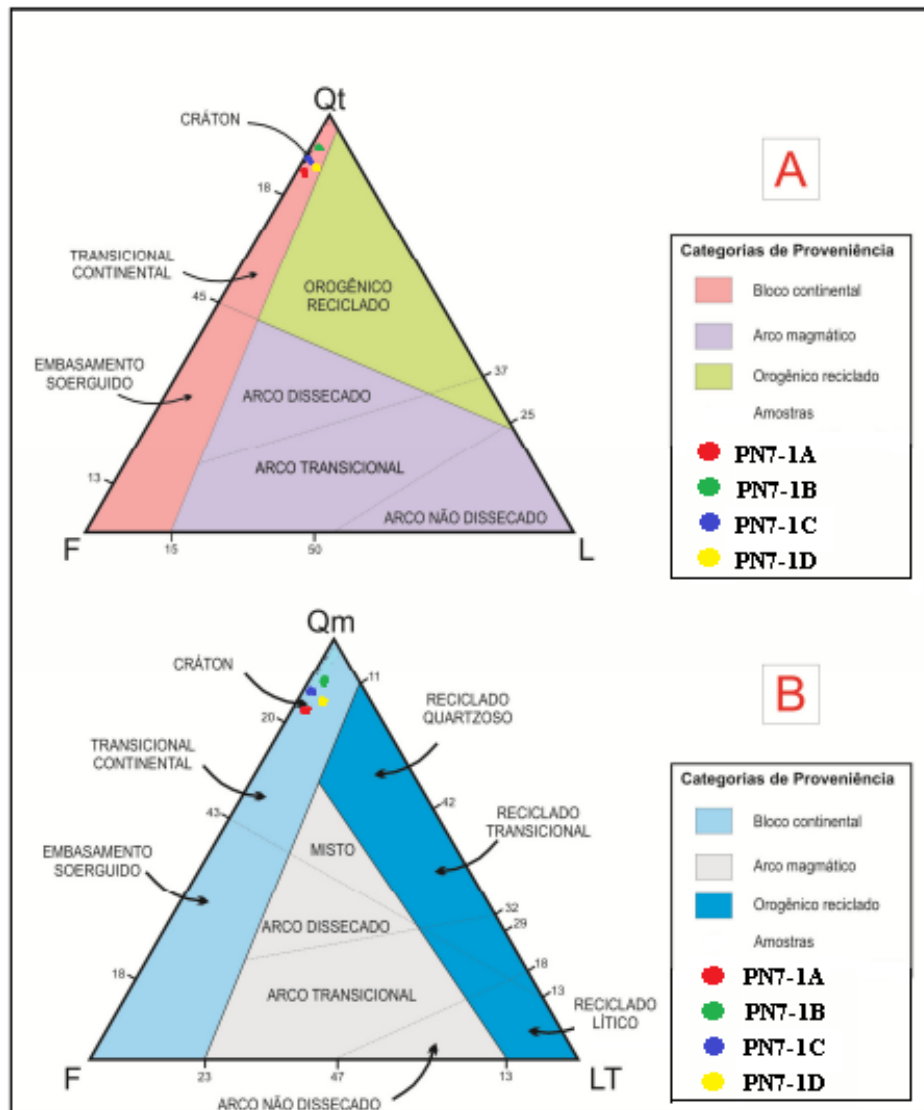


Figura 25- Diagramas triangulares mostrando os tipos de proveniência tectônica a partir de petrografia quantitativa observadas nas amostras (modificado de Dickinson 1985).

#### 4.7 ANÁLISES DE CATODOLUMINESCÊNCIA

A principal importância do uso e aplicação da técnica analítica da catodoluminescência (CL) nas amostras de quartzarenitos coletadas no Parque Nacional de Sete Cidades (PI) reside no fato de poder avançar no estudo da proveniência dos grãos de quartzo. De acordo com Boggs & Krinsley (2006), Zinkernagel (1978) possivelmente foi o primeiro trabalho a investigar a relação entre as características de catodoluminescência do quartzo e os tipos de rochas geradoras que contêm quartzo. Após o estudo de Zinkernagel, muitos trabalhos utilizando a catodoluminescência surgiram, como os de Ramseyer *et al.* (1988), Owen (1991) e Götze *et al.* (2000). Embora estes trabalhos diferenciem-se na interpretação das cores da catoluminescência, há um

consenso geral para se utilizar como padrão as relações propostas no estudo de Götze & Zimmerle (2000).

As características da CL dependem de variações de pressão, temperatura, ambiente geoquímico e de eventos subsequentes durante o desenvolvimento dos cristais de quartzo. Assim, o sinal CL de grãos de quartzo simples pode ser usado como indicador para as rochas fontes, assumindo que as propriedades de CL dos grãos de quartzo únicos nos sedimentos analisados permaneceram inalteradas em relação à fonte original. Os espectros CL são geralmente dominados por duas bandas de emissão (Augustsson & Bahlburg 2003).

Dessa forma, foi determinado que os grãos de quartzo com luminescência azul a violeta seria característica de rochas vulcânicas, plutônicas, e de metamórficas de contato e os com luminescência marrom seriam oriundos de rochas ígneas metamorfizadas, metassedimentos, algumas rochas de metamorfismo de contato e regional, e alguns quartzos autigênicos. Grãos de quartzo não-luminescentes seriam indicadores de uma origem diagenética.

Foram analisadas 4 seções delgadas polidas de arenitos, sem lamínula. Cem grãos de quartzo de cada uma das 4 lâminas delgadas polidas de arenito foram aleatoriamente selecionados para realizar a aplicação da catodoluminescência (CL). As imagens foram obtidas com feixe de correntes de elétrons variando entre 120- 240  $\mu$ A, a aceleração de voltagem foi de 14,5 – 15,8 Kv, com o tempo de aquisição de 54,2 segundos.

Nesses arenitos os espectros de CL mostram que os grãos de quartzo apresentam emissões de cores entre azul escuro, marrom avermelhado e violeta brilhante. Nos arenitos analisados, 2% com violeta brilhante, 42% com azul escuro e 56% com marrom avermelhado (figura 26).

A luminescência violeta brilhante (figura 27) indica origem vulcânica, o azul escuro está relacionado com um resfriamento lento em baixa temperatura de cristalização ou uma rocha afetada por metamorfismo e a luminescência marrom avermelhada está vinculada com o metamorfismo de baixo grau (Augustsson & Bahlburg 2003).

A maior parte dos grãos de quartzo do Parque Nacional de Sete Cidades – Formação Cabeças apresentam luminescência marrom avermelhado, indicando houve uma maior contribuição de fontes de rochas metamórficas de baixo grau.

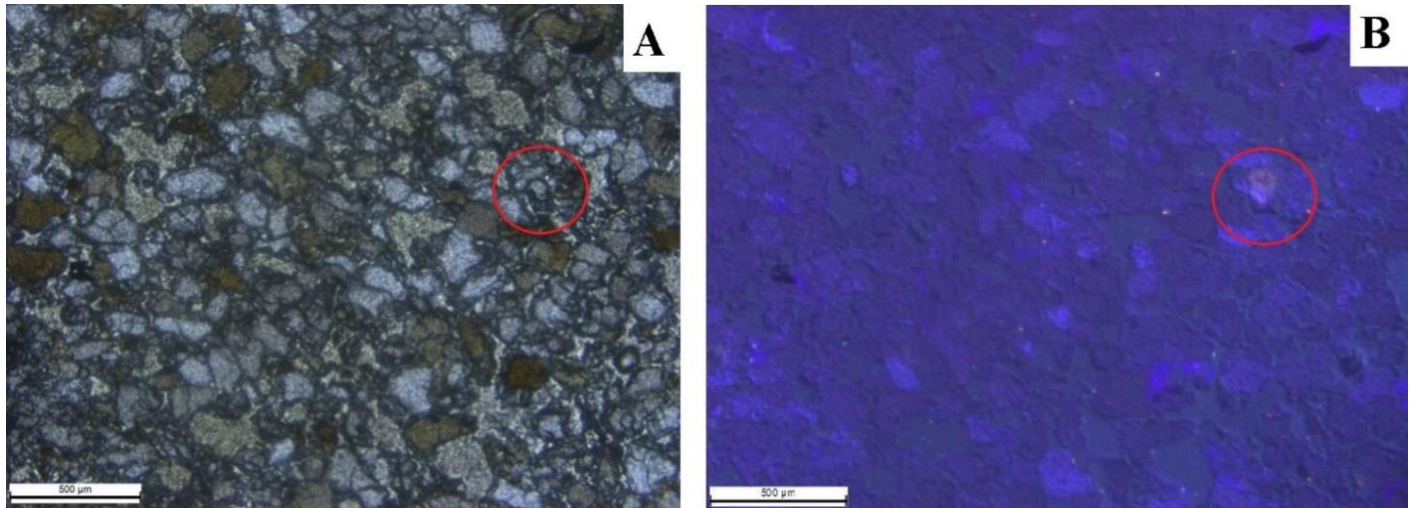


Figura 26- Imagens de CL dos grãos de quartzo em rochas do Parque Nacional de Sete Cidades. A-B) Grãos de quartzo com luminescência marrom avermelhada (M) predominam na área de estudo, a emissão dessa cor está relacionada com o metamorfismo de baixo grau. Circulado em vermelho, o grão com luminescência violeta possui origem vulcânica.

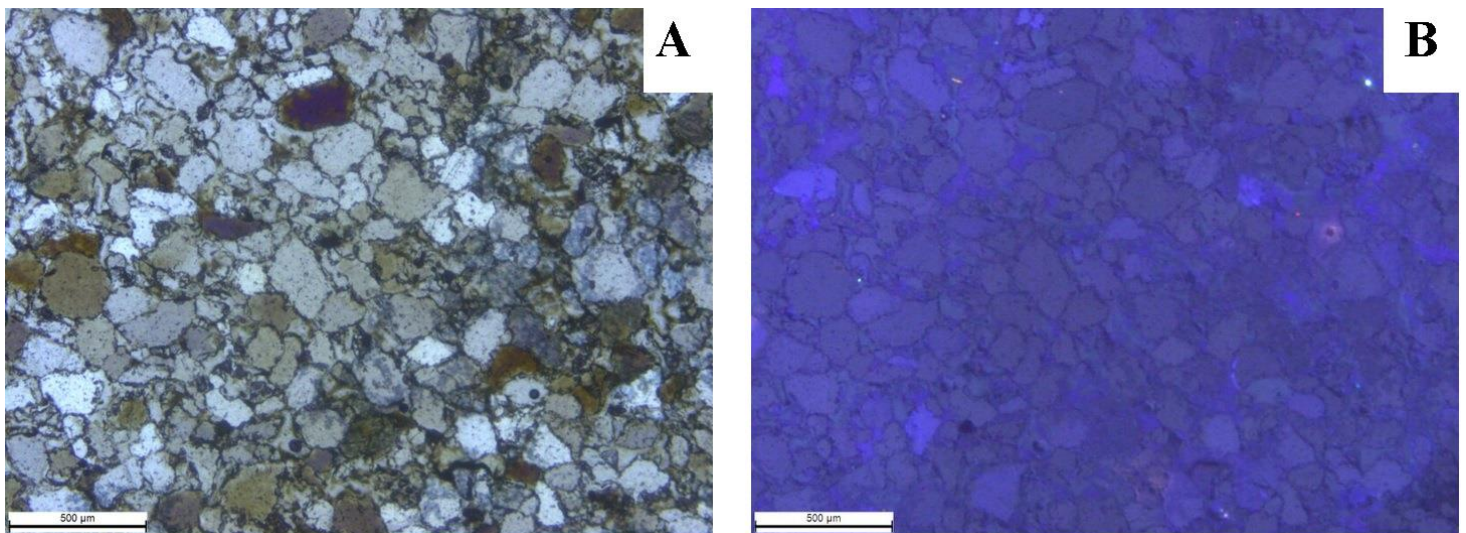


Figura 27- Imagens de CL dos grãos de quartzo do Parque Nacional de Sete Cidades. A-B) Grãos de quartzo com luminescência marrom avermelhada são predominantes, a emissão dessa cor está associada com o metamorfismo de baixo grau. Também é evidente a presença de grãos com luminescência azul, que está relacionado com um resfriamento lento em baixa temperatura.

A identificação de feldspatos através da catodoluminescência não representa uma ferramenta de grande utilidade para a interpretação de proveniência, pois os

feldspatos apresentam cores muito semelhantes às do quartzo, sendo as cores verdes e azuis, as representativas dos feldspatos. A CL é bem empregada quando as cores amarelas e vermelhas ocorrem para os feldspatos.

## 5 CONCLUSÕES

A relevância deste trabalho consiste, no estudo do histórico do Parque Nacional de Sete Cidades e sua definição como Geoparque, além da caracterização petrográfica e diagenética dos arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades, sendo que esta última auxiliou para o entendimento de uma provável área-fonte destes arenitos.

Os arenitos estudados foram classificados como quartzarenitos cujos arcabouços detríticos incluem quartzo monocristalino, feldspatos e fragmentos de rocha (chert e fragmentos de rochas vulcânicas). Sendo o quartzo o constituinte com o maior percentual, seguindo os critérios da classificação de Folk (1968), os arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades foram classificados como quartzarenitos.

Os minerais pesados identificados nos arenitos da Formação Diamantino são zircão, turmalina, rutilo e titanita. Minerais recobertos por película de óxido-hidróxido de ferro podem ter mascarado outros minerais pesados, o que impede uma interpretação precisa quanto ao seu grau de maturidade mineralógica. Uma sugestão para trabalhos posteriores seria a confecção de lâminas de minerais pesados, para a aplicação do método ZTR, o qual mostrará o verdadeiro grau de maturidade destas rochas.

Os processos diagenéticos incluem um conjunto de transformações físicas e químicas que modificaram a composição do arcabouço e da assembleia de minerais pesados, pela interação destas partículas com os fluidos intersticiais. Estes processos foram desenvolvidos durante os regimes eodiagenéticos, mesodiagenéticos e telodiagenéticos cujas evidências incluem: infiltração mecânica de argila e cimento precoce de argila observados principalmente na eodiagenéticos; compactação mecânica, compactação química, cimento se sílica, predominantes na mesodiagenese. O cimento de hematita diz respeito aos processos telodiagenéticos.

Quanto a proveniência dos arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades, a plotagem em diagrama Qt-F-L mostra que há 4 possibilidades de ambientes tectônicos: bloco continental, arco magmático e reciclagem orogênica. Os dados obtidos para os arenitos do Parque Nacional de Sete Cidades – Formação Cabeças sugerem a partir da plotagem dos dados de petrografia no diagrama de Dickinson (1985) que o modelo que melhor se encaixa é o da composição detrítica proveniente de um cratón estável com

eventos tectônicos de pouca intensidade relacionados a rifteamentos ou plataformas passivas e rupturas transformantes.

Em relação aos dados obtidos por catodoluminescência (CL) em quartzo, obteve-se um alto índice de grãos que emitem luminescência marrom avermelhado, que de acordo com Augustsson & Bahlburg (2003), indica que proveniência predominante é oriunda de rochas metamórficas de baixo grau.

Portanto, este trabalho permitiu tecer consideração iniciais acerca da caracterização mineralógica e petrográfica dos arenitos do Parque Nacional de Sete cidades – Formação Cabeças que foram classificados como quartzarenitos utilizando a classificação de Folk (1968), que leva em consideração o percentual dos componentes detríticos do arenito. Além disso, a descrição da evolução diagenética do Parque Nacional de Sete Cidades puderam destacar como se deu o início da formação dos belíssimos monumentos geológicos presentes no parque, uma vez que a compactação mecânica influenciou diretamente na origem das junções tríplexes presentes em alguns afloramentos, como na pedra da tartaruga.

## REFERÊNCIAS

- Adams A.E., Mackenzie W. S., Guilford C. 1984. *Atlas of sedimentary rocks under the microscope*. Essex, Longman, 104p. ISBN 0-582-30118-1: (broch.).
- Araújo D.B. 2017. *Bacia do Parnaíba: sumário geológico e setores em oferta*. Rio de Janeiro, Agência Nacional do Petróleo (ANP). p. 8-11.
- Augustsson C. & Bahlburg H. 2003. Cathodoluminescence spectra of detrital quartz as provenance indicators for Paleozoic metasediments in southern Andean Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences*, **16**(1): 15-26.
- Barbosa R.C.M., Nogueira A. C. R., Domingos F. H. G. 2015. Famennian glaciation in the eastern side of Parnaíba Basin, Brazil: evidence of advance and retreat of glacier in Cabeças Formation. *Brazilian Journal of Geology*, **45**(suppl 1):13–27. doi:10.1590/2317-4889201530147.
- Beurlen K. 1965. Observações no Devoniano do Estado do Piauí. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **37**:61-67.
- Boggs S. & Krinsley D.H. 2006. *Application of cathodoluminescence imaging to the study of sedimentary rocks*. Cambridge, Cambridge University Press, 165p.
- Brilha J.B.R. 2009. A importância dos geoparques no ensino e divulgação das geociências. *Revista do Instituto de Geociências – USP*, São Paulo, **5**: 27-33.
- Campelo S.C.M. & Cisneros J. C. 2019. Icnofósseis da formação cabeças, devoniano da Bacia do Parnaíba. In: CBP, 26º Congresso Brasileiro de Paleontologia, Uberlândia. *Anais eletrônicos*[...]. Campinas, Galoá. Disponível em: <https://proceedings.science/cbp-2019/papers/icnofosseis-da-formacao-cabeças--devoniano-da-bacia-do-parnaiba?lang=pt-br>. Acesso em: 04 jan. 2022.
- Caputo M.V. 1984. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of Northern Basins of Brazil*. PhD Theses, University of California, Santa Barbara, 583p.
- Caputo M.V. & Reis D. E. S. 2006. Discordância glacial na Formação Cabeças (margem Oeste da Bacia do Parnaíba). In: SBG, 43º Congresso Brasileiro de Geologia, *Anais*[...]. Aracajú-SE, p. 279.
- Caputo M.V. & Ponciano L.C.M. de O. 2013. Pavimento Estriado de Calembre, Brejo do Piauí. Registro de geleiras continentais há 360 milhões de anos no Nordeste do Brasil (SIGEP 052). In: Winge M. et al. (org.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília,DF, CPRM/SIGEP. v. III, p. 163-174.
- Carvalho R.R. 2010. *Origem e proveniência da sequência siliciclástica inferior da Bacia de Jatobá*. MS Dissertation, PPGEOC, Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 101 p.
- Cavalcante L.C.D. 2013. Parna Sete Cidades, Piauí, Brasil: biodiversidade, arqueologia e conservação de arte rupestre. *Mneme – Revista de Arqueologia*, **14** (32): 1-22.
- Choquette P.W. & Pray L.C. 1970. *Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates*. [S.l.], AAPG Bulletin, p. 207-250.

- Coutinho R. 1997. *Enigmas de Sete Cidades*. Ideal, Piripiri, 78 p.
- De Ros L.F. & Moraes M.A.S. 1984. Sequência diagenética em arenitos, uma discussão inicial. *In: SBG, 33º Congresso Brasileiro de Geologia*. Rio de Janeiro. *Anais[...]*. p. 894-904.
- Della Fávera J.C. 1982. Reconhecimento de novas fácies e ambientes deposicionais na Bacia do Paranaíba. *In: SBG, 31º Congresso Brasileiro de Geologia, Comburú, Anais[...]*. p. 356-357.
- Della Fávera J.C. 1990. *Tempestitos na Bacia do Parnaíba*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 560 p.
- Della Fávera J.C. 1999. Parque Nacional de Sete Cidades, PI: magnífico monumento natural. *In: Schobbenhaus C., Campos D.A., Queiroz E.T., Winge M., Berbert-Born M. (eds.). Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet em 01/07/1999 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio025/sitio025.htm> [Atualmente <http://sigep.cprm.gov.br/sitio025/sitio025.htm>]. Acesso em: 26/08/2021.
- Dickinson W.R. & Suczek C.A. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions: Am. Assoc. *Petroleum Geologists Bull.*, **63**: 2164-2182.
- Dickinson W.R. & Suczek C.A. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **63**(12): 2164-2182.
- Dickinson W.R. 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. *In: Zuffa G. G. (ed.). Provenance of Arenites*. Cosenza, Italy, Springer Science & Business Media. p. 333-361. (North Atlantic Treaty Organization - Advanced Study Institutes (NATO-ASI). Series C, n. 148).
- Dickinson W.R. 1988. Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basins. *In: Kleinspehn K.L. & Paola C. (ed.). New perspectives in basin analysis*. New York, Springer-Verlag, p. 3-25.
- Folk R.L. 1968. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Hemphill's, The Univ. of Texas, 172p.
- Fonseca V.M.M., Fernandes A.C.S., Silva C.F, Scheffler S.M. 2010. Crinóides da borda leste da Bacia do Parnaíba (Formação Cabeças, Devoniano Médio). *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Ciências Naturais*, **5**(2): 165-173.
- Fortes F.P. 1996. *Geologia de Sete Cidades*. Teresina, Fundação Monsenhor Chaves, 144p.
- França F. 2017. *Sítios arqueológicos do Parque Nacional de Sete Cidades*. (Coleções Ecoexposições). Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/galeria/detalhes/380?eFototeca=1>. Acesso em: 16/12/2021.
- Freitas E.L. 1990. *Análise estratigráfica da sequência Devoniana aflorante na bacia do Para entre as cidades de Picos e Oeruss (P)*. Dissertation, EM-UFOP, Ouro Preto, 175p.
- Góes A.M.O. & Feijó F.J. 1994. *Bacia do Parnaíba*. Rio de Janeiro, Petrobrás, p. 57-67, jan./mar.

- Götze J. & W. Zimmerle. 2000. *Quartz and silica as guide to provenance in sediments and sedimentary rocks*. Stuttgart, 91p. (Contributions to Sedimentary Geology, v. 21).
- Houseknecht D. W. 1987. Assessing the relative importance of compaction processes and cementation to reduction of porosity in sandstones. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, **71**: 633-642.
- Kahn J.S. 1956. The analysis and distribution of the properties of packing in sand-size sediments. *Jour. Geology*, **64**:385-395.
- Kegel W. 1953. *Contribuição para o estudo do Devoniano da Bacia do Parnaíba*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 48 p.
- Lima E. de A.M. & Leite L .F. 1978. *Projeto "Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba". Integração geológico-metalogenética*. Relatório final da etapa m. Recife, CPRM, 16 v.
- Lopes B.S. 2018. *Análise química de pigmentos rupestres do Sítio Ponta da Serra Negra - Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí*. MS Dissertation, Universidade Federal do Piauí, Teresina – Piauí. p. 29-31. ou 31p.
- Magalhães S.M.C. 2011. *A arte rupestre do centro-norte do Piauí: indícios de narrativas icônicas*. PhD Theses, Universidade Federal Fluminense – Niterói. 457p.
- Maignuet M. 1972. *Le modele de grés: problèmes generaux*. Paris, I.G.N. Tome I. e II. 657 p.
- Marshall D.J. 1988. *Cathodoluminescence of geological materials*. Winchester/Mass, Allen & Unwin, 146 p.
- Mcbride E.F. 1989. Quartz cement in sandstones: a review. *Earth-Science Reviews*, **26**: 69-112.
- Melo J.H.G. 1988. The Malvinokaffric Realm in the Devonian of Brazil. In: Mcmillan N.J., Embry A.F., Glass D.J. (eds.). *Devonian of the world*. Calgary, Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, p. 669-703.
- Miall A.D. 1990. *Principles of sedimentary basin analysis*. 2<sup>a</sup> ed. Berlin, [s.n], 668 p.
- Miall A.D. 2000. *Principles of sedimentary basin analysis*. 3<sup>rd</sup> ed. [S.l.], Springer – Verlag. 616 p.
- Owen M.R. 1991. Application of cathodoluminescence to sandstone provenance. In: Barker C. E., Burruss R. C., Kopp O.C., Machel H. G., Marshall D. J., Wright P., Colbum H.Y. *Luminescence microscopy and spectroscopy: qualitative and quantitative applications*, SEPM Short Course 25, p. 67–75.
- Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R. 1973. *Sand and sandstone*. New York, Springer-Verlag, 631 p.
- Plummer F. B. 1946. *Bacia do Parnaíba*. Relatório do Conselho Nacional do Petróleo, p. 87-134.

- Ponciano L.C.M.O. 2009. *Tafofacies de Formação Cabeças, Devoniano da Bacia do Parnaíba*. MS Dissertation, Geologia, Programa de Pós-graduação em Geologia, IGEO-UFRI, Rio de Janeiro, 88p.
- Ponciano L.C.M.O. & Della Fávera J.C. 2009. Flood-dominated fluvio-deltaic system: a new depositional model for the Devonian Cabeças Formation, Parnaíba Basin, Piauí, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, (84):769-780.
- Ramseyer K., Baumann J., Matter A., Mullis J. 1988. Cathodoluminescence colours of fiquartz. *Mineralogical Magazine*, **52**(368): 669–77.
- Remus M.V.D., Souza R. S., Cupertino J. A., De Ros L. F., Dani N., Lelarge V. M. L. 2008. Proveniência sedimentar, métodos e técnicas analíticas aplicadas. *Revista Brasileira de Geociência*, **38** (2): 166-185.
- Ribeiro J.F. & Walter B.M.T. 1998. *Fitofisionomias do bioma cerrado: cerrado ambiente e flora*. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, cap. 3. p. 90-166.
- Rivas M.P. (coord). 1996. *Macrozoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do rio Parnaíba*. Rio de Janeiro, IBGE, 111 p.
- Santos J.C. 2001. *Quadro geomorfológico do Parque Nacional de Sete Cidades-PI*. MS Dissertation, Geografia, Florianópolis, 118p.
- Tucker M.E. 1991. *Sedimentary petrology - an introduction to the origin of sedimentary rocks*. 2 ed. New York, Ed. John, Wiley and Sons, 252p.
- Vaz P.T. *et al.* 2007. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, **15** (2): 253-263.
- Walker R.T. 1976. Diagenetic origin of continental red beds. *In: Falke H. The Continental Permian in Central, West, and South Europe*. [S.l.], NATO Advanced Study Institute, p. 240-282.
- Young C.G.K. 2006. *Estratigrafia de alta resolução da Formação Pimenteira (Devoniano, bacia do Parnaíba)*. MS Dissertation, Geologia, IGEO UFRJ, Rio de Janeiro, 174p.
- Zinkernagel U. 1978. *Cathodoluminescence of quartz and its application to sandstone petrology*. Stuttgart, p.1-69. (Contributions to Sedimentology, v.8).