



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

ISRAEL SALLES NOGUEIRA
VICTOR SAULO MOREIRA

MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA BACIA DE ALAGOINHA DO PIAUÍ E
OCORRÊNCIAS MINERAIS ASSOCIADAS, PIAUÍ - BRASIL

FORTALEZA

2021

ISRAEL SALLES NOGUEIRA
VICTOR SAULO MOREIRA

MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA BACIA DE ALAGOINHA DO PIAUÍ E
OCORRÊNCIAS MINERAIS ASSOCIADAS, PIAUÍ - BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Roberto Bacelar Hunh.

Coorientador: Prof. Dr. Christiano Magini.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Biblioteca Central do Campus do Pici Prof. Francisco José de Abreu Matos
Elaborada por Patrícia Maria Honório Abreu - CRB-3/1439

- N712m Nogueira, Israel Salles.
Mapeamento geológico da Bacia de Alagoinha do Piauí e ocorrências minerais associadas, Piauí - Brasil / Israel Salles Nogueira, Victor Saulo Moreira. – 2021.
90 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Geologia, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Sergio Roberto Bacelar Hunh.
Coorientação: Prof. Dr. Christiano Magini.
1. Bacias transicionais. 2. Província Borborema. 3. Mapeamento geológico. I. Moreira, Victor Saulo. II. Título.

ISRAEL SALLES NOGUEIRA
VICTOR SAULO MOREIRA

MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA BACIA DE ALAGOINHA DO PIAUÍ E
OCORRÊNCIAS MINERAIS ASSOCIADAS, PIAUÍ - BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Programa de Graduação em Geologia da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Geologia.

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sergio Roberto Bacelar Hunh (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Sebastián González Chiozza
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Haroldo Monteiro Lima
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

A Deus,
Aos nossos pais,
Aos nossos professores,
Aos nossos amigos.

AGRADECIMENTOS - DUPLA

Agradecemos primeiramente a Deus.

Agradecemos ao nosso orientador, Professor Sergio Roberto Barcelar Huhn, por compartilhar todos os ensinamentos, ter paciência e disposição durante a nossa caminhada acadêmica e, principalmente, durante a realização deste trabalho. Ao nosso coorientador, Professor Christiano Magini, pelos ensinamentos, por estar sempre disponível para ajudar, inclusive por ambos terem sido bastante solícitos a ir a campo mesmo em época de pandemia da Covid-19.

Agradecemos também a todos os professores que nos ajudaram a crescer e amadurecer durante o período de graduação.

Agradecemos os servidores do DEGEO que contribuíram indiretamente para a nossa formação.

Queremos agradecer aos nossos colegas de turmas que foram indispensáveis para vencermos a rotina cansativa e pesada, sempre nos alegrando com as brincadeiras em viagens de campo e no dia a dia.

AGRADECIMENTOS – ISRAEL

Eu, Israel Salles Nogueira, gostaria de agradecer primeiramente a minha família, em especial minha mãe, que sempre esteve ao meu lado acreditando no meu potencial até quando eu mesmo não acreditava. Também gostaria de agradecer ao meu irmão Isaias, pelo companheirismo e as brincadeiras que alegraram essa longa caminhada. Por fim, gostaria de agradecer ao meu finado pai, Vicente Nogueira Filho, e a minha finada irmã, Angela Salles Nogueira, pois tenho plena convicção de que estão torcendo por mim de onde estiverem, essa vitória também dedico a vocês.

Agradeço a todas as maravilhosas pessoas que tive a honra de conhecer ao longo dessa aventura. Impossível mencionar nominalmente todos, mas gostaria de agradecer a todos os camaradas do Laboratório de Geomorfologia do curso de Geografia da UFC (LAGECO), em especial ao Felipe, Henrique, Pedro, Eliomara e Weider, e, aos companheiros das várias entidades por onde passei (CA, Geocapta, SEG, Grupo de Espeleologia), todos vocês somaram nesta conquista.

Gostaria também de agradecer a CPRM-REFO pela oportunidade de estágio. Foram de longe os dois maiores anos de aprendizagem que tive ao longo desta graduação. Gostaria de agradecer em especial aos Geólogos e amigos Luís Carlos Bastos Freitas, Cláudio César Aguiar Cajazeira e Juliana Goncalves Rodrigues.

Também gostaria de agradecer ao Professor Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo e ao Professor Dr. Sebastián González Chiozza pelas oportunidades de aprendizagem extracurriculares. Sou muito grato aos senhores.

Dentre todos esses, me sinto na obrigação de agradecer especialmente a minha Geofamília, minha querida panelinha: Antônio Daniel, Matheus Edson, Débora Élide, Maynara Paula, Gisele dos Santos, Igor Moreira e Iago Silva. Eu serei eternamente grato ao destino por ter colocado vocês na minha vida.

Quero agradecer também à “geopanela da mesa do seu Diniz” (Dakson, Dhiego, Eduardo, Luiz Joca, Mateus Hcristos, Matheus Edson, Samuel e Victor Saulo).

Deixo registrado meus agradecimentos a todos os colegas que tive ao longo dessa graduação, em especial, Chrissandro Marques e Josefa Deidyane.

Por fim, agradeço a minha dupla de TCC, Saulo Moreira, pela camaradagem e auxílio nesta última labuta, sua alegria e entusiasmo tornaram a caminhada incrível.

AGRADECIMENTOS – SAULO

Eu, Victor Saulo Moreira, agradeço aos meus pais, Elionizio Moreira e Maria Lislane, que sempre batalharam para me dar educação e não mediram esforços para me tornar um cidadão com princípios estabelecidos graças à educação recebida. Agradeço aos meus irmãos, Rafael Lucas e Lohanne Vanessa, pelo companheirismo.

Aos meus amigos, Matheus Edson e Dakson Silva, que estudaram comigo ainda no maternal e Deus nos uniu novamente, agora como alunos da mesma turma de Geologia e parceiros de profissão.

Agradeço às instituições do DEGEO pelas quais passei, pois contribuíram para minha formação profissional: Geocapta e SEG. Gostaria de agradecer aos meus professores, com os quais tive a oportunidade de trabalhar: professor Dr. Daniel Rodrigues, do qual fui bolsista de monitoria, e professor Dr. Wellington Ferreira, do qual fui bolsista do projeto de extensão Terra em Movimento.

Quero agradecer também à “geopanela da mesa do seu Diniz”: Dakson, Dhiego, Eduardo, Israel, Luiz Joca, Mateus Hcristos, Matheus Edson e Samuel. Além desses gostaria de agradecer a outros companheiros do curso que me ajudaram nessa caminhada: Maynara, Deidyane, Débora, Igor e Rafael Medeiros.

Por fim, agradeço ao meu amigo Israel, meu parceiro de graduação e agora de TCC, foram muitos momentos engraçados graças a sua alegria e espontaneidade.

“Não sei onde eu to indo, mas sei que eu to no meu caminho.”

(Raul Seixas).

“I Was Taught That the Way of Progress is Neither Swift nor Easy.”

(Marie Curie).

RESUMO

A crescente demanda por minérios de cobre e ferro, fomentada pelo crescimento da produção de carros elétricos e associada ao crescimento contínuo do mercado asiático, torna a procura por esses minérios ainda maior, elevando o valor dessas commodities. Portanto, visando suprir a demanda do mercado, faz-se necessária a realização de mapeamentos geológicos em áreas que apresentem um ambiente geológico propício para ocorrência e acúmulo desses minérios. O presente trabalho consistiu em um mapeamento em escala de semi-detalle de 1:40.000 na bacia, denominada neste trabalho, de Alagoinha do Piauí – Piauí, Brasil. Este trabalho teve como objetivo a caracterização da bacia e suas relações de contato com o embasamento, bem como mapear e caracterizar ocorrências minerais presentes na região. Para atingir os objetivos listados foram realizadas diversas etapas, sendo a etapa de pré-campo composta por confecções de mapas preliminares e levantamentos bibliográficos, em que foram consultados artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso e bases cartográficas. A etapa de campo consistiu na ida de uma equipe a campo com intuito de analisar afloramentos, coletar amostras e medidas estruturais, para que na etapa pós-campo fossem realizados tratamentos dos dados coletados e compilação desses, visando a confecção de um relatório. Foram mapeadas duas calhas da Bacia de Alagoinha do Piauí com orientação E-W, com a calha mais a NE sendo parcialmente coberta pelo Grupo Serra Grande. A bacia é composta essencialmente por conglomerados polimíticos mal selecionados e majoritariamente clastossuportados com matriz arenítica de composição predominante de quartzo. A fonte dos clastos é vinda do Grupo Orós, tal grupo é composto por duas litologias, sendo essas o ortognaisse e rochas metavulcânicas. As principais alterações hidrotermais da área estão relacionadas ao Grupo Orós com presença de k-feldspatização, silicificação, epidotização. Foram mapeadas ocorrências de malaquita, calcopirita, hematita e magnetita, como também foi identificada uma importante zona de cisalhamento na área (ZC Alagoinha). Por fim, este trabalho concluiu uma sequência de mapeamentos das bacias de transição do extremo leste do Piauí. A Bacia de Alagoinha do Piauí tem sua geometria influenciada pela zona de cisalhamento Alagoinha e as ocorrências minerais existentes não estão concentradas nas calhas, mas sim nas rochas do embasamento, sendo aquelas principalmente associadas a estruturas da importante ZC dextral que aloja corpos de magnetita ao longo da zona, bem como ocorrência de hematita e calcopirita e malaquita.

Palavras-chave: bacias transicionais; Província Borborema; mapeamento geológico.

ABSTRACT

The growing demand for copper and iron ores, fueled by the growth in the production of electric cars and associated with the continuous growth of the Asian market, makes the demand for these ores even greater, raising the value of these commodities. Therefore, in order to meet the market demand, it is necessary to carry out geological mapping in areas that present a suitable geological environment for the occurrence and accumulation of these ores. The present work consisted of a semi-detail scale mapping of 1:40,000 in the basin, called in this work, Alagoinha do Piauí – Piauí, Brazil. This work aimed to characterize the basin and its contact relationships with the basement, as well as to map and characterize mineral occurrences present in the region. In order to achieve the listed objectives, several stages were carried out, the pre-field stage being composed of preliminary maps and bibliographic surveys, where scientific articles, course conclusion works and cartographic bases were consulted, the field stage consisted of the a team in the field with the aim of analyzing outcrops, collecting samples and collecting structural measures, so that in the post-field stage, treatments of the collected data were carried out and their compilation, aiming at the preparation of this report. Two gutters of the Alagoinha do Piauí Basin with EW orientation were mapped, with the gutter more to the NE being partially covered by the Serra Grande Group, the basin is composed essentially by poorly selected polymictic conglomerates and mostly clast supported with a sandstone matrix of predominant quartz composition, the source of the clasts comes from the Orós Group, this group is composed of two lithologies, these being the orthogneiss and metavolcanic rocks, the main hydrothermal alterations in the area are related to the Orós Group with the presence of k-feldspatization, silicification, epidotization. Occurrences were mapped of malachite, chalcopyrite, hematite and magnetite, an important shear zone was also identified in the area (ZC Alagoinha). Finally, this work concluded a sequence of mappings of the transition basins of the extreme east of Piauí, the Alagoinha do Piauí Basin has its geometry influenced by the Alagoinha ZC, the existing mineral occurrences are not concentrated in the gutters but in the basement rocks, mainly associated with structures of the important dextral shear zone that houses magnetite bodies along the zone, as well as the occurrence of hematite and chalcopyrite and malachite.

Keywords: transitional basins; Borborema Province; geological mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Mapa de localização com a rota partindo de Fortaleza – CE em direção a Alagoinha do Piauí –PI	23
Figura 2	– Mapa da Primeira Derivada Vertical, evidenciando uma zona de cisalhamento marcante da região que está em destaque na imagem	27
Figura 3	– Mapa gamaespectométrico demonstrando a relação de Urânio(U), Thorio (Th) e Potássio existente na área de mapeamento	29
Figura 4	– Contexto continental da área investigada	33
Figura 5	– Distribuição das Bacias Transicionais na Província Borborema	38
Figura 6	– Litoestratigrafia da Faixa Orós	42
Figura 7	– (A) Afloramento de ortognaisse em leito de rio, porção mais félsica do Grupo Orós; (B) Dobras de escala métrica afetando ortognaisse com bandas máficas e outras mais félsicas; (C) Veios de quartzo bem cristalizado de escala centimétrica na porção félsica do ortognaisse.....	45
Figura 8	– (A) Ortognaisse com estiramento mineral de fenocristais de K-feldspato; (B) Bandamento gnáissico no aflorando em leito de rio; (C) Augen de K-feldspato bem arredondado demonstrando influência tectônica no por zonas de cisalhamento no Orós	46
Figura 9	– (A) Amostra metavulcânica máfica do grupo orós, com textura afanítica, solo com presença de magnetita; (B) Metavulcânica de matriz afanítica com presença de veio de quartzo; (C) Amostra de mão de uma rocha metabásica vulcânica de matriz afanítica com fenocristais de quartzo e veio do mesmo; (D) Amostra de metavulcânica do Orós com presença de calcopirita visível preenchendo fraturas	47

Figura 10	– (A) Seixo de hematita presente em afloramento de conglomerado da bacia; (B) Bloco rolado de conglomerado com seixos angulares de escala centimétrica e decimétrica, clastos de ortognaisse do grupo orós; (C) Afloramento demonstrando uma camada conglomerática em contato com uma camada arenítica da bacia de Alagoinha do Piauí, em destaque tem-se um clasto de quartzo angular, de escala centimétrica na matriz arenítica	49
Figura 11	– Conglomerado polimítico com clastos angulares de escala centimétrica a decimétrica, clastos que variam de metasiltitos a ortognaises do grupo orós, ao lado esquerdo da imagem é possível ver uma granulometria menor	50
Figura 12	– Amostra da bacia com clastos angulares de ortognaisse de escala centimétrica envoltos por uma matriz arenítica	50
Figura 13	– (A) Afloramento em lajedo do Grupo Serra Grande, a seta em destaque indica o <i>S0</i> do grupo; (B) Camada conglomerática em contato com uma camada arenítica em um bloco do Grupo Serra Grande	51
Figura 14	– Fotomicrografias do ortognaisse do Grupo Orós. (A) Alanita com bordas de reação, biotitas sem orientação preferencial dispersas na matriz. (B) Porfiroclastos de anfibólio e plagioclásio em uma matriz de quartzo recristalizado. (C) e (D), do ortognaisse do Orós, exibem cristais de quartzo, apatita, hornblenda, titanita, zircão e opacos a nicóis paralelos e cruzados respectivamente	53
Figura 15	– Fotomicrografias da rocha metavulcânica do Grupo Orós. (A) Fotomicrografia em luz natural da neoformação do epidoto a partir da borda do porfiroclasto de hornblenda. (B) Fotomicrografia em luz natural dos minerais opacos dispersos na matriz juntamente com a biotita, entre os porfiroclastos de KF	54

Figura 16	– (A) Fotomicrografia em luz natural do clasto de arenito presente no conglomerado com mineralogia composta principalmente por quartzo, KF e minerais opacos. (B) Fotomicrografia em luz natural do clasto de siltito presente no conglomerado, com veios de quartzo e minerais opacos dispersos por toda lâmina. As fotomicrografias (A) e (B) exibem respectivamente a nicois paralelos e cruzados malaquita e opacos preenchendo veio, além de cristais de quartzo, plagioclásio, k-feldspato, sericita e opacos	55
Figura 17	– Mapa estrutural regional da área de estudo	56
Figura 18	– Síntese do quadro estrutural da área de Alagoinha do Piauí	57
Figura 19	Estereograma de Rede de Schmidt, utilizando 22 medidas, representando os planos (A) e os polos (B) de foliação das rochas do embasamento da bacia de Alagoinha do Piauí	58
Figura 20	– Polos plotados em estereograma demonstrando uma grande variação das direções de mergulho	59
Figura 21	– (A) Afloramento em leito de rio de rocha ortognaissica do Grupo Orós com dobramento de sinemática dextral; (B) Augen de fenocristal de K-feldspato no ortognaisse envolto por uma sinemática dextral	60
Figura 22	– Roseta demonstrando as orientações das fraturas	61
Figura 23	– Roseta demonstrando o sentido dos mergulhos do S0, mostrando forte orientação NE	62
Figura 24	– Fraturas recortando as litologias (A) bandamento do ortognaisse; (B) Metavulcânica; (C) Grupo Serra Grande; (D) conglomerado da Bacia de Alagoinha do Piauí	63
Figura 25	– Ortognaisse do Grupo Orós com presença de veios microcristalinos, e recristalização de quartzo na matriz da rocha (UVULA; DIDONÉ, 2019).	65
Figura 26	– (A) Amostra de mão de rocha metavulcânica do Grupo Orós com veio de quartzo e quartzo de caráter pervasivo. (B) Amostra de mão de stockworks de sílica	66

Figura 27	– Amostra cortada de rocha do Grupo Orós com K-feldspatização e silicificação, preenchimento de fratura por quartzo. Nessa amostra foi encontrado calcopirita que será evidenciada no capítulo de ocorrência mineral.....	67
Figura 28	– Amostra do ortognaisse do Grupo Orós com quartzo e epidoto	68
Figura 29	– (A) Amostra retirada do Grupo Orós com presença de calcopirita e malaquita preenchendo fraturas (em destaque). (B) Calcopirita preenchendo fratura de rocha metavulcânica do Grupo Orós (em destaque)	69
Figura 30	– Amostra da figura 25 e 27(A) após passar por processo de corte evidenciando ainda mais a calcopirita presente	70
Figura 31	– (A) Amostra de mão rica em quartzo e hematita. (B) Seixo de hematita em conglomerado da Bacia de Alagoinha	71
Figura 32	– Brecha hidrotermal com matriz máfica e porfiroclastos de K-feldspato, presença de nódulo de hematita (em destaque)	71
Figura 33	– (A) Amostra em leito de rio com incrustação de magnetita e hematita em sua parede lateral, na imagem temos a caneta magnética demonstrando o magnetismo efetivo da magnetita. (B) Amostra de bloco de magnetitito encontrada na zona de cisalhamento	72
Figura 34	Amostra do magnetitito após corte evidenciando um bandamento metamórfico com presença de magnetita nos bandamentos e preenchendo duas fraturas, além de hematita também presente	73
Figura 35	– Mapa esquemático demonstrando a relação que ocorre entre as bacias transicionais e a geologia estrutural regional	74
Figura 36	– Diagrama representativo das fases evolutivas da área de estudo	76
Figura 37	– Evolução geotectônica da Bacia de Alagoinha do Piauí e seu entorno	77
Figura 38	– Esquema demonstrando como ocorre a gênese do magnetitito e a concentração de ferro ao longo da zona de cisalhamento	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Divisões da organização do trabalho	25
Tabela 2 – APÊNDICE D: TABELA DE PONTOS	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aln	Alanita
Anf	Anfibólio
Bt	Biotita
Cpy	Calcopirita
Ep	Epidoto
Hem	Hematita
KF	Feldspato Potássico
Mlq	Malaquita
Opc	Opacos
Py	Pirita
Qz	Quartzo
Ser	Sericita
ZC	Zona de Cisalhamento
N	Norte
S	Sul
E	Leste
W	Oeste
NE	Nordeste
NW	Noroeste
SE	Sudeste
SW	Sudoeste

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Apresentação	21
1.2	Justificativa	21
1.3	Objetivos	22
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	22
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	22
1.4	Localização e Acesso	22
1.5	Aspectos Fisiográficos	23
<i>1.5.1</i>	<i>Clima</i>	23
<i>1.5.2</i>	<i>Solo e Vegetação</i>	23
<i>1.5.3</i>	<i>Geomorfologia</i>	24
<i>1.5.4</i>	<i>Recursos hídricos</i>	24
1.6	Material e Métodos	24
<i>1.6.1</i>	<i>Pré-Campo</i>	25
<i>1.6.1.1</i>	<i>Levantamento Bibliográfico</i>	25
<i>1.6.1.2</i>	<i>Aquisição de dados e confecção de mapa pré-campo</i>	25
<i>1.6.1.3</i>	<i>Confecção de Mapas Aeromagnetométrico e Gamaespectométrico</i>	26
<i>1.6.2</i>	<i>Etapas de Campo</i>	29
<i>1.6.3</i>	<i>Etapas Pós-Campo</i>	30
<i>1.6.3.1</i>	<i>Análise Petrográfica</i>	30
<i>1.6.3.2</i>	<i>Integração dos Dados</i>	30
2	CARACTERÍSTICAS DO DEPÓSITO DO TIPO IOCG	30
3	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	32
3.1	Província Borborema	32
3.2	Compartimentação Tectônica da Província Borborema	34
<i>3.2.1</i>	<i>Domínio Médio Coreaú (DMC)</i>	34
<i>3.2.2</i>	<i>Domínio Ceará Central (DCC)</i>	35
<i>3.2.3</i>	<i>Domínio Rio Grande do Norte (DRGN)</i>	36
<i>3.2.4</i>	<i>Domínio da Zona Transversal (DZT)</i>	36
<i>3.2.5</i>	<i>Domínio Meridional (DM)</i>	36
3.3	Bacias Transicionais	37

3.3.1	<i>Bacia de Jaibaras</i>	39
3.3.2	<i>Bacia do Cococi</i>	39
3.3.3	<i>Bacia do Parnaíba</i>	39
3.4	Sistema Orós-Jaguaribe	40
3.4.1	<i>Embasamento</i>	40
3.4.2	<i>Faixa Orós</i>	40
3.4.3	<i>Faixa Jaguaribe</i>	42
3.4.4	<i>Deformações e Metamorfismo</i>	42
4	GEOLOGIA LOCAL	43
4.1	Litoestratigrafia	44
4.1.1	Grupo Orós (Paleo - Mesoproterozóico)	44
4.1.1.1	<i>Ortognaisse</i>	44
4.1.1.2	<i>Metavulcânica</i>	46
4.1.2	Bacia de Alagoinha do Piauí (Cambriano)	48
4.1.2.1	<i>Conglomerado</i>	48
4.1.3	Bacia do Parnaíba – Grupo Serra Grande (Siluriano)	50
4.2	Petrografia	51
4.2.1	Petrografia do Grupo Orós	52
4.2.1.1	<i>Ortognaisse</i>	52
4.2.1.2	<i>Metavulcânica</i>	53
4.2.2	Petrografia da Bacia de Alagoinha do Piauí	54
4.2.2.1	<i>Conglomerado</i>	54
5	GEOLOGIA ESTRUTURAL	55
5.1	Contexto Geológico-Estrutural Local	57
5.1.1	Regime Dúctil (Estruturas D_n)	58
5.1.2	Regime Rúptil (Estruturas D_{n+1})	60
5.1.2.1	<i>Fraturas</i>	60
5.1.2.2	<i>S₀</i>	61
6	ALTERAÇÕES HIDROTERMAIS	63
6.1	Tipos de Alterações	64
6.1.1	Silicificação	65
6.1.2	K-Feldspatização	66
6.1.3	Epidotização	67

6.2	Ocorrências Minerais	68
6.2.1	<i>Cobre</i>	69
6.2.2	<i>Ferro</i>	70
6.2.2.1	<i>Hematita</i>	70
6.2.2.2	<i>Magnetita</i>	72
7	DISCUSSÕES	73
7.1	Condicionante estrutural das bacias de transição da região	73
7.2	Evolução Geotectônica da Área	75
7.3	Formação da Bacia de Alagoinha	76
7.4	Evolução do Magnetitito	77
8	CONCLUSÕES	79
	REFERÊNCIAS	80
	APÊNDICE A – MAPA GEOLÓGICO	85
	APÊNDICE B – MAPA DE PONTOS	87
	APÊNDICE C – MODELO GEOLÓGICO 3D	89
	APÊNDICE D – TABELA DE PONTOS	90

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Os estudos geológicos em uma região constituem um papel primordial na prospecção do potencial de minérios para extração de bens minerais economicamente viáveis. O trabalho foi embasado no mapeamento geológico integrado a dados geofísicos e sensoriamento remoto, objetivando determinar o potencial geológico da região.

O presente trabalho está localizado no município de Alagoinha do Piauí. A bacia está localizada a sudoeste do Sistema Orós Jaguaribe e insere-se no contexto das bacias do estágio de transição do domínio setentrional da Província Borborema (PARENTE; ARTHAUD; MICHEL, 2004).

A bacia, que neste trabalho será chamada de Bacia de Alagoinha do Piauí, já possuía descrição em escala regional devido a mapeamentos que cobriram a área de estudo (VERISSIMO *et al.* 2014; VIRGENS NETO, 2015). Todavia existia uma carência de descrição e caracterização em detalhe dessa bacia em relações as demais bacias que ocorrem na região e já foram devidamente mapeadas (MEDEIROS e PAULA, 2019; UVULA e DIDONÉ, 2019; SARAIVA e RODRIGUES, 2018).

1.2 Justificativa

A área de estudo encontra-se em um contexto geológico com potencial para depósitos de Cu e Fe, associadas a bacias de transição do Cambriano. As demais bacias próximas na região de mapeamento já foram avaliadas anteriormente por empresas e por alunos em trabalho de conclusão de curso como uma área propensa a ser explorada.

O cobre e o ferro tiveram um aumento no seu valor econômico, provocado pela demanda crescente de “carros elétricos”, bem como pelo crescimento econômico do mercado asiático, o que levou a uma maior procura por áreas propensas à ocorrência desses minérios. Desta forma, a produção de um mapa geológico de maior escala da área de interesse, proporcionará o conhecimento em detalhe da geologia local e servirá como base para qualquer atividade de pesquisa mineral, contribuindo com o setor mineral do país.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O presente trabalho consiste no mapeamento geológico de semi-detalle, em escala 1:40.000, de uma área de aproximadamente 155 Km² localizada no município de Alagoinha do Piauí, com foco na caracterização detalhada dos limites da bacia, suas litologias e ocorrências minerais, com ênfase no estudo das alterações hidrotermais, ocorrências de cobre e ferro e suas possíveis associações com depósitos do tipo IOCG (Iron Oxide-Copper-Gold), como cumprimento da atividade de Trabalho de Conclusão de Curso, requisito curricular para obtenção do título de Bacharel em Geologia pela Universidade Federal do Ceará.

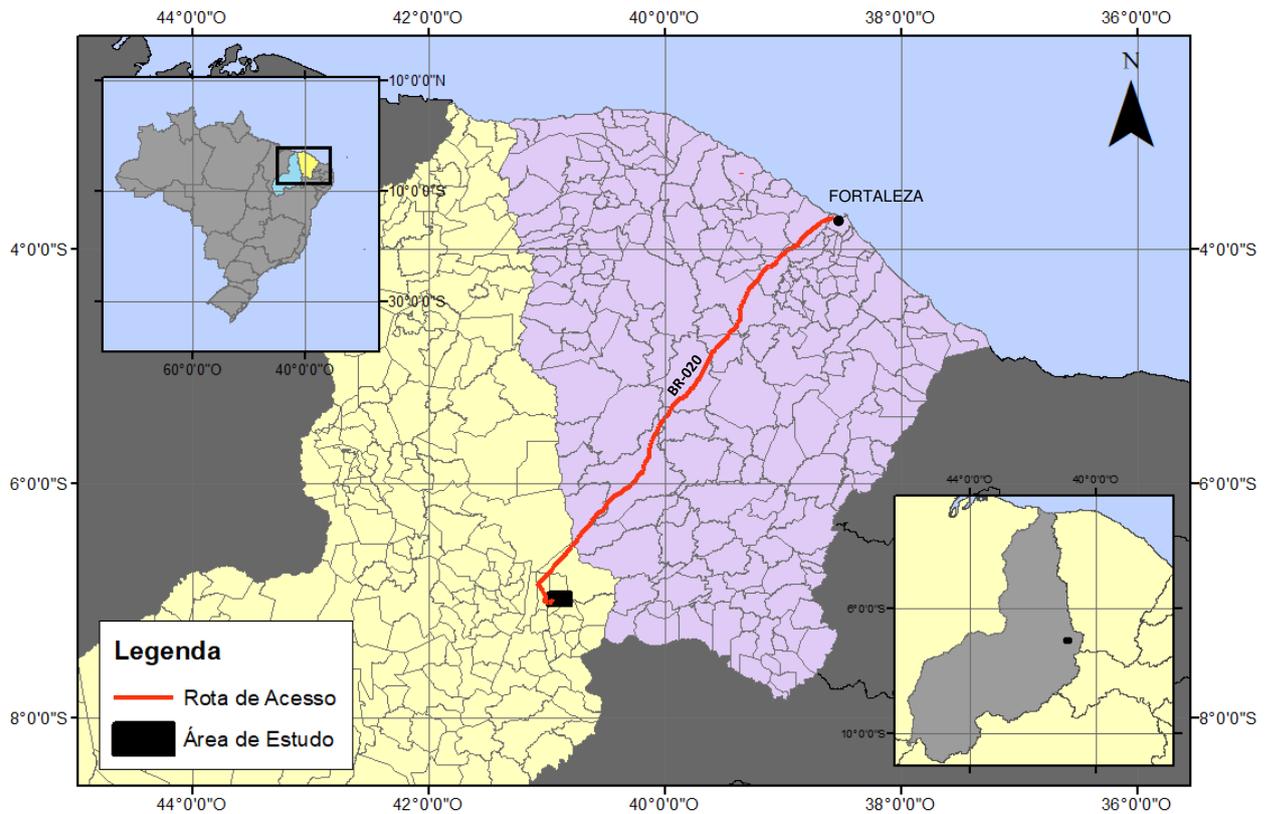
1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterização litológica e estrutural das unidades e suas relações de contato;
- Delimitação em escala de semi-detalle dos limites da bacia;
- Caracterização das diferentes tipologias de mineralizações e das alterações hidrotermais associadas;
- Caracterização da gênese do minério e sua evolução metalogenética;
- Confecção de mapa geológico da área, evidenciando ocorrências minerais;
- Caracterização da geologia estrutural e as bacias transicionais do extremo leste do Piauí.

1.4. Localização e Acesso

A área de estudo está contida em duas Folhas geológicas, sendo Folha Fronteiras (SB.24-Y-C-III) e Folha Pio IX (SB.24-Y-A-VI), e abrange uma área total de aproximadamente 155 Km². A região está inserida no município de Alagoinha do Piauí, situada no extremo leste do estado do Piauí (Figura 1), estando localizada a cerca de 500 km de Fortaleza, Ceará. O acesso à sede do município de Alagoinha do Piauí, partindo de Fortaleza, pode ser feito através da rodovia BR-020 por cerca de 467 Km, passando pelas cidades de Canindé, Boa Viagem e Tauá, em seguida vira-se à esquerda na rodovia PI-229 e segue-se nela por cerca de 30 Km, passando pela cidade de Monsenhor Hipólito, e então chegando à cidade de Alagoinha do Piauí.

Figura 1 – Mapa de localização com a rota partindo de Fortaleza – CE em direção a Alagoinha do Piauí – PI.



Fonte: Elaborado pelos autores.

1.5 Aspectos Fisiográficos

1.5.1 Clima

Os municípios de Alagoinha do Piauí e Pio IX estão situados na região extremo leste do Estado do Piauí, possuindo respectivamente uma área de 553,15 Km² e 1947,19 Km². Estão inseridos na região do polígono das secas, caracterizado por extensos períodos secos que variam de sete a oito meses, tendo seu clima como tropical semiárido (FUNDAÇÃO CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ, 1990).

1.5.2 Solo e Vegetação

Os solos que compõem a extensão dos municípios de Alagoinha do Piauí e Pio IX são do tipo latossolos vermelho-amarelo distróficos, associados a solos litólicos e podzólicos vermelho-amarelo equivalente eutróficos (FUNDAÇÃO CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ, 1990).

1.5.3 Geomorfologia

Segundo Jacomine *et al.* (1986), as formas de relevo da região são compostas por superfícies tabulares reelaboradas (chapadas baixas), relevo plano com partes suavemente onduladas e altitudes variando de 150 a 300 metros; superfícies tabulares cimeiras (chapadas altas), com relevo plano, altitudes entre 400 a 500 metros, com grandes mesas recortadas e superfícies onduladas com relevo movimentado, encostas e prolongamentos residuais de chapadas, desníveis e encostas mais acentuadas de vales, elevações (serras, morros e colinas), com altitudes de 150 a 500 metros.

1.5.4 Recursos hídricos

Os recursos hídricos superficiais gerados no estado do Piauí estão representados pela bacia hidrográfica do rio Parnaíba, no município de Pio IX, sendo os principais cursos d'água que drenam o município os rios Riachão, Maçal, Mercador e Salamanca (AGUIAR; GOMES, 2004a). Já no município de Alagoinha do Piauí, são os riachos Riachão, Salamanca e São José (AGUIAR; GOMES, 2004b).

Quando analisados os recursos hídricos superficiais, o município de Pio IX apresenta três domínios hidrogeológicos, sendo eles: rochas cristalinas, correspondendo a cerca de 60% da área do município, rochas sedimentares e coberturas detrito-lateríticas (AGUIAR; GOMES, 2004a). Já o município de Alagoinha do Piauí apresenta somente dois domínios hidrogeológicos distintos: rochas cristalinas e rochas sedimentares (AGUIAR; GOMES, 2004b).

1.6 Material e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido com base na metodologia sistematizada em quatro etapas, sendo elas: i) Pré-campo, ii) Campo, iii) Pós-campo e iv) Relatório (tabela 1), que resumidamente consistiram em coleta e compilação de referências bibliográficas e planejamento da obtenção de dados, obtenção de dados de campo e, por último, análise e tratamento dos dados obtidos para a integralização e elaboração deste relatório.

Tabela 1: Divisões da organização do trabalho

Pré-Campo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Levantamento Bibliográfico ▪ Bases Cartográficas ▪ Confecção de Mapas Pré-Campo
Campo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mapeamento Geológico ▪ Coleta de Amostras
Pós-Campo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Integração de dados geológicos ▪ Consulta de acervo de lâminas petrográficas
Relatório	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mapa Geológico de Semi-detalle (1:40.000) e Modelo Geológico 3D ▪ Discussões e Conclusões

Fonte: Elaborado pelos autores.

1.6.1 Pré-Campo

1.6.1.1 Levantamento Bibliográfico

A primeira etapa fundamentou-se em levantamento bibliográfico com a finalidade de obter informações prévias com relação a artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso e mapeamentos regionais realizados nas áreas próximas a nossa área de mapeamento, de forma que poderiam contribuir para nosso estudo. Essa pesquisa incluiu relatórios de graduação, dissertações de mestrado, além de mapeamentos realizados pela CPRM.

1.6.1.2 Aquisição de dados e confecção de mapa pré-campo

Esta etapa consistiu na aquisição de imagens de radar ALOS PALSAR, que possuem uma resolução espacial de 12,5 m, cedidas pela NASA Earth Data através da plataforma ASF (Alaska Satellite Facility), imagens dos sensores orbitais ETM+/Landsat-8, cedidas pelo USGS (United States Geological Survey) através da plataforma Earth Explorer, e imagens obtidas através do software livre Google Earth, utilizadas na delimitação de estradas e construções presentes na área de estudo. Também foram utilizados dados geológicos referentes a Folha Fronteiras (SB.24-Y-C-III) e Folha Pio IX (SB.24-Y-A-VI), no formato shapefile disponibilizados pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil), através da plataforma GeoSBG.

Após a aquisição dos dados, eles foram organizados em plataforma SIG (Sistema de Informações Geográficas), onde as imagens ALOS PALSAR foram tratadas no software Global Mapper 20 e analisadas juntamente com as demais no software ArcMap 10.8 e integradas com dados dos shapefiles para elaboração de mapas pré-campo em escala de 1:50.000.

1.6.1.3 Confeção de Mapas Aeromagnetométrico e Gamaespectrométrico

Ainda na etapa de pré-campo foram utilizadas imagens de aerogeofísica como subsídio para confecção dos mapas de aeromagnetometria e gamaespectrometria da área, de forma a contribuir e nortear o mapeamento realizado.

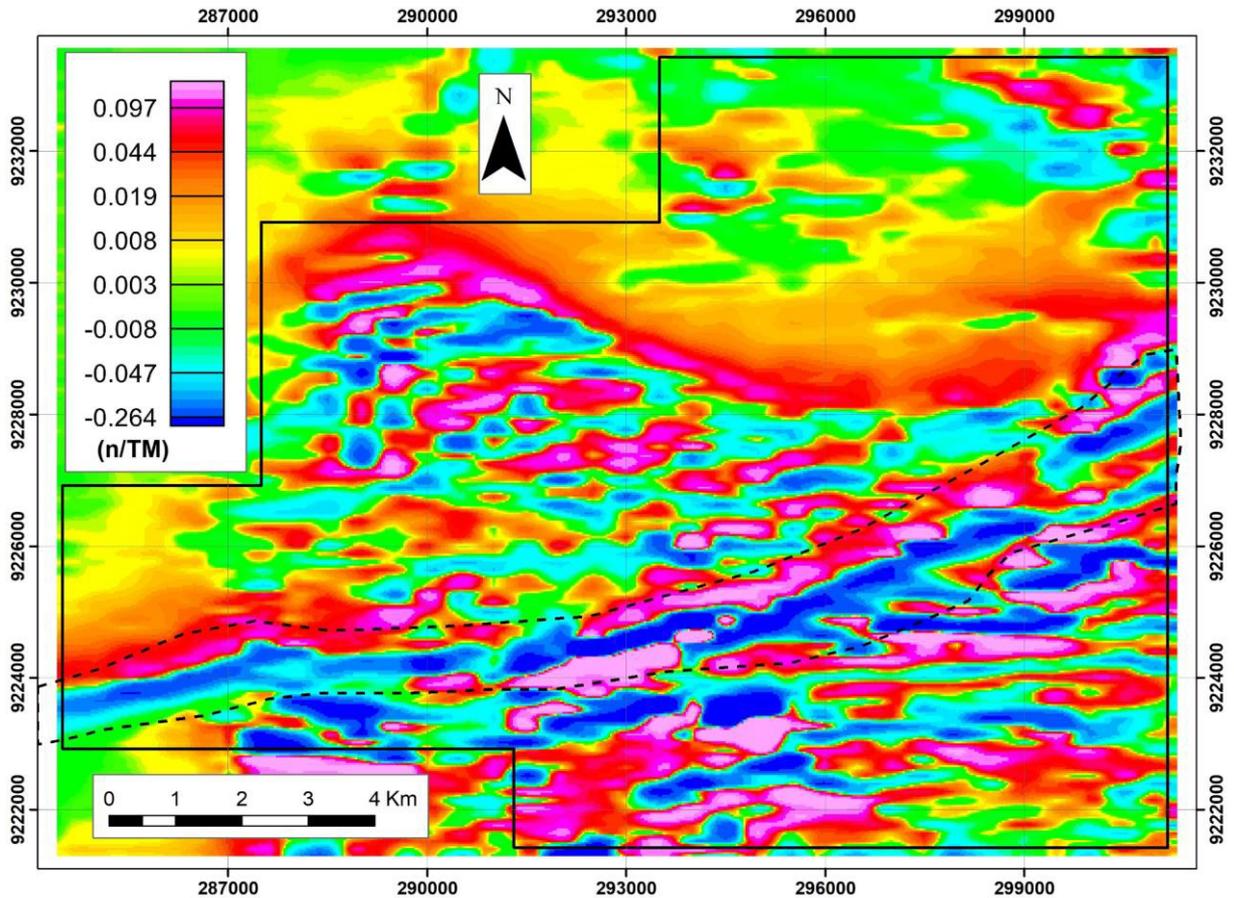
O campo magnético total medido na superfície terrestre reflete, principalmente, o campo geomagnético. Entretanto, também possui contribuição das tempestades magnéticas provenientes dos ventos solares, dos campos gerados pelos dispositivos eletromagnéticos (transformadores, motores) e dos campos gerados pelos materiais em subsuperfície, que em geral são os principais alvos nos levantamentos magnetométricos.

O campo magnético, assim como o gravimétrico, deriva de uma função potencial e pode revelar a existência de diferentes materiais em subsuperfície através do contraste de suas propriedades físicas (BLUM, 1999).

A magnetização, propriedade física que determina os efeitos magnéticos, possui magnitude e direção e depende do efeito produzido pela magnetização induzida (susceptibilidade magnética) e pela magnetização espontânea ou remanescente. A orientação do vetor susceptibilidade magnética reflete o sentido da intensidade de magnetização em relação ao campo geomagnético. Os materiais, de acordo com a orientação do vetor susceptibilidade, apresentam diferentes comportamentos magnéticos: diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo, ferrimagnetismo e antiferrimagnetismo.

A rotina de processamento dos dados aeromagnéticos no software Oasis montaj® envolveu a produção de malhas regulares, com células individuais de 125m, interpoladas bidireccionalmente (grids) a partir dos dados dos perfis no formato .XYZ, obtidos por meio da plataforma GeoSBG/CPRM. A partir do canal MAGIGRF foi produzida a malha do Campo Magnético Anômalo (CMA). Por meio da aplicação de técnicas de filtragem nessa malha, foi gerada a imagem da 1ª Derivada Vertical, posteriormente utilizada para identificar estruturas na área de estudo.

Figura 2: Mapa da Primeira Derivada Vertical, evidenciando uma zona de cisalhamento marcante da região que está em destaque na imagem.



Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com Ribeiro *et al.* (2014), um levantamento gamaespectrômetro mede a contagem total (CT) numa janela energética entre 0,41 e 2,81 Mev, na qual se enquadram, com fotopicos e intervalos característicos, o potássio (K), o urânio (U) e o tório (Th). Vale salientar que o potássio ^{40}K (potássio natural) é monoenergético (1,46 Mev) e representa um percentual fixo (0,012%) do potássio total, pelo que a quantidade deste elemento é estimada, em porcentagem, devido a sua abundância na natureza. Contudo, o urânio e tório não emitem radiação gama e os registros são efetuados por meio dos isótopos de bismuto (^{214}Bi) e tálio (^{208}Tl), respectivamente, cujas concentrações são estimadas em partes por milhão (ppm).

Segundo Minty (1988), a radiação gama no solo é inversamente proporcional a densidade do meio em que atravessa, sendo que qualquer matéria que se apresente entre o emissor e o sensor afetar significativamente a detecção dos raios gama, fazendo com que as medições radiométricas sejam superficiais tendo um alcance médio de 30 a 40cm de profundidade.

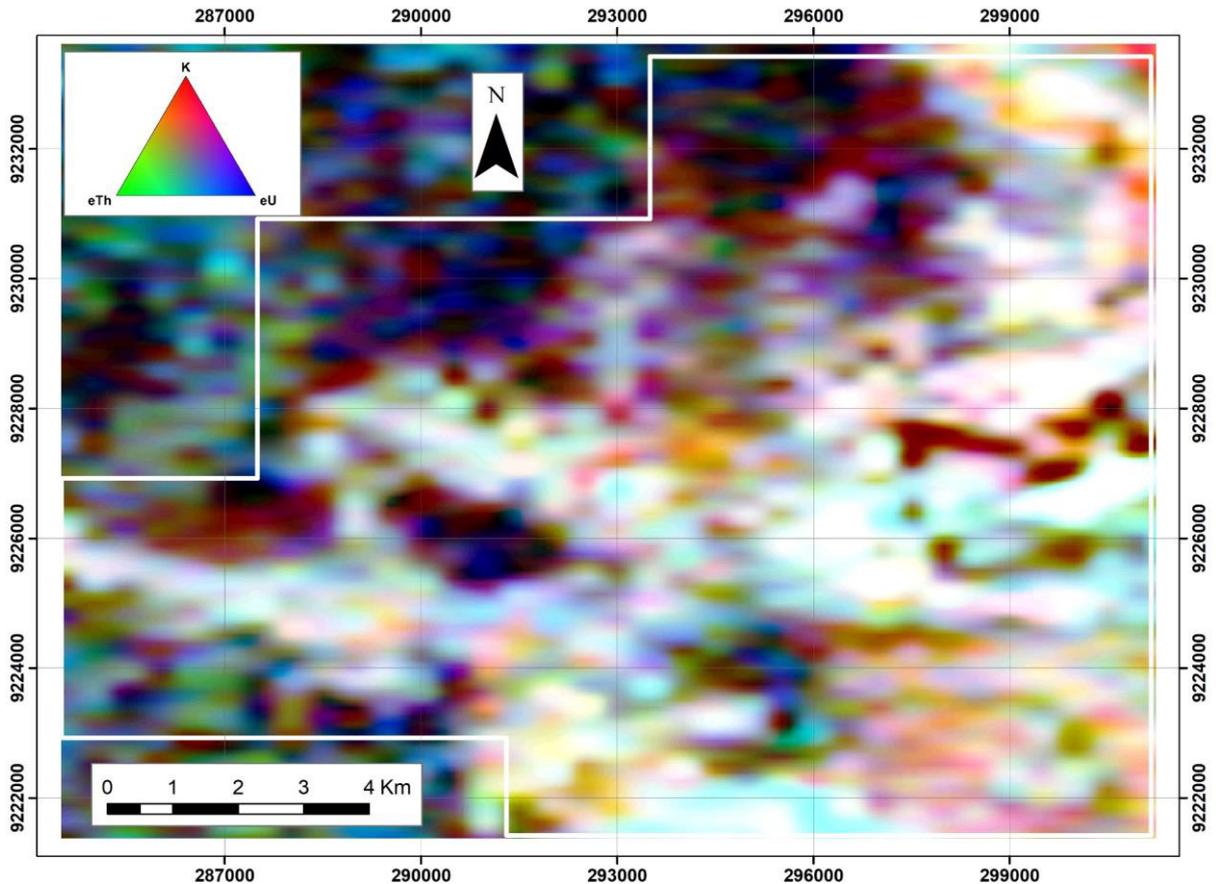
A distribuição de K, U e Th na natureza depende de vários fatores, sendo os principais: relevo; intemperismo; rede de drenagens; clima e regime de chuvas. Dessa forma, é possível para um mesmo tipo de rocha haver diferentes teores radionuclídeos variando de acordo com o relevo e manto de intemperismo.

Os radioelementos podem ser encontrados em concentrações bastante anômalas, configurando depósitos minerais. Em função de sua grande mobilidade, o potássio muitas vezes está associado a alterações hidrotermais, principalmente quando o fluido é proveniente de fontes magmáticas ricas nesse elemento (HOOVER; PIERCE, 1990; DICKSON; SCOTT, 1997; FORNAZZARI NETO; FERREIRA, 2003).

Os dados gamaespectrométricos usados como instrumento no mapeamento geológico são, em essência, mapas coloridos das variáveis básicas acima citadas (CT, K, eU, eTh), em que tonalidades mais frias representam baixos valores e cores mais quentes representam altas valores. Além desse, há os mapas de suas razões (eU/K, eU/ eTh, eTh/K). Outro mapa importante é o ternário, no qual cada cor está vinculada a um radioelemento, usualmente no padrão RGB (Red, Green, Blue). Geralmente a cor vermelha (Red) é associada ao potássio (%), a verde (Green) ao tório equivalente e a azul (Blue) ao urânio equivalente.

Nos mapas ternários, a cor branca representa concentração elevada dos três radioelementos, em contrapartida, a cor preta mostra baixo valores desses elementos. Outro padrão usualmente usado no lugar do RGB é o o padrão CMY (Cyan, Magenta, Yellow).

Figura 3: Mapa gamaespectométrico demonstrando a relação de Urânio(U), Thorio (Th) e Potássio(K) existente na área de mapeamento.



Fonte: Elaborado pelos autores.

1.6.2 Etapa de Campo

Esta etapa consistiu na realização do mapeamento em campo, através de caminhamentos e coleta de amostras para posterior confecção de lâminas petrográficas. Os caminhamentos foram executados de forma a visitar uma maior diversidade litológica e estrutural da área, cortando os maiores lineamentos da região de estudo, sendo possível constatar ocorrências de mineralizações nos mesmos. A etapa de campo foi realizada entre os dias 29 de julho a dia 03 de agosto de 2021.

Para apoiar o mapeamento geológico em campo, foram utilizados martelo petrográfico, marreta, lupa de bolso, caneta magnética, bússolas geológicas (Bruton e Clar), câmera fotográfica e Receptor GPS Garmin eTrex.

1.6.3 Etapas Pós-campo

1.6.3.1 Análise Petrográfica

Por questões estruturais não foi possível a confecção e, por consequência, descrição do material petrográfico oriundo de amostras coletadas neste trabalho. Sendo assim optou-se por recorrer ao acervo bibliográfico disponível nas adjacências da área de estudo.

Foram usadas descrições petrográficas produzidas anteriormente por trabalhos científicos desenvolvidos nas regiões adjacentes à área de mapeamento deste trabalho, realizadas por Uvula e Didone (2019) e Medeiros e Paula (2019).

As lâminas foram confeccionadas no LAMIN (Laboratório de Laminação da UFC) e a descrição feita com o auxílio de microscópios petrográficos disponibilizados pelo DEGEO (Departamento de Geologia - UFC).

1.6.3.2 Integração dos Dados

A etapa de integração dos dados consistiu em tratar os dados adquiridos em campo. Com as medidas das estruturas das litologias foi possível criar rosetas e estereogramas, utilizando o programa Stereonet versão 11.0, no qual foi plotado os polos e os planos das estruturas identificadas em campo. Outro programa utilizado para integrar os dados foi o Leapfrog geo versão 2021.1.3, possibilitando a geração de um modelo 3D da área mapeada. As informações obtidas nas etapas pré-campo, de campo e pós-campo foram utilizadas para a elaboração do presente relatório final e do mapa geológico em escala de semi-detalle de 1:40.000. O mapa geológico foi confeccionado no software ArcMap 10.8.

2 CARACTERÍSTICAS DO DEPÓSITO DO TIPO IOCG

Os depósitos do tipo IOCG não apresentam um modelo propriamente fixo, mas possuem algumas características comuns em seus depósitos, tendo como referência alguns depósitos modelos como o conhecido Olympic Dam na Austrália, o depósito de Salobo em Carajás, entre outros.

Hitzman (2000) inclui na classificação geral de depósitos IOCG os depósitos mineralizados em magnetita-apatita (Tipo Kiruna) e elenca as principais características associadas aos depósitos IOCG, sendo: (i) Ocorrem em rochas do Neoarqueano ao Cenozoico;

ii) São encontrados em três ambientes tectônicos principais, todos caracterizados por intensa atividade magmática e pelas seguintes características: (a) colapso orogênico intracontinental, (b) magmatismo anorogênico intracontinental e (c) ocorrência ao longo de margem continental de subducção; (iii) Associação com atividade ígnea; (iv) Associação com evaporitos; (v) Controle estrutural: estes depósitos (especialmente os ricos em óxido de Fe-Cu-Au) estão localizados ao longo de falhas de baixo ou alto ângulo que geralmente são parte de uma falha de escala crustal/regional; (vi) Morfologia: variando de stratabound a zonas em stockwork/brechas. (vii) Mineralogia: abundância de óxidos de ferro e uma relativa ausência de sulfetos de ferro, incluindo ainda carbonatos e alguns elementos menores (U, Ag, Mo, Co, As, Zn, ETR); (viii) Alterações: ocorre uma intensa alteração nas rochas hospedeiras destes depósitos; (ix) Composição do fluido mineralizante: a formação dos depósitos de magnetita-apatita se dá por fluidos relativamente salinos, oxidados, pobres em sulfetos, com temperatura acima de 250°C, enquanto os mineralizados em óxido de Fe-Cu-Au são formados por reação retrógrada dos fluidos responsáveis pelos depósitos de magnetita-apatita, ou por mistura de fluidos.

Williams *et al.* (2005), forneceu algumas diretrizes empíricas importantes, tais como: (i) presença de Cu, com ou sem Au; (ii) veios hidrotermais, brechas e / ou mineralização de substituição, forte controle estrutural; (iii) óxidos de Fe abundantes (magnetita, hematita); (iv) Os óxidos de Fe têm baixo teor de Ti; (v) uma ausência geral de uma clara associação espacial com intrusões ígneas, com algumas exceções (por exemplo o Olympic Dam).

Devido ao caráter hidrotermal dos depósitos da classe dos IOCG, é notável que estes são dependentes de maneira geral de fluidos salinos, pobres em sulfetos, e relativamente oxidados sendo, portanto, elementos chave na compreensão dos sistemas formadores desses depósitos. No entanto, as fontes destes fluidos, sua forma de interação com as rochas hospedeiras, a fonte de seus metais e trapas presentes podem diferir entre a classe como um todo, como indicam Barton e Johnson (2004). Existem diversos modelos gerados para explicar como se dar a formação desses depósitos, contudo eles tendem a ter algo em comum, que seria a formação de fluidos secundários e tiveram gênese próximo à superfície, que se mistura a um fluido de origem mais profunda, ou ocorrendo como fluido tardio. Gow *et al.* (1994), Haynes *et al.* (1995) e Williams *et al.* (2010) (*apud* BARTON, 2013) afirmam que este fluido secundário é de extrema importância para o desenvolvimento da mineralização do depósito, sendo responsável pela entrada de enxofre e alguns metais para o sistema mineralizador.

Barton e Johnson (2004) e Barton (2013) sintetizaram ainda as alterações hidrotermais recorrentes nesses depósitos e descrevem as seguintes alterações: (1) Alteração

cálcio-sódica: ocorre através da remoção de K e adição de Na e/ou Ca, manifestando-se na formação de silicatos com fase aluminosa e um conjunto de fases máficas cada vez mais ricas em Ca. Na alteração sódica, K e Ca são removidos enquanto albita e clorita são os principais minerais formados, substituindo, respectivamente, feldspatos (\pm muscovita) e minerais máficos. Na alteração cálcica, plagioclásio cálcico, granada ou clinzoisita/epidoto substituem os minerais félsicos, minerais máficos dão lugar a piroxênios cálcicos e titanita é a principal fase rica em Ti. (2) Alteração potássica: ocorre de dois modos distintos, um primeiro tipo é proximal e contém biotita ou K-feldspato tipicamente associados a fases cálcicas ou magnesianas e à introdução de magnetita/hematita \pm Cu/Au, ETR e outros elementos, consistindo de uma assembleia mineralógica de moderada/alta temperatura. Um segundo tipo é caracterizado por assembleia mineral de baixa temperatura que ocorre de maneira generalizada e é comumente regionalmente extensa, tipicamente de caráter stratabound, esta alteração é deficiente em metais e não mostra relação com os corpos de minério, o mineral dominante é o K-feldspato, sendo esta alteração de caráter distal. (3) Alteração ácida (sericitização ou cloritização): marcada especialmente pela presença de sericita com quartzo hidrotermal acessório, esta alteração é restrita em espaço e, tipicamente, ocorre nas imediações da mineralização.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área mapeada no atual trabalho pertence quase que em sua totalidade a província Borborema, todavia o setor noroeste e extremo oeste da área pertence ao contexto da Província Parnaíba (ANGELIM *et al.*, 2004).

3.1 Província Borborema

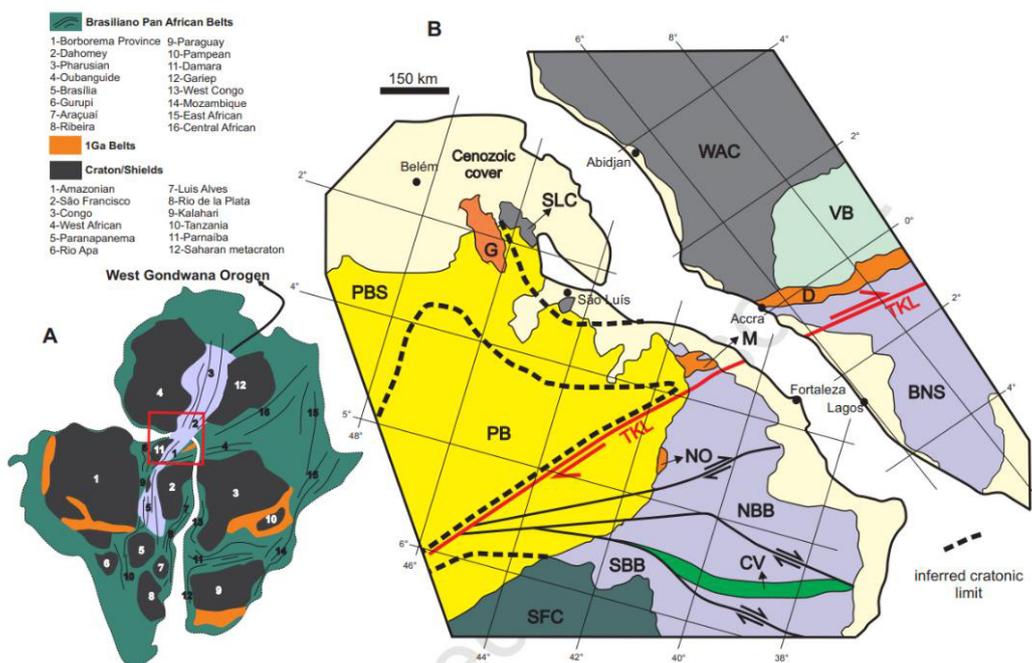
A área a ser estudada está inserida no contexto da Província Borborema que ocupa uma área de aproximadamente 450.000 km², correspondente ao substrato de quase toda Região Nordeste do Brasil (ANGELIM, *et al.*, 2004). Foi definida inicialmente por Almeida *et al.* (1997; 1981), e consiste num complexo sistema em mosaicos formados por blocos por altos do embasamento incluindo distintos sistemas de dobras e um conjunto de maciços que foram submetidos a importantes eventos deformacionais e magmáticos, dentre os quais o mais importante é o ciclo brasileiro, que compreende ao último evento orogênico que acometeu a região.

Atualmente, diversos trabalhos baseados em dados de geológicos, estruturais, e geocronológicos e geofísicos, têm sugerido duas teorias principais como possibilidades para a formação da Província Borborema. Uma, sugere que a Província Borborema já configurava um grande bloco tectônico consolidada desde 2.0 Ga, que veio somente a se deformar durante a Orogénese Brasileira em 600Ma (NEVES *et al.*, 2006). Enquanto que uma segunda teoria sugere a evolução a parti de colagens de diferentes terrenos tectônicos-estratigráficos alóctones, durante ciclos distintos (JARDIM DE SÁ *et al.*, 1992; 1994; VAN SCHMUS *et al.*, 1995; SANTOS *et al.*, 1996; BRITO NEVES *et al.*, 2000).

Discorrendo a segunda teoria, defende que a província Borborema foi definida como parte da colagem de zonas Neoproterozoicas do oeste do Gondwana, formada durante a colisão de um complexo sistema orogênico situado entre a Amazonia-São Luís/ Oeste Africano e o Cráton São Francisco-Congo (BRITO NEVES; CORDANI, 1991; TROMPETTE, 1994; VAN SCHMUS *et al.*, 1995; BRITO NEVES *et al.*, 1999).

Correlações Geológicas entre o nordeste brasileiro e a costa africana foram propostas desde o advento da teoria da tectônica de placas (HURLEY *et al.*, 1967; ALMEIDA; BLACK, 1968). Os eventos Neoproterozoicos na africa, em particular aqueles registrados ao longo da borda oriental do Cráton da África Ocidental (WAC) foram agrupados na orogenia bem definida Trans-Saharan (figura 4) e suas continuações na América do Sul foi amplamente debatida (CABY, 1989; SANTOS 2008; ARTHAUD *et al.*, 2008).

Figura 4: Contexto continental da área investigada.



Fonte: Retirado de Ganade *et al.*, (2016).

Segundo Almeida *et al.* (1976), a Província Borborema é composta por um embasamento Arqueano e Paleoproterozoico, coberturas proterozoicas dobradas e batólitos relacionados ao Ciclo Brasileiro. Estas unidades encontram-se fatiadas por extensas zonas de cisalhamento dúcteis que, somado com dados geofísicos e geocronológicos, levaram a diversas propostas de subdivisão da província em domínios (ALMEIDA *et al.*, 1976; JARDIM DE SÁ., 1992, 1994; SANTOS *et al.*, 1996, BRITO NEVES *et al.*, 2000).

3.2 Compartimentação Tectônica da Província Borborema

Neste trabalho, para a devida compartimentação da Província Borborema, utiliza-se a proposta de Brito Neves *et al.* (2000), em que a província é dividida em cinco grandes domínios tectônicos, sendo eles: Domínio Médio Coreau (DMC), Domínio Ceará Central (DCC) e Domínio Rio Grande do Norte (DRGN), Domínio da Zona Transversal (DZT) e Domínio Meridional (DM). Cavalcante (1999) e Delgado *et al.* (2003), baseados em trabalhos anteriores subdividem a Província Borborema em três subprovíncias, denominadas de Subprovíncia Setentrional, Subprovíncia da Zona Transversal (Central) e Subprovíncia Meridional (Externa), individualizadas e delimitadas entre si graças à presença de importantes zonas de cisalhamento, sendo essas zonas por sua vez individualizadas em domínios, terrenos e faixas, tendo como embasamento teórico: feições litoestratigráficas, dados estruturais e geocronológicos, além de distintas assinaturas geofísicas.

Para o projeto em tese, será adotado a classificação de Brito Neves *et al.* (2000), e a área a ser estudada corresponde ao Domínio Rio Grande do Norte.

3.2.1 Domínio Médio Coreau (DMC)

Limitado pelo Cráton São Luis–W-África, a oeste, e pelo Lineamento Transbrasiliano, a leste, também denominado Lineamento Sobral– Pedro II, compreende o Terreno Granja e a Faixa Martinópolis-Ubajara (DELGADO *et al.*, 2003). Segundo Brito Neves *et al.* (2000), o embasamento do DMC é constituído por rochas de alto grau metamórfico, com idade em torno de 2.35 Ga, representado pelo Complexo Granja, o qual é formado, basicamente, por ortogneisses com composição TTG, granulitos orto e paraderivados, bem como migmatitos. Baseando-se em idades U-Pb, Sm-Nd e Pb-Pb, acredita-se que estas rochas correspondam à uma crosta juvenil formada em um ambiente de arco magmático.

Além das rochas pertencentes ao Complexo Granja já citados acima, há nesse domínio uma presença marcante de dois cinturões orogênicos moveis, um metavulcano-sedimentar mais arcosiano (Grupo Martinópole) e outro mais metapelítico-carbonático (Grupo Ubajara), sendo ambos de idade Toniana. Ocorre ainda no DMC uma complexa sequência de corpos graníticos também de idade Neoproterozoica (Plutons Mucambo e Meruoca), localizados já no limite sudeste do DMC (SILVA, 2017)

Vale salientar que nesse domínio ocorre uma importante Bacia Transicional, sendo esta a Bacia de Jaibaras, contemporânea a Bacia de Alagoinha do Piauí, que é foco deste trabalho. A Bacia do Jaibara e o Grupo Jaibaras como um todo representa o limite SE do DMC. Esta é uma típica bacia residual molássica continental, poligonal, com vulcanismo bimodal de idade Cambriana (TORQUATO; NOGUEIRA NETO, 1996; NOGUEIRA NETO, 2000). A Bacia de Jaibaras é preenchida por duas sequências sedimentares tipicamente continentais, constituídas por conglomerados, arenitos, siltitos e/ou folhelhos com contato gradacional, apresentando, também, vulcanismo bimodal associado (PARENTE *et al.*, 2011).

3.2.2 Domínio Ceará Central (DCC)

O Domínio Ceará Central é limitado a oeste pelo Lineamento Transbrasiliano e a leste pelo Lineamento Senador Pompeu. Segundo Arthaud *et al.* (2008), esse domínio pode ser subdividido em quatro principais unidades litoestatigráficas:

A primeira unidade consiste em um núcleo Arqueano representado pelo maciço de Tróia-Pedra Branca que é limitada por duas zonas de cisalhamento, composto por ortognaisse de composição granodiorítica a tonalítica, além de um complexo máfico e ultramáfico e unidades vulcano-sedimentar (CABY; ARTHAUD, 1986).

A segunda unidade é composta por embasamento Paleoproterozoico Juvenil de 2.14-2.10 Ga constituído por ortognaisse e migmatito com claras assinaturas geoquímicas do tipo TTG (FETTER *et al.*, 2000; MARTINS; OLIVEIRA; LAFON, 2009).

A terceira unidade é composta por uma cobertura Neoproterozoica representada pelo Grupo Ceará, esta é composta essencialmente por uma sequência predominantemente de metapelítica com finas camadas de quartizitos, lentes de metacalcários, finas camadas de rochas meta-vulcânicas félsicas e anfibolíticas (ARTHAUD *et al.*, 2008).

A quarta e última unidade é composta por um intenso complexo de rochas plutônicas de granitoides Neoproterozoicos félsicos com alto potássio, tendo como principal exemplo o Complexo Tamboril-Santa Quitéria (FETTER *et al.*, 2003).

3.2.3 Domínio Rio Grande do Norte (DRGN)

Delimitado pela Zona de Cisalhamento Orós/Aiubá, a oeste, e pelo Lineamento Patos, ao sul, estando encoberto pela Bacia Potiguar e pelos sedimentos costeiros, a norte e a leste, respectivamente. Segundo Delgado *et al.* (2003), esse domínio é composto pelos Terrenos Rio Piranhas, São José do Campestre e Granjeiro, além das Faixas Orós-Jaguaribe e Seridó. O Terreno ou Maciço São José do Campestre é um núcleo Arqueano, de composição TTG, circundado por ortognaisses do Paleoproterozoico. O Terreno Granjeiro é composto por duas associações: i) Sequência supracrustal, com metamáficas anfibolitizadas, tufos máficos e félsicos, gnaisses, BIF's, etc. ii) Sequência metaplutônica, formada por ortognaisses tonalíticos a granodioríticos, com porções trondhjemíticas.

O Terreno Rio Piranhas, segundo Brito Neves (1983), corresponde ao embasamento da Faixa Seridó, e apresenta rochas de alto grau metamórfico, que se dividem em duas associações principais: i) Sequências metavulcanossedimentares; ii) Suítes metaplutônicas, com composição tonalítica a granítica. A Faixa Seridó foi muito afetada pelos magmatismos e estruturas do Neoproterozoico, e corresponde a uma sequência supracrustal, com paragnaisses, calcissilicáticas, mármore, quartzitos, mica-xistos, metavulcânicas, etc.

A área estudada está inserida na Faixa Orós-Jaguaribe, pertencente a esse domínio, e será abordada mais à frente nesse trabalho.

3.2.4 Domínio da Zona Transversal (DZT)

Segundo Delgado *et al.* (2003), a Zona Transversal é um segmento crustal de direção E-W, sendo limitado a norte e em parte a oeste pelo lineamento Patos, e a sul pelo Lineamento Pernambuco e pelos terrenos Alto Pajeú, Alto Moxotó e Rio Capibaribe, os quais foram amalgamados durante os eventos orogênicos Cariris-Velho (1,0 a 0,95 Ga) e Brasileiro (750 a 500 Ma).

3.2.5 Domínio Meridional (DM)

Segundo Delgado *et al.*, (2003), está localizado entre os lineamentos Pernambuco a norte e o Cráton São Francisco a sul, e é constituído pelos terrenos Pernambuco-Alagoas, Paulistana Monte Orebe e Canindé-Marancó, como também pelas faixas Riacho do Pontal e Sergipana. De acordo com Delgado *et al.*, (2003), o Terreno Paulista-Monte Orebe compreende

os Complexos Paulista e Santa Filomena (constituídos por rochas metassedimentares do tipo QPC), Monte Orebe (metabasalto, rochas metaultramáficas, metachert e rochas metassedimentares) e Brejo Seco (constituído por rochas máficas-ultramáficas plutônicas, metavulcanossedimentares e metassedimentares).

O Terreno Pernambuco-Alagoas, cortado em duas porções pelo rifte Tucano-Jatobá, apresenta os Complexos Cabrobó (rochas metassedimentares e metavulcanossedimentares), Belém do São Francisco (ortognaisses leucogranítico róseo e tonalítico-granodiorito, em geral migmatizados), ambos cortados por corpos graníticos Brasileiros, e também um fragmento Arqueano, o Riacho Seco, representado por ortognaisse de composição variável, bem como sequências metassedimentares. Já o Terreno Canindé Marancó é constituído pelos Complexos Marancó e Canindé (rochas metassedimentares e metavulcânicas máficas e félsicas), bem como suítes brasileiras de médio a alto potássio.

3.3 Bacias Transicionais

Segundo Parente *et al.* (2011), as bacias do estágio de transição do domínio setentrional da Província Borborema formaram-se sobre condições e controle geométrico dos lineamentos pré-Cambrianos. As zonas de cisalhamento regionais e locais condicionam os grandes rifts e as pequenas calhas sedimentares respectivamente como exemplo Cococi e Carnaubinha.

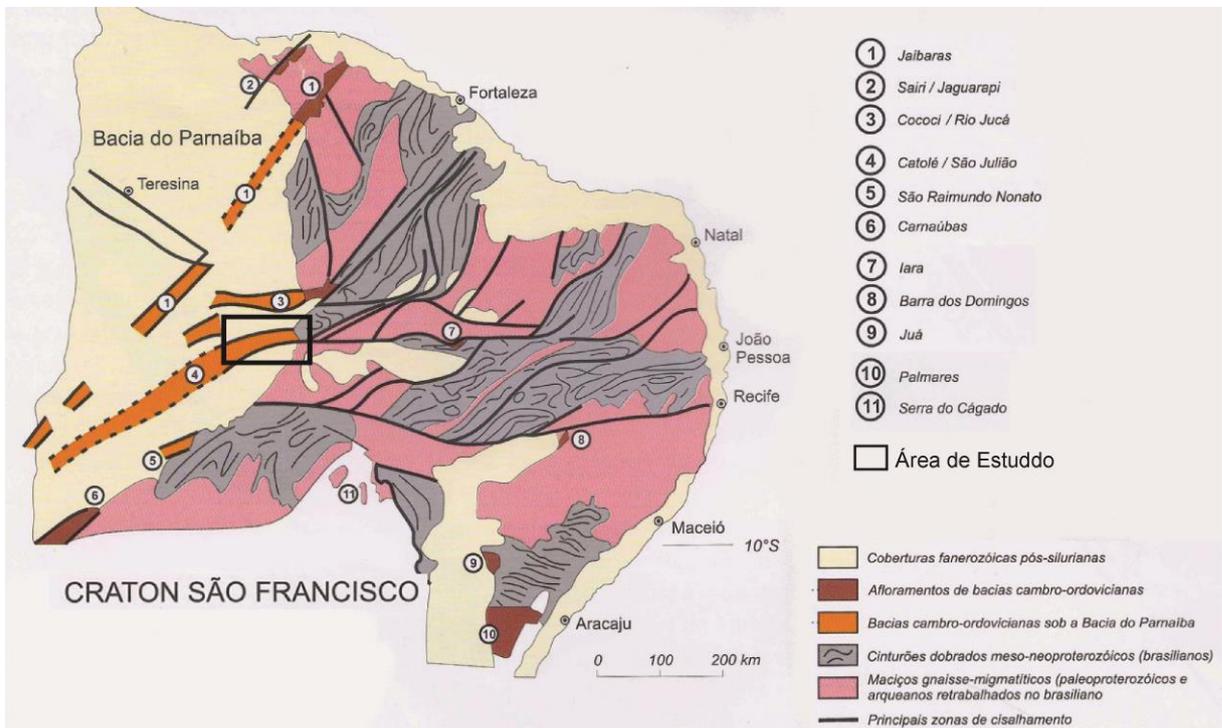
Almeida (1969), identificou na cobertura da Plataforma Sul-Americana seis sequências estratigráficas separadas entre si por inconformidades de expressão de nível inter-regionais, sendo elas: i) Cambro-Ordoviciano, correspondente ao estágio de transição; ii) Siluriano Inferior a Carbonífero Inferior e iii) Carbonífero Superior a Triássico, correspondentes às fases do estágio de estabilização; e as sequências iv) Jurássico Superior a Cretáceo Inferior Pré-Aptiano, v) Cretáceo Inferior (Aptiano) a Eocênico e vi) Pós-Eocênico, correspondentes às fases do “estágio de reativação” Mesozóica da plataforma.

Ao longo da Província Borborema (PB) é possível identificar diversas bacias da transição Proterozoicas-Fanerozoicas, as quais são compostas essencialmente por sequências clásticas imaturas, representadas por conglomerados, arenitos e folhelhos, apresentando localmente mudanças gradacionais entre si podendo estar ou não associadas com magmatismo bimodal (PARENTE *et al.*, 2004).

Quando analisada, a maioria dessas bacias conseguimos subdividir em dois principais grupos: i) O primeiro tipo tem sua formação e evolução diretamente conectado com

zonas de cisalhamento ou lineamentos tectônicos, que é o caso estudado nesse trabalho. ii) O segundo tipo é formado por ambiente do tipo antepaís e intrafossas (BRITO NEVES, 1998).

Figura 5: Distribuição das Bacias Transicionais na Província Borborema.



Fonte: Parente e Arthaud (2004).

Na Província Borborema tais bacias assemelham-se a grabens e/ou riftes, com dimensões que variam desde 2 por 7 km até 20 por 120 km. Seus eixos maiores são NE- SW e E-W, orientados pelas principais zonas de cisalhamento transcorrentes que recortam os terrenos Pré-Cambrianos desta província. Entre essas bacias estão: i) Jaibaras, que é limitada pela Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II (leste) e Café-Ípueiras (oeste); ii) Sairi, que é limitada pela Zona de Cisalhamento Jaguarapi; iii) Iara, ao longo do Lineamento Patos (sul) e Zona de Cisalhamento Cuncas; iv) Cococi-Rio Jucá, que é limitada pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu; v) Catolé-São Julião, ao longo da Zona de Cisalhamento Tatajuba, sendo esta a bacia de estudo do trabalho contendo a área de mapeamento em questão. A deposição destas sequências ocorre em ambientes continentais de leques e planícies aluviais subaéreos de frentes deltáico- lacustrinas, com influência vulcânica, formando depósitos de fluxos de detritos do tipo *lahars*. A sedimentação e o vulcanismo associado tiveram seu início ao redor de 560 Ma e estendendo-se possivelmente até os limites do Cambriano-Ordoviciano, vale destacar que as bacias de maior expressão espacial correm nas porções mais a oeste da PB, sendo sotopostas pelos sedimentos da Bacia Parnaíba (PARENTE *et al.*, 2004).

Sobre a perspectiva de associação sedimentar, foram denominadas de Alfa Inferior e Alfa Superior, as quais são caracterizadas por serem frutos de sistemas de leques deltaicos progradantes em corpos lacustres (ou possíveis mares rasos), podendo estar localmente associado ou não a vulcanismo (PARENTE *et al.*, 2004).

Pelas Semelhanças existentes entre as bacias mencionadas e a presente na área de estudo, tais como presença de associações clásticas imaturas, a proximidade com uma das principais sinéclises fanerozoicas (Bacia do Parnaíba), dentre outros fatores, a bacia de Alagoinha do Piauí, foco deste trabalho, que será devidamente detalhada em capítulos posteriores, também se encontra inserida no grupo das bacias de transição. Devido à importância nesse estudo e as semelhanças existentes com a Bacia de Alagoinha do Piauí, as Bacias de Jaibaras e Cococi serão detalhadas, de forma sucinta, a seguir:

3.3.1 Bacia de Jaibaras

Caracterizada por um intenso acervo bibliográfico (TORQUATO, 1995; TORQUATO; NOGUEIRA NETO, 1996), e segundo Parente *et al.* (2004), a bacia de Jaibaras é uma das principais bacias do estágio de transição do Domínio Setentrional da PB desenvolvida entre o Vendiano e o final do Cambriano ou mesmo início do Ordoviciano. Sobre o arcabouço geológico, essa bacia é composta pelo Grupo Jaibaras, sendo esta marcada por duas sequências: i) Sequência Alfa Inferior (Vendo-Cambriano), composta essencialmente por brechas polimíticas e conglomerados; ii) Sequência Alfa Superior (Cambro-Ordoviciano), composta por conglomerados sustentados por um arcabouço cujo a granulometria varia de seixo a matacão, em meio a uma matriz arenosa (PARENTE *et al.*, 2004).

3.3.2 Bacia do Cococi

Esta Bacia é representada pelo grupo Jucá, sendo nesta, as Formações Angico Torto e Cococi representam a sequência Alfa Inferior, enquanto a Formação Melancia encontra-se associada a Alfa Superior (PARENTE, *et al.*, 2004).

3.3.3 Bacia do Parnaíba

A bacia do Parnaíba ocupa proximamente metade da Província Parnaíba. Esta foi formada sobre os os riftes Cambro-Ordovicianos de Jaibaras, Jaguarapi, Cococi/Rio Jucá, São

Julião e São Raimundo Nonato (BRITO NEVES, 1998). Tendo sua litoestatigrafia composta pelas supersequências Siluriana (Grupo Serra Grande), Devoniana (Grupo Canindé) e Carbonífero-Triássica (Grupo Balsas) (GÓES; FEIJÓ, 1994).

Segundo Silva *et al.* (2003), o Grupo Serra Grande é composto pelas formações Ipu, Tianguá e Jaicós, sendo estas bem caracterizadas como supergrupos, todavia, ainda há uma não-individualização cartográfica de menor escala. Góes e Feijó (1994) atribuíram ao ambiente de deposição do Grupo Serra Grande como fluvio-glacial e glacial, passando a transicional (nerítico), e por fim, retornando às condições continentais (fluvial entrelaçado).

3.4 Sistema Orós-Jaguaribe

A Faixa Orós ou Sistema Orós-Jaguaribe, é limitada a oeste pelo DCC, pelas zonas de cisalhamento Aiuba e Orós, a sudoeste com a Bacia do Parnaíba, ao sul pela Domínio da Zona Transversal, através da Zona de Cisalhamento Patos, e por fim, a leste adota-se como limite a Zona de Cisalhamento Porto Alegre (JARDIM DE SÁ, 1994).

A Litoestatigrafia do Faixa Orós Jaguaribe (FOJ), segundo Medonça e Braga (1987), pode ser descrita regionalmente como sequência vulcano-sedimentar de Orós, a oeste, e Jaguaribe, a leste, das quais se associam com ortognaisse porfíros, de sub-alcálinos a alcálinos, sendo todo esse sistema separado por um embasamento representando pelos blocos Jaguaretama e São Nicolau (PARENTE; ARTHAUD, 1995). Em suma, a litoestratigrafia da Faixa Orós-Jaguaribe divide-se em:

3.4.1 Embasamento

O Embasamento é separado pelos blocos Jaguaretama e o Bloco São Nicolau, sendo o primeiro composto por ortognaisse tonalíticos contendo mobilizados trondhjemíticos, ortognaises graníticos e rochas metassedimentares, essa presença é um fator importante na divisão entre os blocos, pois no Bloco São Nicolau são raras ou ausentes (PARENTE; ARTHAUD, 1995).

3.4.2 Faixa Orós

A Faixa Orós é subdividida em i) Rochas metassedimentares, compostas essencialmente por metapelitos, representados por xistos aluminosos com intercalações de

quartzitos, mármore calcítico, dolomítico e magnesítico, rochas calcissilicáticas e quartzitos carbonosos. ii) Rochas metavulcânicas, são representadas por rochas félsicas, com rochas vulcânicas e hipoabissais máficas subordinadas, as rochas metavulcânicas variam de composição entre dacitos, riodacitos e riólitos com fenocristais de feldspato e quartzo. iii) Rochas metaplutônicas, estas recortam o conjunto vulcano-sedimentar e vários tipos, podendo ser identificados como: ortognaisses facoidais, com texturas porfirítica, com variações que lembram textura rapakivi (PARENTE; ARTHAUD, 1995). Na Figura 6, observa-se a individualização do Grupo Orós em três unidades predominantes: A Suíte Campo Alegre 3, composto por metatufos ácidos e básicos interestratificados ou não, com níveis de rochas calcissilicáticas, mármore, xistos com granada ou não, metabásicas e metariólitos; A Formação Quixaba, composto por Mármore calcítico branco a cinza claro, passando, na base, para rochas calcissilicáticas, recortadas por diques de metatraquiandesitos, de espessura variada; e a Formação Santarém, com Xistos feldspáticos com intercalações de rochas calcissilicáticas, metavulcânicas ácidas e básicas e metavulcanoclásticas (VERÍSSIMO *et al.*, 2014).

Figura 6: Litoestratigrafia da Faixa Orós.

Idade	Unidade Litoestratigráfica	Legenda	Tipos Litológicos
Mesozóico / Cenozóico	Aluviões		Areias e cascalhos não consolidados
	Diques Básicos		Diabásios
	Bacias de Iguatu, Malhada Vermelha, Lima Campos e Icó		Folhelhos, arenitos arcoseanos e conglomerados polimíticos
Proterozóico Superior	Rochas Plutônicas		Granitos alcalinos a sub-alcalinos (1); Granitos porfíricos a megacristais de FK (2); Ortognaisses com biotita de granulação média (3); Ortognaisses com biotita porfírica milonitizado (4)
			Metahornblenda gabros e metahornblenditos (900 Ma, Sá 1991)
Proterozóico Médio (1800/1000Ma)	Faixa Orós		Ortognaisses oftalínicos com megacristais de FK (1); Ortognaisses com anfibólios sódicos porfíricos milonitizados (2)
			Granodioritos gnáissicos com biotita (3)
			Metapelitos com intercalações de metaconglomerados carbonatados polimíticos (mcp), de quartzitos (qz), de mármore calcíferos (mc), dolomíticos (md) e magnésiferos (mn), de calcosilicatos (cs)
			Metavulcânicas porfíricas ácidas
			Metavulcânicas básicas e básicas-intermediárias
Proterozóico Inferior/Arqueano (>1800 Ma)	Embasamento		Paragnaisses migmatizados com mobilizados granatíferos (b); Ortognaisses de composição granodiorítica à tonalítica parcialmente migmatizados com mobilizados e hornblenda.

Fonte: Adaptado de Parente e Arthaud (1995).

3.4.3 Faixa Jaguaribe

Nessa faixa é observado um predomínio da associação vulcano-plutônica, sendo as rochas metassedimentares, representadas por xistos e quartzitos, geralmente ocorrendo como lentes de espessura reduzida associadas às lavas e tufos félsicos, sustentando pequenas elevações topográficas nas regiões (PARENTE; ARTHAUD, 1995).

3.4.4 Deformações e Metamorfismo

Quando se analisa a deformação na área, observa-se que ambas as faixas apresentam um caráter monocíclico de deformação e um regime transcorrente dextral, mostrando nas porções norte-sul uma foliação de alto ângulo, quase subvertical e com mergulhos superiores à 45° na porção leste-oeste. O embasamento apresenta em geral um caráter policíclico, com características distintas e mergulhos geralmente menores que 45°,

sugerindo se tratar de uma tectônica tangencial, no caso do Bloco Jaguaratama, já o Bloco São Nicolau, apresenta uma tectônica transcorrente mais atuante (PARENTE; ARTHAUD, 1995).

Sobre a ótica do metamorfismo, a Faixa Orós apresenta uma variação entre xisto verde a anfibolito baixo, de oeste pra leste, respectivamente, já o embasamento apresenta um grau metamórfico de fácies anfibolito alto.

4 GEOLOGIA LOCAL

O mapeamento teve como objetivo identificar e classificar aspectos de textura, mineralogia e estrutura das litologias encontradas na área de estudo, assim como confeccionar um novo mapa geológico da região de Alagoinha do Piauí (APÊNDICE A).

O embasamento da região é definido por rochas do Grupo Orós, sendo elas sequências supracrustais depositadas em ambiente de rift semi aberto. O Grupo Orós está principalmente representado pela presença de ortognaisses datados do paleoproterozóico ao mesoproterozóico, sendo associado principalmente com rochas metavulcânicas. As rochas sofreram uma deformação dúctil e foram metamorfizadas na fácies xisto verde devido a Orogênese Brasileira (~600 Ma). Posteriormente, houve um evento extensional no cambriano que foi o principal condicionante para a formação e orientação da Bacia de Alagoinha, com direção preferencial E-W. Esse evento resultou na deposição de uma litologia clástica imatura e com baixo grau de seleção na bacia, composta majoritariamente por conglomerados polimíticos, com clastos que variam de centimétricos a métricos, posteriormente afetados por um evento rúptil representado por um importante zona de cisalhamento presente na área, com direcionamento preferencial NE-SW. Tal zona de cisalhamento é um forte alvo de prospecto pela presença de ocorrências minerais associadas a ela. Vale destacar a presença de fraturas nas rochas que compõem o Grupo Serra Grande.

Os resultados gerados a partir da base de dados gamaespectrométricos (Figura 3) auxiliaram na definição dos contatos entre os litotipos da área de estudo, complementando trabalhos anteriores desenvolvidos na região (VERISSIMO *et al.*, 2014). Contudo, em virtude da baixa resolução dos dados, o nível de detalhamento na interpretação das unidades não supera os resultados de mapeamentos de maior detalhe realizados na área de estudo neste trabalho.

4.1 Litoestratigrafia

A região é composta pelo embasamento representado pelo Grupo Orós, datado do Paleo-Mesoproterozóico, pela bacia de Alagoinha do Piauí do Cambriano e pelo Grupo Serra Grande do Siluriano.

4.1.1 Grupo Orós (Paleo - Mesoproterozóico)

O Grupo Orós é identificado por ser uma sequência metavulcanossedimentar, o que aflorou em boa parte da área de mapeamento, caracteriza o embasamento das bacias e ocorre, principalmente, como ortognaisse intercalando com rochas metavulcânicas.

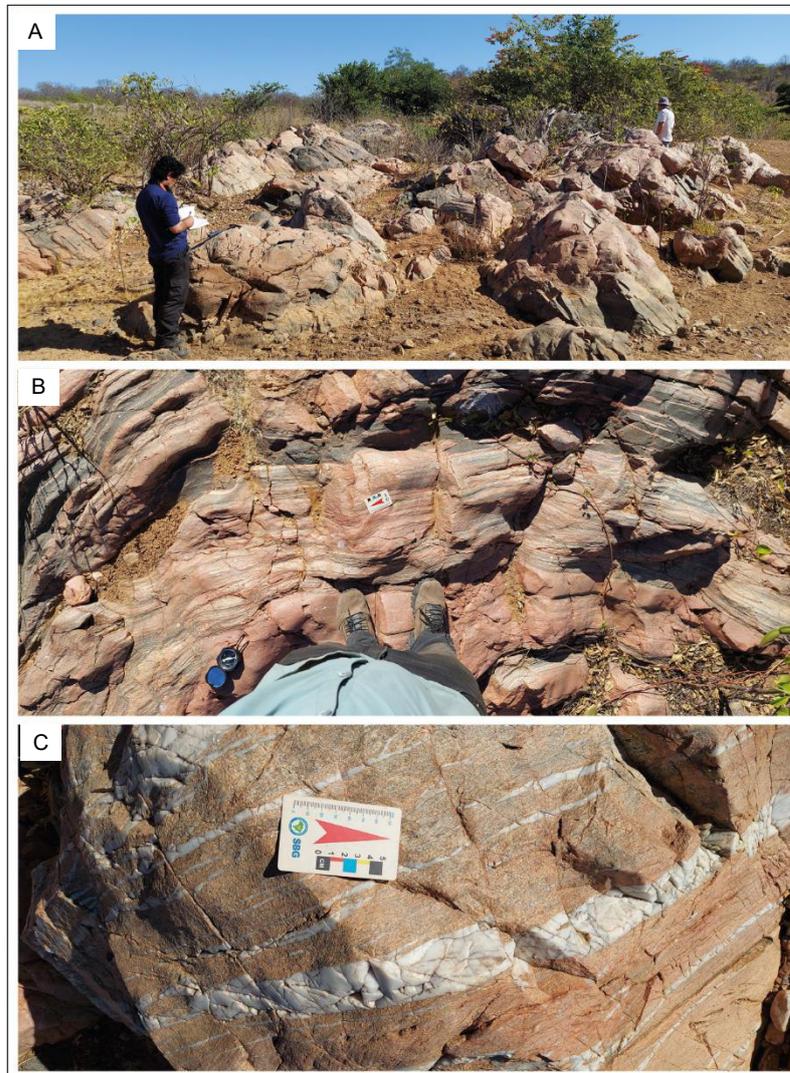
4.1.1.1 Ortognaisse

Litologia mais observada na região, ocorre na forma de afloramentos em lajedo, leito de rio, blocos rolados e afloramentos rasteiros. Durante o mapeamento foi possível observar duas diferentes feições presentes no ortognaisse, característico do Grupo Orós: uma mais rica em minerais félsicos com presença de quartzo e K-feldspato, leucocrática, com coloração avermelhada causada pela contribuição de potássio hidrotermal, e uma com maior presença de minerais máficos (anfíbólio e biotita), concordantes com a orientação da rocha e com existência de plagioclásio entre tais minerais. Existe um aumento da composição máfica da rocha tendendo às regiões mais a leste da área. A foliação é em regra bem marcada.

O ortognaisse apresenta, em alguns afloramentos, dobramentos de escala centimétrica a métrica, augens com cinemática dextral, além de injeções de quartzo centimétricos a métricos. Em alguns casos apresenta injeção de quartzo tardio, veios de quartzo e veios com hematita. A rocha como um todo apresenta grande concentração de fraturamento, de diferentes orientações e idades.

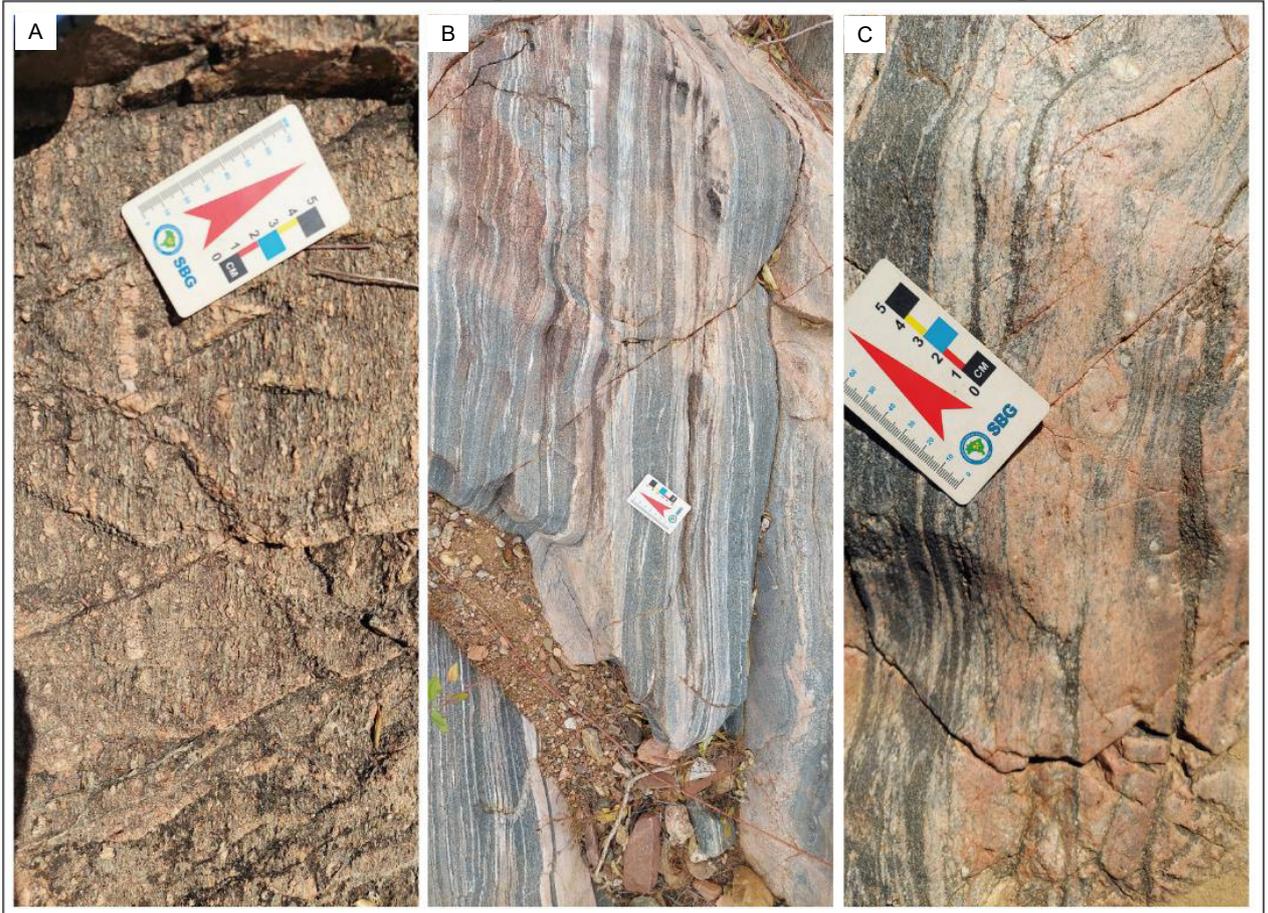
Em se tratando de alteração hidrotermal, temos que o ortognaisse apresenta epidotização, hematização e K-feldspatização.

Figura 7: (A) Afloramento de ortognaisse em leito de rio, porção mais félsica do Grupo Orós; (B) Dobras de escala métrica afetando ortognaisse com bandas máficas e outras mais félsicas; (C) Veios de quartzo bem cristalizado de escala centimétrica na porção félsica do ortognaisse.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 8: (A) Ortognaisse com estiramento mineral de fenocristais de K-feldspato; (B) Bandamento gnáissico no aflorando em leito de rio; (C) Augen de K-feldspato bem arredondado demonstrando influência tectônica no por zona de cisalhamento dextral no Grupo Orós.



Fonte: Elaborado pelos autores

4.1.1.2 *Metavulcânica*

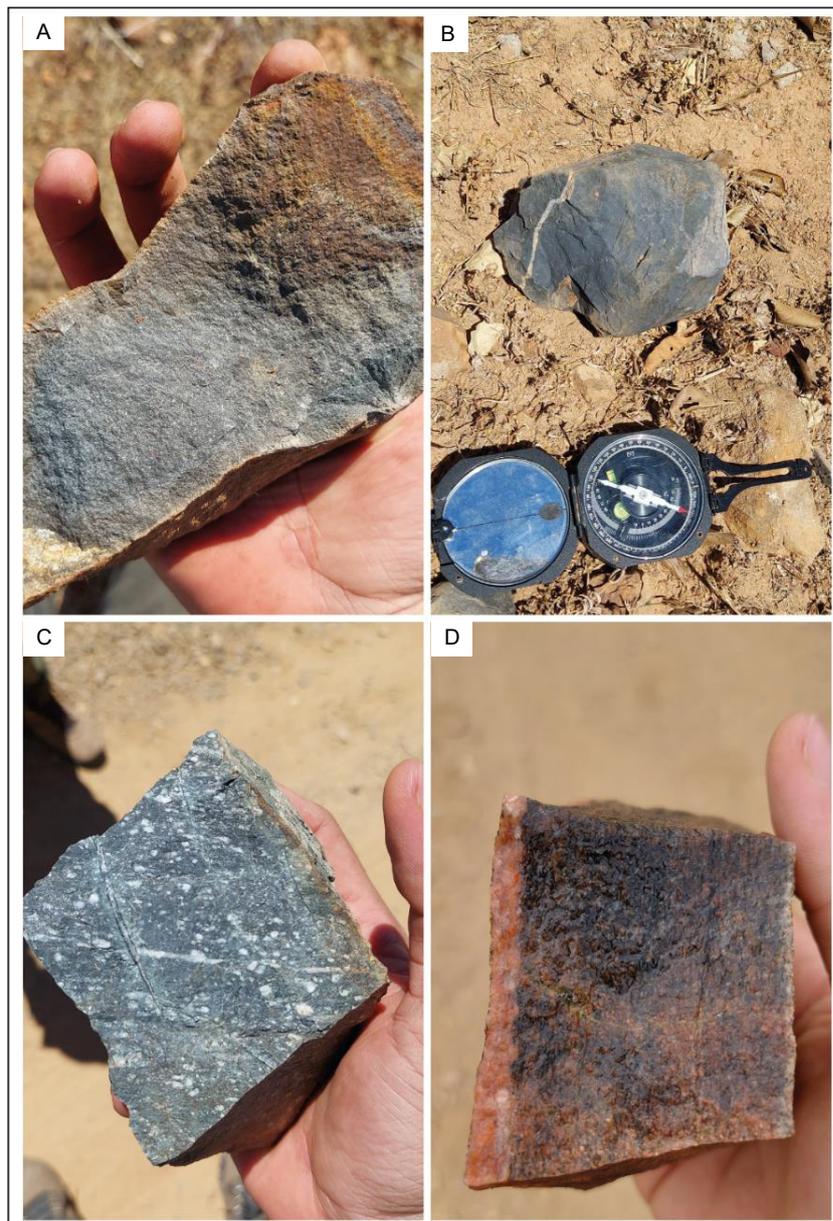
O litotipo está localizado nas porções centrais e leste da área, aflorando como blocos rolados e afloramentos rasteiros. A rocha é melanocrática e por vezes pode se apresentar foliada, bem como maciça, demonstrando uma complexidade evolutiva da rocha.

A rocha se encontra intercalada com o ortognaisse do Grupo Orós, apresenta matriz afanítica composta majoritariamente por minerais máficos, por vezes manifestando orientação, contém porfiroclastos compostos principalmente de feldspato potássico, que ocorrem arredondados e orientados seguindo a direção da foliação da rocha. A rocha vulcânica apresenta uma foliação bem definida.

A litologia apresenta fraturas que estão preenchidas por quartzo microcristalino advindo da silicificação, isso demonstra uma contribuição rúptil na evolução da rocha, de idade possivelmente Brasileira. A rocha metavulcânica está por vezes associadas a presença de

hematita, calcopirita, malaquita, magnetita e pirita, todas preenchendo fraturas, demonstrando a forte contribuição hidrotermal na litologia.

Figura 9: (A) Amostra metavulcânica máfica do grupo orós, com textura afanítica, solo com presença de magnetita; (B) Metavulcânica de matriz afanítica com presença de veio de quartzo; (C) Amostra de mão de uma rocha metabásica vulcânica de matriz afanítica com fenocristais de quartzo e veio do mesmo; (D) Amostra de metavulcânica do Orós com presença de calcopirita visível preenchendo fraturas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.1.2 Bacia de Alagoinha do Piauí (Cambriano)

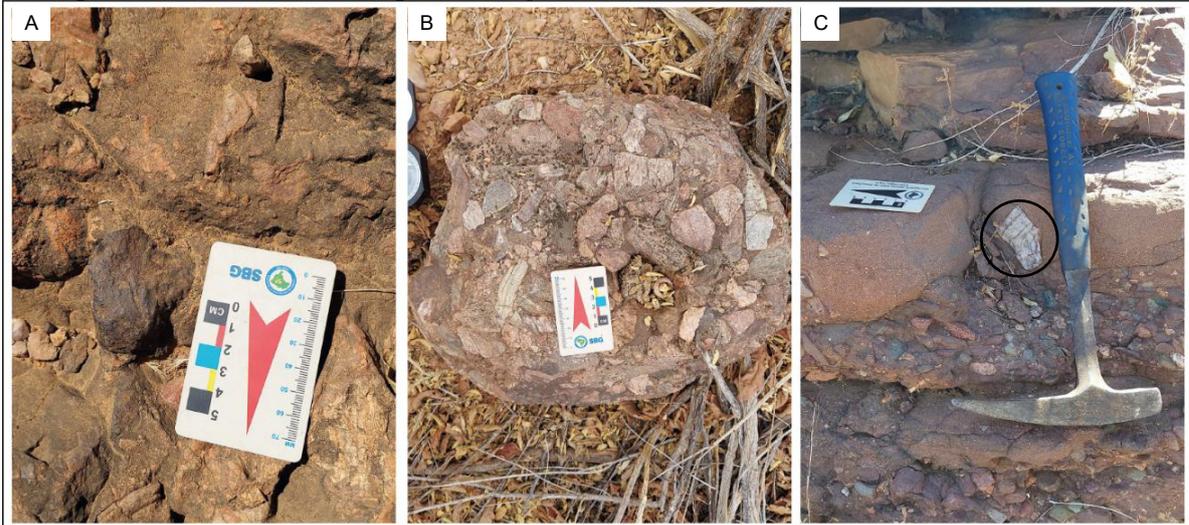
A bacia de Alagoinha do Piauí, consiste em duas pequenas calhas situadas no município, uma na sede municipal, que será chamada neste trabalho de calha 1, e outra a NE da área, que será chamada de calha 2, sendo limitadas pela tectônica regional com direção preferencial E-W. Desse modo, as supramencionadas calhas apresentam a mesma litologia, sendo, portanto, o conglomerado. A calha 1 apresenta dimensões de 1,5km por 600m, a calha 2 apresenta dimensões de 6,8km por 2km, e ambas as calhas apresentam relação de contato na base do tipo falha normal em relação ao embasamento e são sobrepostas em parte pelo Grupo Serra Grande com contato do tipo simples.

4.1.2.1 Conglomerado

O conglomerado encontrado na bacia é polimítico e apresenta clastos de ordem centimétrica a métrica. A composição dos clastos pode variar, sendo, principalmente, fragmentos líticos, e a coloração do conglomerado alterna em geral de avermelhado a roxo. Apresenta-se por vezes como clasto suportado de matriz arenítica e com clastos bastante angulosos, além de um grau de seleção imaturo dos grãos. Esses são fatores que caracterizam uma alta energia no sistema deposicional da bacia e uma fonte de origem dos clastos próxima.

Em alguns afloramentos é possível destacar uma variação na energia de deposição, onde os clastos diminuem de dimensão, podendo existir camadas areníticas intercaladas com camadas mais conglomeráticas. Os sedimentos da bacia têm sua fonte no Grupo Orós, tendo como premissa a presença no arcabouço de ortognaisse característico da litologia.

Figura 10: (A) Seixo de hematita presente em afloramento de conglomerado da bacia; (B) Bloco rolado de conglomerado com seixos angulares de escala centimétrica e decimétrica, clastos de ortognaisse do Grupo Orós; (C) Afloramento demonstrando uma camada conglomerática em contato com uma camada arenítica da bacia de Alagoinha do Piauí, em destaque tem-se um clasto de quartzo angular, de escala centimétrica na matriz arenítica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Quando mapeadas as duas calhas, foi possível destacar variações evolutivas entre elas, por exemplo na calha 1 é possível identificar o *S0* muito bem definido com acamamento mergulhando de N a NE. Já na calha 2 não há nenhuma preservação de um possível *S0*, devido a um basculamento advindo de uma possível movimentação tectônica identificada pela diferença de topografia, onde a calha 2 se apresenta cerca de 100 a 120 metros mais elevada que a calha 1.

Fraturas foram identificadas no conglomerado, por vezes apresentando veios de quartzo com orientação preferencialmente NE. De um modo geral a rocha apresenta bastante fraturas em diferentes orientações, tendo sido identificado que o limite leste da calha 1 é uma fratura de orientação aproximadamente N-S.

Foi possível identificar que na calha 1 e calha 2 não se concretizou uma grande variedade e quantidade de hidrotermalismo, ocorrendo apenas a silicificação e hematização.

Figura 11: Conglomerado polimítico com clastos angulares de escala centimétrica a decimétrica, clastos que variam de metasiltitos a ortognaisses do Grupo Orós. Ao lado esquerdo da imagem é possível ver uma granulometria menor.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 12: Amostra da bacia com clastos angulares de ortognaisse de escala centimétrica envoltos por uma matriz arenítica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.1.3 – Bacia do Parnaíba -Grupo Serra Grande (Siluriano)

O Grupo Serra Grande está presente em boa parte da área de estudo, aflorando majoritariamente nas porções oeste e norte, além de ter uma pequena presença na região mais central da área.

Na área estudada estão presentes apenas as rochas da Formação Jaicós, compostas por arenitos conglomeráticos (Figura 13) de coloração variando de creme a esbranquiçada com seixos bem arredondados de quartzo, dispersos em uma matriz de areia fina constituída de grãos subarredondados de quartzo e feldspato caulinizados, com estratificação plano-paralela e cruzada.

Figura 13: (A) Afloramento em lajedo do Grupo Serra Grande. A seta em destaque indica o *S0* do grupo; (B) Camada conglomerática em contato com uma camada arenítica em um bloco do Grupo Serra Grande.



Fonte: Elaborado Pelos Autores.

4.2 Petrografia

Para um entendimento completo da evolução geológica da área torna-se necessário além da análise macroscópica de afloramentos e amostras, uma análise microscópica em lâminas petrográficas.

Nesse sentido, optou-se para este trabalho a consulta bibliográfica de dados petrográficos no entorno da área, efetuados em trabalhos de mapeamentos anteriores, para uma caracterização genérica e regional das unidades aqui descritas, exceto para o Grupo Serra Grande, tanto pela ausência de dados bibliográficos disponíveis como por não compor o foco do trabalho.

4.2.1 Petrografia do Grupo Orós

4.2.1.1 Ortognaisse

Segundo Medeiros e Paula (2019), as rochas que compõem o ortognaisse do Grupo Orós apresentam ao microscópio petrográfico textura granoblástica, epidotização em forma de veio e cloritização incipiente. São compostos essencialmente por quartzo, epidoto, hornblenda, plagioclásio, opacos, apatita, zircão, allanita e titanita.

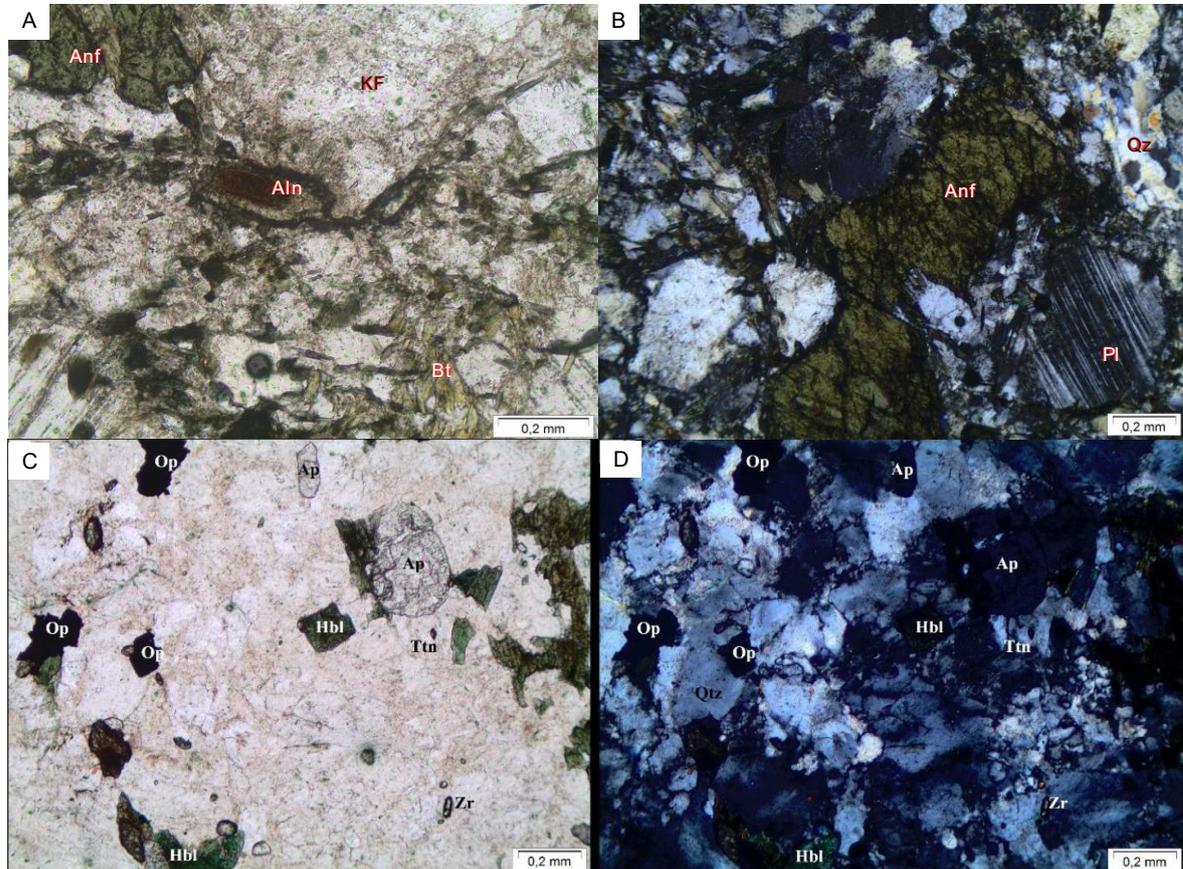
A porcentagem de mineralogia do Grupo Orós é abordada por Uvula e Didoné (2019), os quais descrevem como 35% de quartzo, 15% de K-feldspato, 12% de plagioclásio, 10% de anfibólio, 10% de biotita, 8% de sericita, 5% de opacos, além de 5% de epidoto (Fig. 14).

Concordando com Medeiros e Paula (2019), Uvula e Didoné (2019) mostram alanita, titanita e opacos como minerais acessórios presentes no Grupo Orós, disseminados na lâmina. Uvula e Didoné (2019) afirma existir cerca de 5% de epidoto na rocha, o qual está preenchendo fraturas e circundando alguns cristais.

Segundo Uvula e Didoné (2019), o Grupo Orós apresenta uma textura porfiroclástica e subidioblástica, podendo chegar a ser xenoblásticos em alguns locais. Já os cristais presentes na matriz são xenoblásticos, principalmente de quartzo recristalizado (caracterizando silicificação), sendo a maioria dos contatos da rocha são suturados.

No Grupo Orós, as biotitas neoformadas conferem uma foliação milonítica à rocha, formadas a partir da alteração dos anfibólios, que indica metamorfismo em fácies anfibolito baixo (UVULA; DIDONÉ, 2019).

Figura 14: Fotomicrografias do ortogneise do Grupo Orós. (A) Alanita com bordas de reação, biotitas sem orientação preferencial dispersas na matriz. (B) Porfiroclastos de anfibólio e plagioclásio em uma matriz de quartzo recristalizado. (C) e (D) Do ortogneise do Orós, exibem cristais de quartzo, apatita, hornblenda, titanita, zircão e opacos a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente.



Fonte: As fotomicrografias (A) e (B) foram retiradas de Uvula e Didoné (2019), já as fotomicrografias (C) e (D) foram retiradas de Medeiros e Paula (2019).

4.2.1.2 Metavulcânica

Segundo Uvula e Didoné (2019), a rocha é composta predominantemente por porfiroclastos de 16% plagioclásio, 20% hornblenda, e uma matriz composta por 14% plagioclásio, 13% biotita, 12% quartzo recristalizado e 5% de feldspato potássico (fig.15).

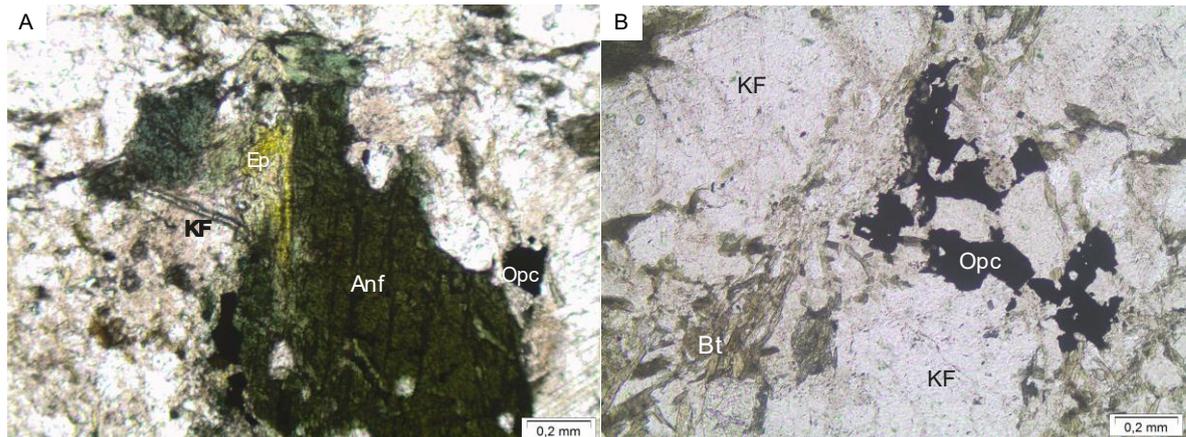
Existem ainda minerais provenientes da alteração dos minerais primários (Uvula e Didoné, 2019), sendo: 8% epidoto, nas bordas dos anfibólios, 1% alanita, 10% de minerais opacos e 1% de titanita.

A titanita é oriunda dos processos de alteração tanto da biotita quanto do anfibólio, que liberaram Ti para sua formação (UVULA; DIDONÉ, 2019).

Segundo Uvula e Didoné (2019), a mineralogia e a textura da rocha indicam que essa passou por um o processo de metamorfismo de fácies anfibolito, e após esse processo

ocorreu um metamorfismo retrogrado, para a fácies xisto verde, representado pelo epidoto, sendo gerado nas bordas da hornblenda.

Figura 15: Fotomicrografias da rocha metavulcânica do Grupo Orós. (A) Fotomicrografia em luz natural da neoformação do epidoto a partir da borda do porfiroclasto de hornblenda. (B) Fotomicrografia em luz natural dos minerais opacos dispersos na matriz juntamente com a biotita, entre os porfiroclastos de KF.



Fonte: Ambas as fotomicrografias foram retiradas de Uvula e Didoné (2019).

4.2.2 Petrografia da Bacia de Alagoinha do Piauí

4.2.2.1 Conglomerado

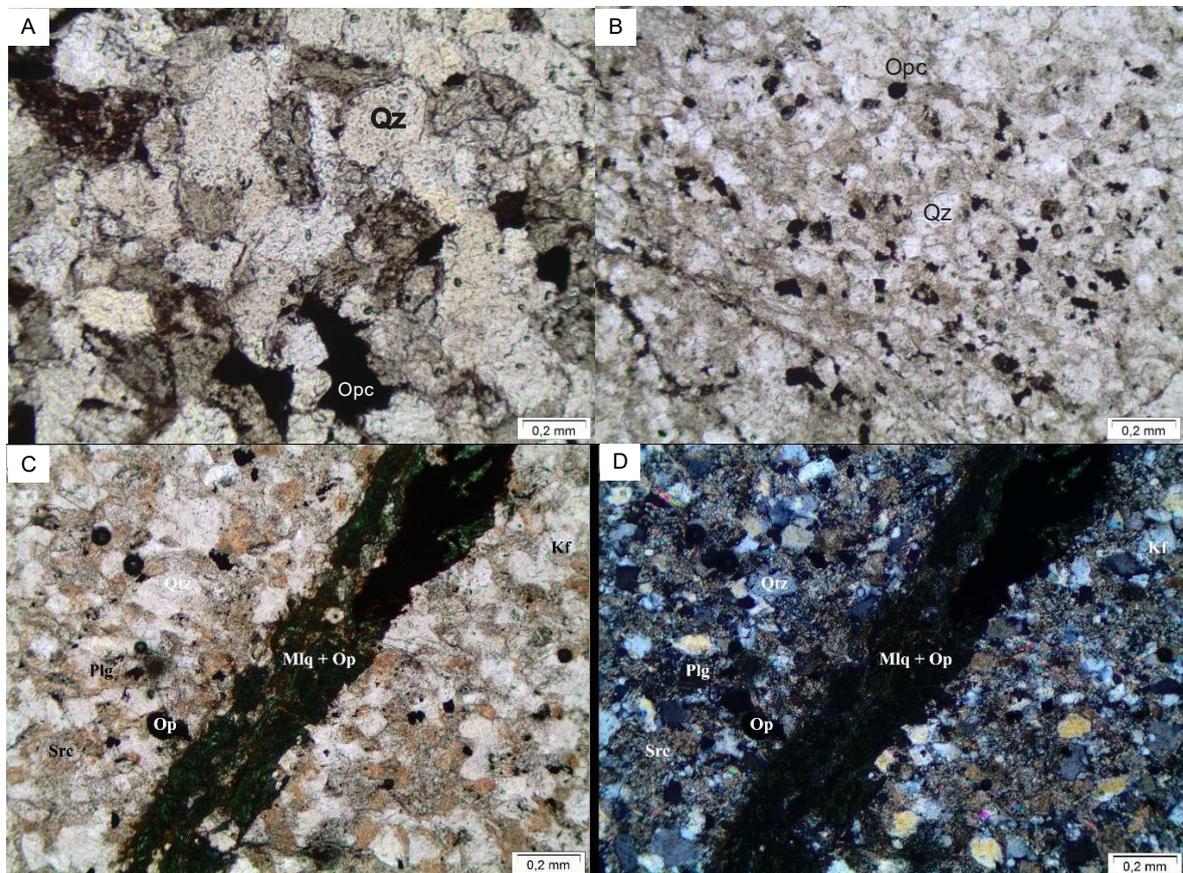
Segundo Uvula e Didoné (2019), os conglomerados que foram vistos ao microscópio petrográfico apresentam estrutura maciça e textura clástica, sendo 80% da rocha constituída por grãos do arcabouço que apresentam fragmentos líticos de tamanhos que variam entre grânulo e areia (1,5 a 4mm), enquanto a matriz consiste em 20% da rocha e varia entre argilosa e arenosa.

De acordo com Uvula e Didoné (2019), os clastos do arcabouço variam de arredondados a angulosos, apresentam-se com alto grau de fraturamento e com alterações hidrotermais, a matriz é composta por 75% de quartzo, subédricos, e tamanhos menores que 0,1mm, 10% de feldspato potássico e 15% de sericita com tamanhos menores que 0,05mm, variando de anédricos a subédricos (fig. 16). A rocha apresenta fraturas preenchidas por sílica e/ou calcita, acompanhados de minerais opacos.

De acordo com Uvula e Didoné (2019), os fragmentos líticos encontrados no conglomerado são: metasiltito do Grupo Orós; clastos de rocha vulcânica ácida (riolito); clastos de granitoide porfirítico; clastos de arenito roxo muito silicificado.

Medeiros e Paula (2019) descrevem o conglomerado a nível microscópico com a presença de veios de malaquita e clorita, além de caracterizar sua compactação como mecânica do tipo grão flutuante e com maturidade textural e mineralógica variando de submaturo a maturo. Medeiros e Paula (2019) descrevem sua mineralogia sendo quartzo, k-feldspato, plagioclásio, opacos e, por vezes, malaquita.

Figura 16: (A) Fotomicrografia em luz natural do clasto de arenito presente no conglomerado com mineralogia composta principalmente por quartzo, KF e minerais opacos. (B) Fotomicrografia em luz natural do clasto de siltito presente no conglomerado, com veios de quartzo e minerais opacos dispersos por toda lâmina. As fotomicrografias (A) e (B) exibem respectivamente a nicois paralelos e cruzados malaquita e opacos preenchendo veio, além de cristais de quartzo, plagioclásio, k-feldspato, sericita e opacos.



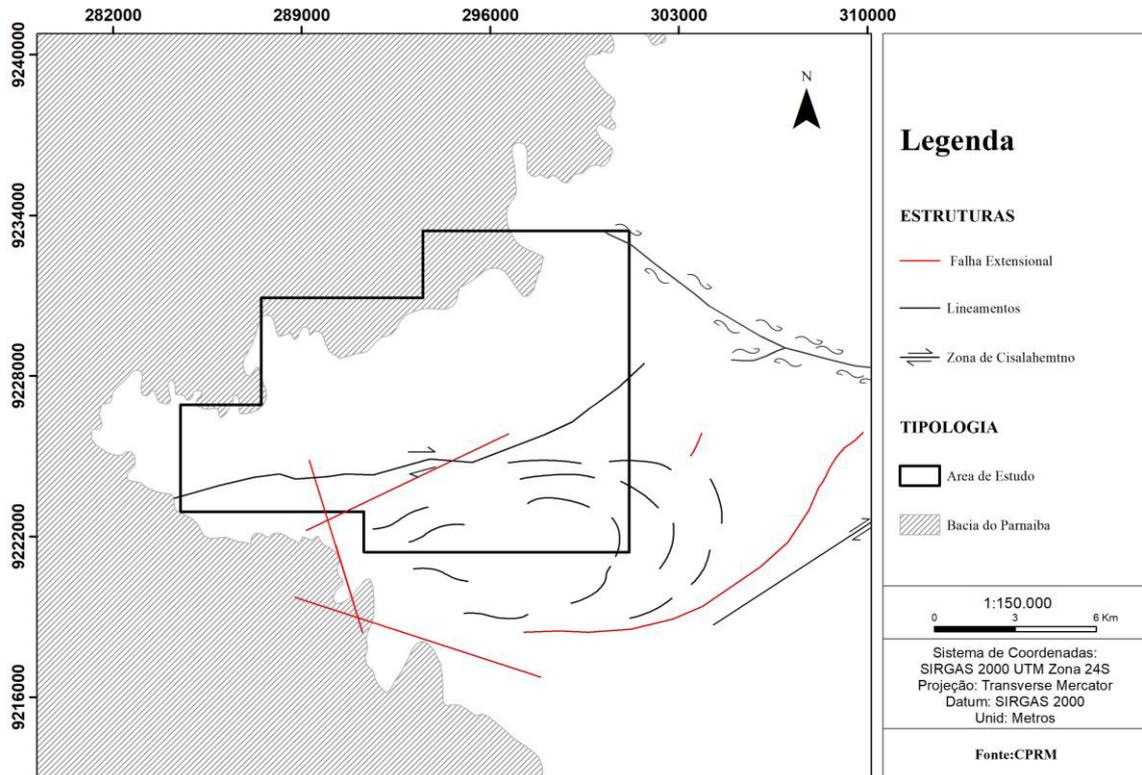
Fonte: as figuras (A) e (B) foram retiradas de Uvula e Didoné (2019). As figuras (C) e (D) foram retiradas de Medeiros e Paula (2019).

5 GEOLOGIA ESTRUTURAL

A região estudada encontra-se tectonicamente no contexto da Faixa Móvel Orós, localizada na interface entre a folha Fronteiras (SB.24-Y-C-III) e a folha Pio IX (SB.24-Y-A-VI). Na região como um todo há o predomínio de uma importante zona de cisalhamento de

regime transcorrente e dextral, sendo ela associada ao final do Ciclo Brasileiro, iniciado durante o Neoproterozoico (Figura 17).

Figura 17: Mapa estrutural regional da área de estudo.



Fonte: Elaborado Pelos Autores

Essa região, segundo Parente *et al.* (1995), é marcada pela presença de deformação policíclica, com presença de estruturas dúcteis e rúpteis como dobras, foliações, boudins, falhas e fraturas. Vale ressaltar que essas estruturas são bastante marcantes no embasamento, representando pelo Grupo Orós, mas também é possível identificar somente feições rúpteis na Bacia de Alagoinha e na Bacia do Parnaíba.

Essas estruturas observadas na área têm estreita relação com os complexos de zonas de cisalhamento desenvolvida na Província Borborema durante o Ciclo Brasileiro, sendo a reativação tectônica gerada por esforços distensivos no fim desse ciclo orogênico, os quais foram responsáveis pela abertura e preenchimento de estruturas do tipo pull apart, hoje descritas como bacias transativas Cambrianas (BRITO NEVES, 1998).

5.1 Contexto Geológico-Estrutural Local

O arcabouço estrutural da área indica a presença de dois principais eventos, sendo esses:

- i. Dn – evento mais antigo, de característica compressiva, caracterizado por estruturas de caráter dúctil, como foliações e dobras, e pelo surgimento da zona de cisalhamento dextral que recorta a área e influencia todo o contexto geológico local.
- ii. Dn+1 – evento transtensional caracterizado por estruturas de caráter rúptil, como falhas de escala local e regional. As principais estruturas relacionadas a esse domínio são as falhas que delimitam a bacia.

As principais estruturas associadas aos eventos de deformação dúctil (dn) estão fortemente presentes nas rochas do Grupo Orós na forma de foliações e dobramentos. Já as estruturas relacionadas à deformação rúptil (dn+1) são percebidas regionalmente pelo desenvolvimento da bacia molássica de Alagoinha do Piauí. O evento Dn corresponde a fase D3 ou D4 da figura 18, já o evento Dn+1 corresponde entre a fase D5, D6 ou D7 da figura 18.

Figura 18: Síntese do quadro estrutural da área de Alagoinha do Piauí.

EVENTO	E1	E2	E3		E4	E5	E6
FASE	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
IDADE	Paleo-Proterozóico (Ciclo Trans-Amazônico)	Final do Paleoinício do Meso-Proterozóico	NeoProterozóico (Ciclo Brasileiro)		Meso-Cambriano	Jurássico	Paleógeno-Neógeno
ESTRUTURA	Não Observada Obliterada pelas outras fases	Inexistente Obliterada pelas outras fases	Foliação S1	Foliação Milonítica S2 Zona de Cisalhamento Tatajuba	Falhas normais Desenvolvimento de brechas	Falhas normais	Falhas normais controlando microbacias
NATUREZA	Compressiva	Distensiva	Compressiva		Distensiva	Distensiva	Distensiva
DIAGNÓSTICO	Idades Pb-Pb de 1985 Ma em gnaisses do Complexo São Nicolau (Gomes et. al (1981))	Idades Rb-Sr de 1673 Ma em metavulcânicas ácidas do Grupo Orós (Sá, 1991) Idades U-Pb de 1790 Ma Van Schmus(1995)	Foliação afeta granitos datados de 650 Ma (Gomes et al, 1981)		Estruturas alojadas diques ácidos que cortam granitos datados de 510 Ma Goems et. Al. (1981)	Diques de diabásio datados de 160 e 145 Ma Gomes et.al. (1981)	Sedimentos pouco ou não consolidados

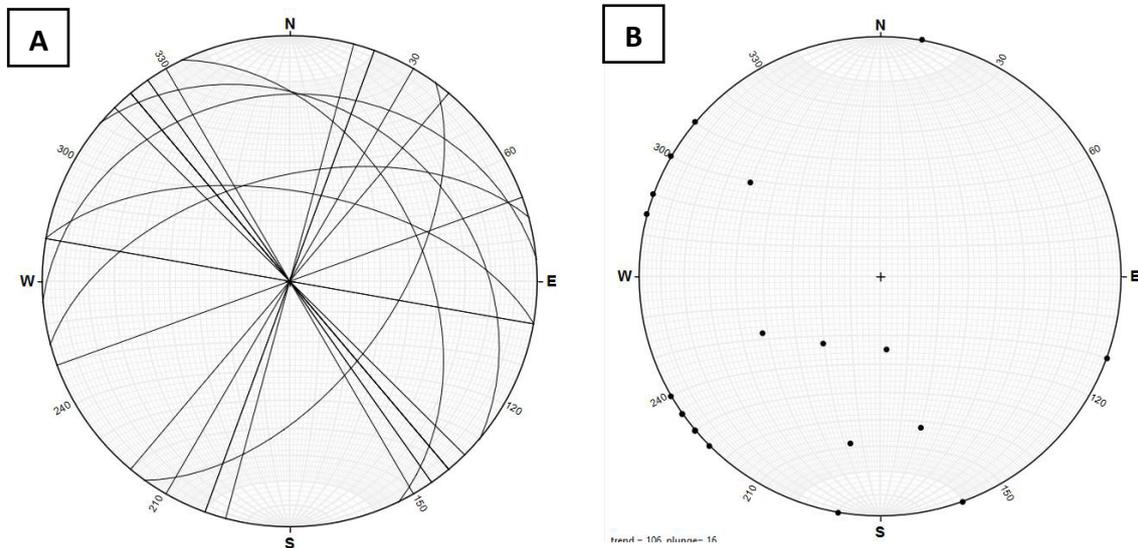
Fonte: Maas, 2003.

5.1.1 Regime Dúctil (Estruturas Dn)

O regime dúctil corresponde à deformação mais antiga que é bem marcada nas rochas do embasamento. Essas rochas em campo se apresentam com altos mergulhos e tendendo à verticalidade, tendo diferentes orientações graças ao forte dobramento presente na área (figura 19).

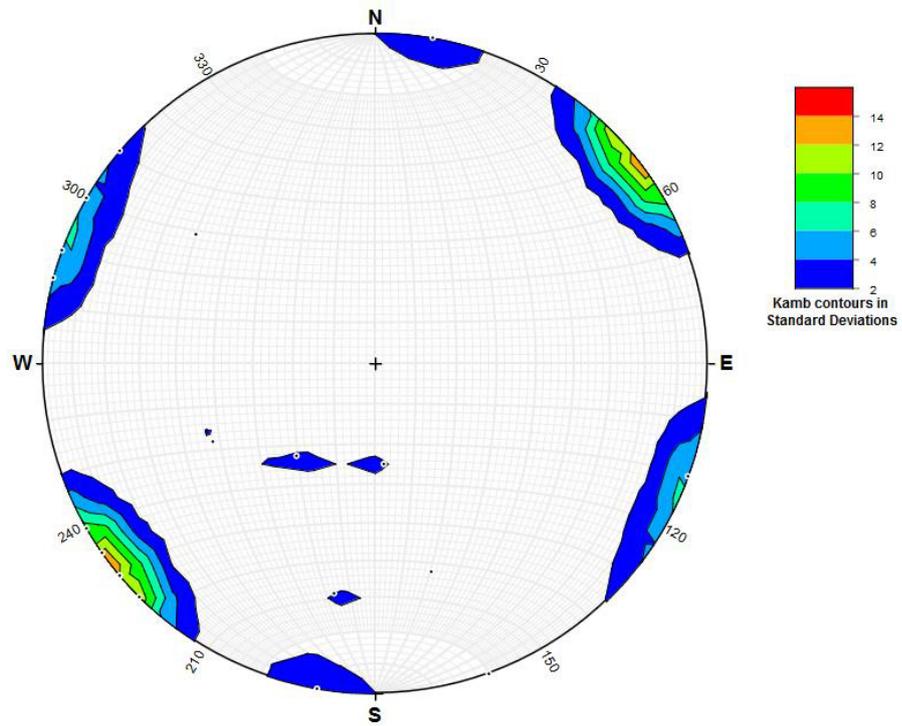
Os mergulhos das foliações do ortogianisse variam de sub-vertical a vertical, e tem orientação preferencial de NE-SW.

Figura 19: Estereograma de Rede de Schmidt, utilizando 22 medidas, representando os planos (A) e os polos (B) de foliação das rochas do embasamento da bacia de Alagoinha do Piauí.



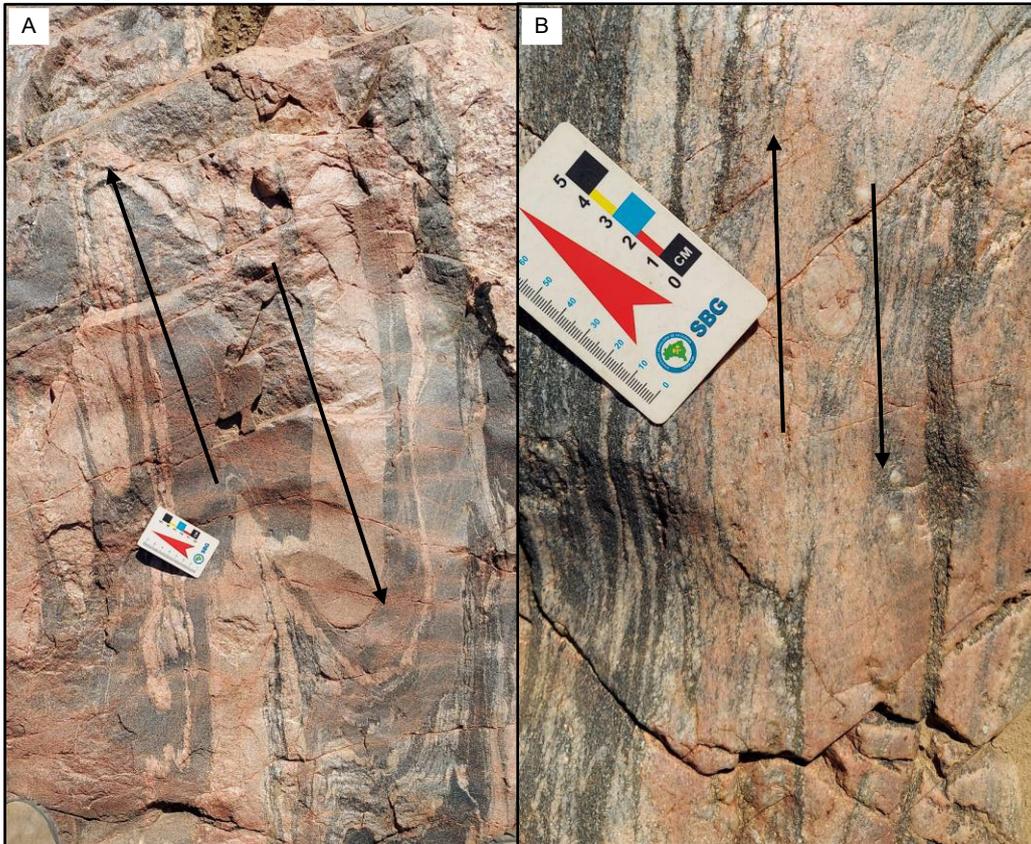
Fonte: Elaborado Pelos Autores

Figura 20: Polos plotados em estereograma demonstrando uma grande variação das direções de mergulho.



Fonte: Elaborado Pelos Autores.

Figura 21: (A) Afloramento em leito de rio de rocha ortognaissica do Grupo Orós com dobramento de sinemática dextral; (B) Augen de fenocristal de K-feldspato no ortognaisse envolto por uma sinemática dextral.



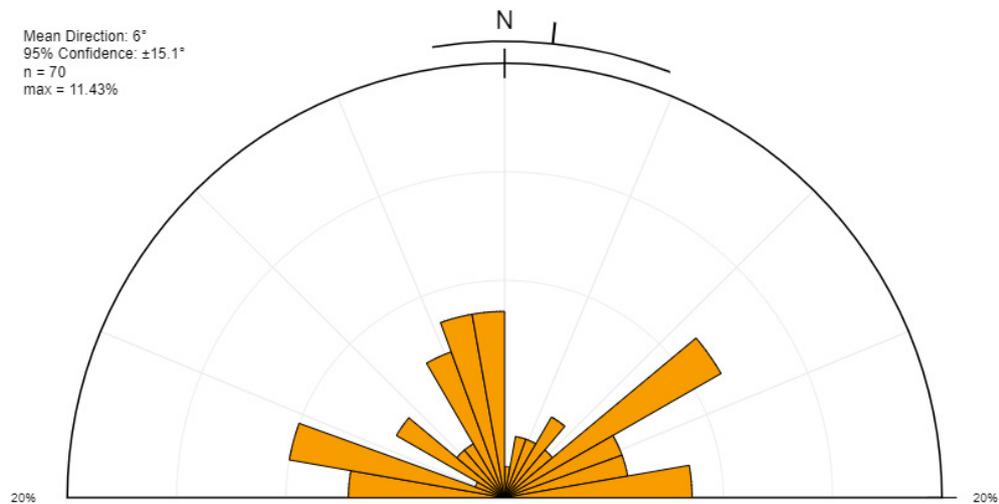
Fonte: Elaborado pelos autores.

5.1.2 Regime Rúptil (Estruturas Dn+1)

5.1.2.1 Fraturas

As medidas de fraturas na área como um todo apresentam diversas orientações e contém três direções preferenciais, sendo elas: 75°Az , 90°Az e 355°Az .

Figura 22: Roseta demonstrando as orientações das fraturas.



Fonte: Elaborado pelos autores

5.1.2.2 S0

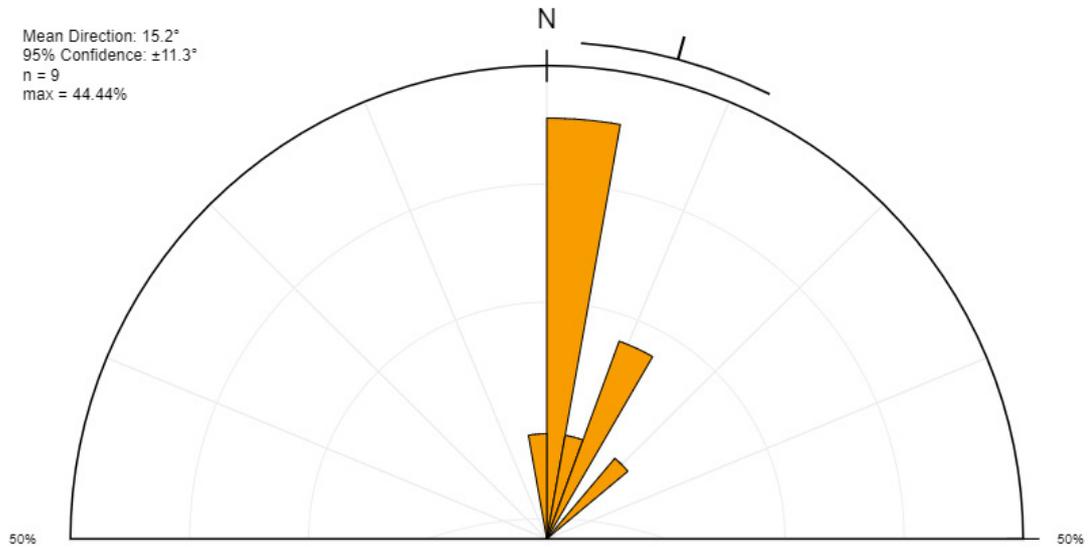
Mesmo o acamamento sedimentar não sendo necessariamente uma estrutura tectônica, a sedimentação na bacia está diretamente associada a evolução tectônica da área e seu entendimento é essencial para a evolução da discussão.

Vale destacar que só foi possível identificar o S0 da calha 1, o qual será descrito neste tópico, sendo a calha 2 acometida por um forte processo de basculamento, tendo sua estrutura primária desorientada.

O acamamento sedimentar nos conglomerados é definido por uma brusca variação na sedimentação, sendo possível identificar níveis de sedimentação mais finos intercalando a sedimentação majoritária.

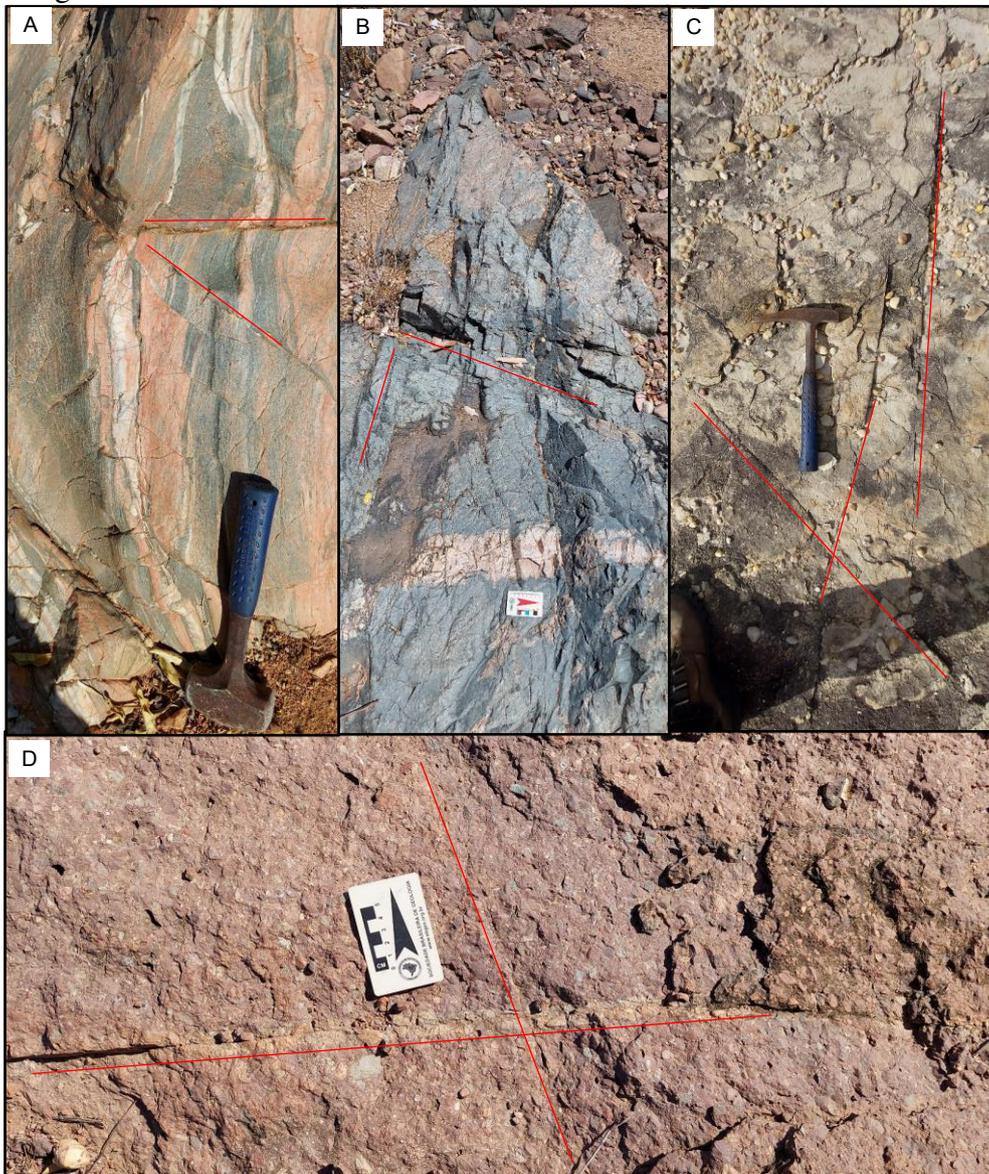
As medidas desses acamamentos sedimentares nas rochas da bacia relevam uma direção de strike preferencialmente E-W, sendo bastante concordante com o trend regional já aqui abordado. Os mergulhos possuem inclinação que variam de 21 a 30°, tendo em sua totalidade mergulhos para N-NE.

Figura 23: Roseta demonstrando o sentido dos mergulhos do S0, mostrando forte orientação NE.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 24: Fraturas recordando as litologias (A) bandamento do ortogneisse; (B) Metavulcânica; (C) Grupo Serra Grande; (D) conglomerado da Bacia de Alagoinha do Piauí.



Fonte: Elaborado pelos autores.

6 ALTERAÇÕES HIDROTERMAIS

Pirajno (2009) definiu as alterações hidrotermais como sendo processos que envolvem mudanças mineralógicas, químicas e texturais das rochas, resultantes de uma interação entre fluidos ou soluções hidrotermais e a própria rocha. Quando esses fluidos entram em contato com a rocha provocam reações químicas que tendem a buscar um novo equilíbrio no sistema, usando de processos de dissolução e precipitação, desenvolvendo assim novas associações minerais na rocha. Existem diferentes tipos e estilos de alteração hidrotermal que variam de acordo com natureza do fluido, composição química, temperatura e pressão dos

fluidos circulantes, bem como a composição das rochas em que os fluidos circulam (PIRAJNO, 2009).

As alterações hidrotermais são muito importantes para a exploração mineral, pois se estende muito além dos limites do minério, permitindo assim concentrar a atividade de exploração em alvos menores. Sendo assim, o mapeamento das assembleias minerais alteradas pode ser muito útil para a identificação de condutos hidrotermais, os quais podem levar a descoberta de minérios em subsuperfície.

Existe uma classificação proposta por Pirajno (2009) que leva em consideração como ocorreu a alteração hidrotermal, sendo: i) pervasiva, ocorre quando toda ou a maior parte da mineralogia original é substituída, tendo como resultado a obliteração total ou parcial das texturas originais; ii) seletivamente pervasiva, caracterizada pela modificação de minerais específicos, como plagioclásio ou feldspato potássico, alterando para sericita e biotita para clorita, nesse caso as texturas são preservadas; iii) não pervasiva ou fissural, quando a alteração ocorre somente em porções localizadas na rocha. Como já abordado anteriormente, alguns fatores controlam a intensidade da alteração hidrotermal, como a natureza e condição da rocha hospedeira, bem como sua composição, concentração, atividade e potencial químico dos fluidos circulantes, além da temperatura e pressão. Outro fator que contribui para a dispersão da alteração sobre a rocha é a permeabilidade, porosidade primária e secundária (fraturas e falhas) que permitirá uma maior ação dos fluidos e o aumento da eficiência na precipitação dos minerais minérios.

Nesse capítulo nós abordamos as alterações hidrotermais mapeadas em campo e analisadas. Na área de estudo foi possível observarmos as alterações hidrotermais de silicificação, K-feldspatização, epidotização, além da ocorrência de hematita e magnetita que serão abordadas a seguir.

6.1 Tipos de Alterações

Devido a ausência de material autoral petrográfico, foi possível discriminar e descrever somente uma quantidade limitada de alterações hidrotermais, sendo elas: Silicificação; K-feldspatização; Epidotização.

Contudo, tanto Uvula e Didoné (2019) como Medeiros e Paula (2019) caracterizaram sericitização e cloritização somente em escala microscópica.

Segundo Uvula e Didoné (2019), a sericitização é encontrada principalmente nas rochas que compõem o embasamento cristalino, bem como nos clastos de riolito, metasiltito e

arenito pertencentes ao conglomerado da bacia. Tratando-se de cloritização, Uvula e Didoné (2019) afirmam que essa alteração ocorre de forma mais restrita, nas rochas que passaram por um evento de brechação associada a mineralização de sulfetos e os ortognaisses do Grupo Orós.

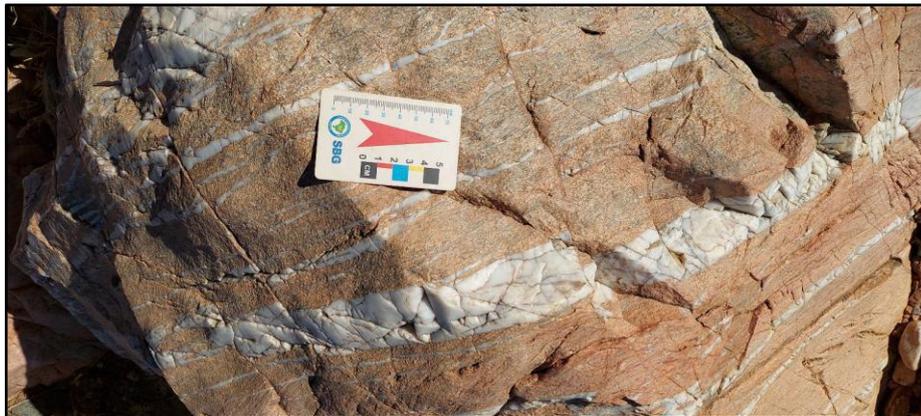
A sericitização, de acordo com Medeiros e Paula (2019), ocorre em geral nas rochas que compõem a Bacia de Catolé – São Julião, já a cloritização ocorre no ortogneisse do Grupo Orós e também nos litotipos da Bacia de Catolé – São Julião que é correlata à Bacia de Alagoinha do Piauí.

6.1.1 Silicificação

A silicificação está presente tanto na bacia de Alagoinha do Piauí como em seu embasamento (Grupo Orós). Pode estar associada a minerais de hematita, magnetita, feldspato potássico. Foram identificadas 3 formas diferentes de ocorrência de silicificação, sendo:

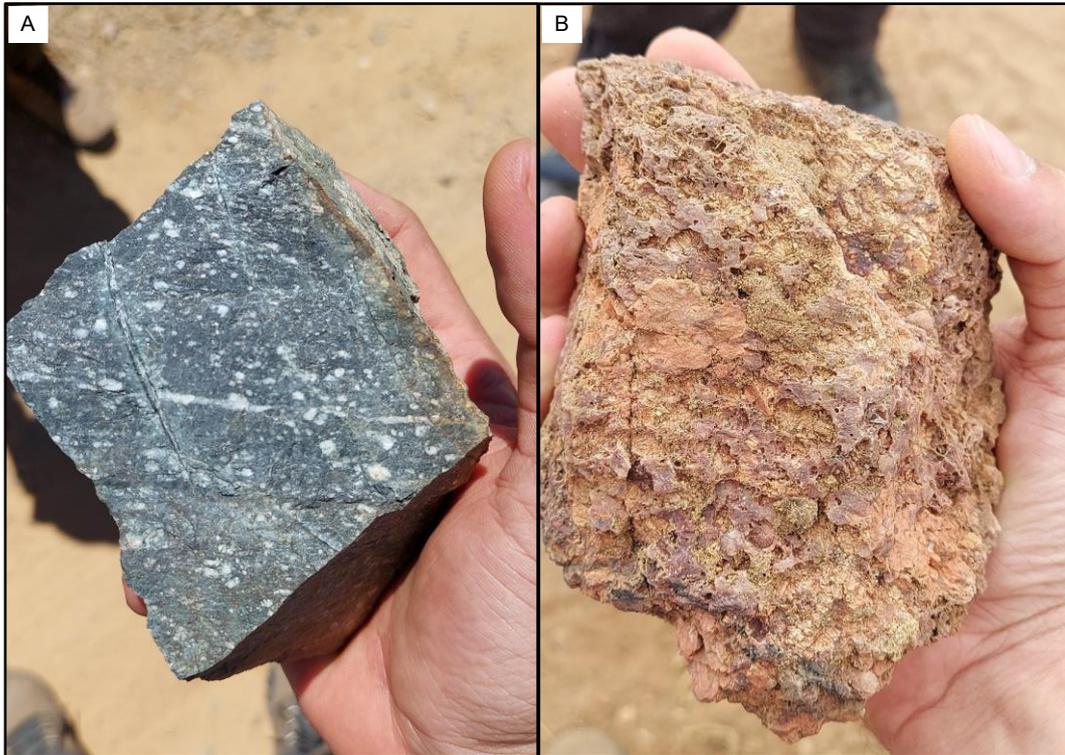
- i) veios de quartzo leitoso ou microcristalino que ocorre na bacia e no Grupo Orós (ortogneisse e metavulcânica);
- ii) Stockworks que ocorreram em menor quantidade, esse com associação mineral de hematita;
- iii) Quartzo substituindo parcialmente a matriz da rocha (caráter pervasivo).

Figura 25: Ortogneisse do Grupo Orós com presença de veios microcristalinos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 26: (A) Amostra de mão de rocha metavulcânica do Grupo Orós com veio de quartzo e quartzo de caráter pervasivo. (B) Amostra de mão de stockworks de sílica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

6.1.2 K- Feldspatização

K-feldspatização é caracterizada pela ocorrência de feldspato potássico recristalizado, essa alteração ocorre unicamente de forma pervasiva onde há a substituição do plagioclásio da rocha protólito por feldspato alcalino. Na área, as rochas que são essencialmente afetadas por essa alteração são os ortognaisses do Grupo Orós localmente associados com epidotização.

Essa alteração se apresenta de forma descontínua, dando ao protólito uma coloração avermelhada, causada pela neoformação do feldspato potássico como visto na figura 27.

Figura 27: Amostra cortada de rocha do Grupo Orós com K-feldspatização e silicificação, preenchimento de fratura por quartzo. Nessa amostra foi encontrado calcopirita que será evidenciada no capítulo de ocorrência mineral.



Fonte: Elaborado pelos autores.

6.1.3 Epidotização

Esta alteração é observada nos ortognaisses do Grupo Orós, nas injeções de quartzo e geralmente está associada a K-feldspatização. É condicionada principalmente por fraturas, podendo localmente ocorrer de forma pervasiva.

Em escala de afloramento, observam-se veios centimétricos recortando os litotipos supracitados. Segundo Uvula e Didoné (2019), como abordado na petrografia do Grupo Orós, pode-se observar em lâmina petrográfica com presença de allanita (grupo do epidoto) com borda de reação como visto na figura 14-A.

Figura 28: Amostra do ortognaisse do Grupo Orós com quartzo e epidoto.



Fonte: Elaborado pelos autores.

6.2 Ocorrências Minerais

As zonas de mineralização encontradas na área de estudo estão diretamente associadas com zonas estruturais dextrais presentes tanto nas rochas do embasamento da área, como nos conglomerados da bacia mais a nordeste da área. Não foi mapeada nenhuma ocorrência mineral localizada na bacia de Alagoinha do Piauí, sendo observadas apenas algumas alterações hematíticas locais.

Por fim, foram encontrados ao longo da zona de cisalhamento da área, corpos de magnetitito que demonstram a importância do componente estrutural para a evolução metalogenética da região como um todo.

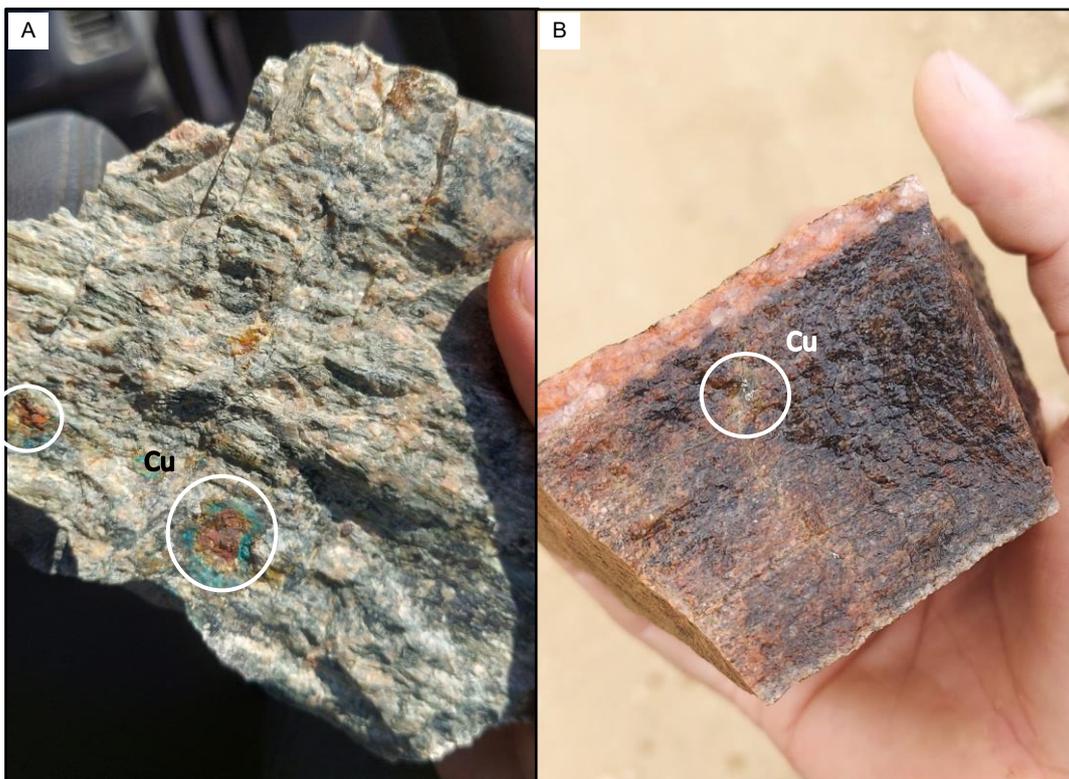
As mineralizações na região estudada ocorrem na forma de óxido, carbonato e sulfeto, sendo caracterizadas por magnetita (Fe_3O_4 ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), malaquita ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$) e calcopirita (CuFeS_2).

6.2.1 Cobre

As ocorrências de cobre foram encontradas associadas a estruturas secundárias da zona de cisalhamento e ocorrem na forma de sulfetos e carbonatos. O fato do Cobre estar localizado em estrutura de falha secundária indica que houve uma diminuição da temperatura e pressão, culminando na precipitação do mineral minério.

A malaquita e a calcopirita ocorrem associadas e foram mapeadas em duas oportunidades, sendo uma a nordeste da área e outra ocorrência na região central mais a leste da área. As ocorrências estão hospedadas nas rochas do Grupo Orós ao longo das fraturas.

Figura 29: (A) Amostra retirada do Grupo Orós com presença de calcopirita e malaquita preenchendo fraturas (em destaque). (B) Calcopirita preenchendo fratura de rocha metavulcânica do Grupo Orós (em destaque).



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 30: Amostra da figura 27 e 29(A) após passar por processo de corte evidenciando ainda mais a calcopirita presente.



Fonte: Elaborado pelos autores.

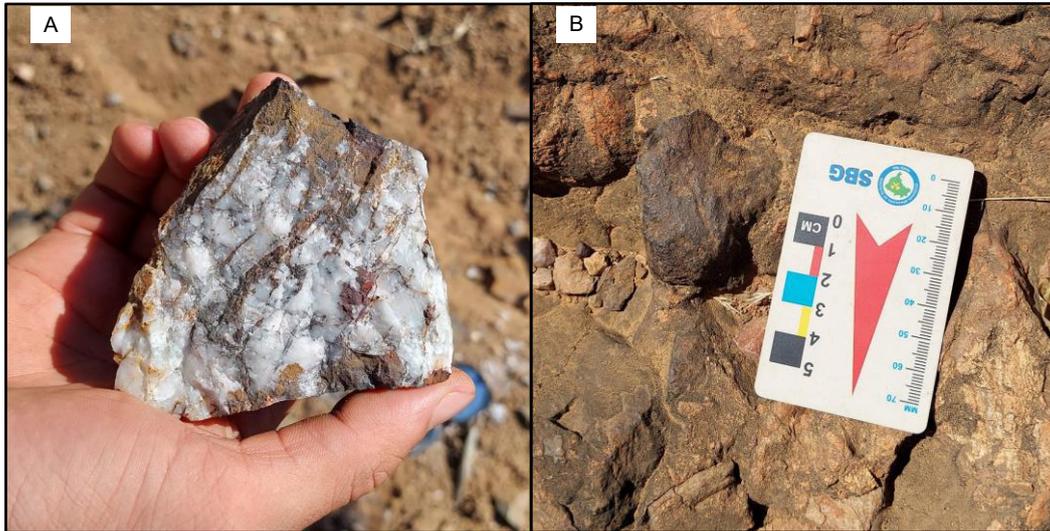
6.2.2 Ferro

As ocorrências de ferro estão associadas com as litologias: brechas hidrotermais, conglomerado, metavulcânica e ortognaisse do Grupo Orós, abrangem boa parte da área de mapeamento e são representadas por hematita e por corpos bem definidos de magnetitito.

6.2.2.1 Hematita

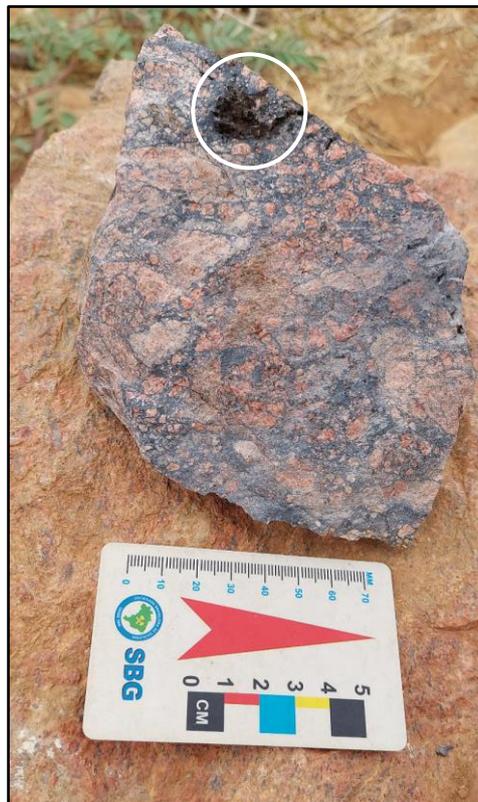
A hematização é a alteração mais abrangente da área e ocorre associado a: brecha sílico-hematítica, conglomerado e brecha hidrotermal. Pode ocorrer também associada à magnetita e ao quartzo.

Figura 31: (A) Amostra de mão rica em quartzo e hematita. (B) Seixo de hematita em conglomerado da Bacia de Alagoinha.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 32: Brecha hidrotermal com matriz máfica e porfiroclastos de K-feldspato, presença de nódulo de hematita (em destaque).



Fonte: Elaborado pelos autores.

6.2.2.2 Magnetita

Além das mineralizações de ferro que ocorrem na forma de hematita e associados, verificou-se na área a presença de magnetita maciça.

Em linhas gerais a ocorrência se apresenta de duas formas, a primeira e mais significativa ocorre ao longo da zona de cisalhamento em corpos de dezenas de metros de magnetitito, e a segunda forma de ocorrência é como bandamento metamórfico.

Figura 33: (A) Amostra em leito de rio com incrustação de magnetita e hematita na parede lateral da rocha, na imagem temos a caneta magnética demonstrando o magnetismo efetivo da magnetita. (B) Amostra de bloco de magnetitito encontrada na zona de cisalhamento.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 34: Amostra do magnetitito após corte evidenciando um bandamento metamórfico com presença de magnetita nos bandamentos e preenchendo duas fraturas, além de hematita também presente.



Fonte: Elaborado pelos autores.

7 DISCUSSÕES

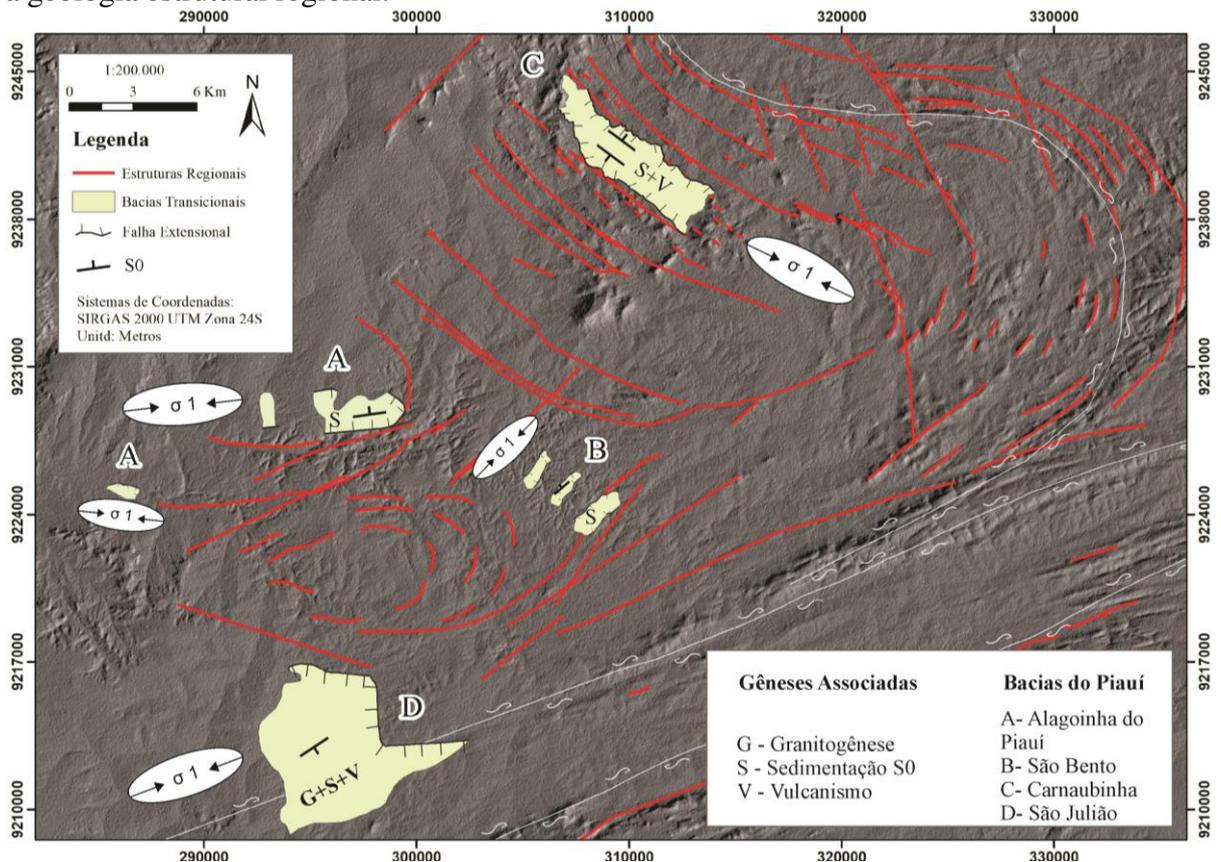
7.1 Condicionante estrutural das bacias de transição da região

Segundo Parente *et al.* (2011), as bacias do estágio de transição do domínio setentrional da Província Borborema formaram-se sobre condições e controle geométrico dos lineamentos pré-Cambrianos. As zonas de cisalhamento regionais e locais condicionam os grandes rifts e as pequenas calhas sedimentares, respectivamente, como exemplo, Cococi e Carnaubinha. Especificamente na região de Pio IX e São Julião observa-se que a macroestrutura de dobramento regional observadas em imagem de satélite condicionam a forma e a posição de diferentes depocentros, quer sejam calhas, como na região de São Bento e Alagoinha, quer sejam bacias mais evoluídas como na região de São Julião e Carnaubinha.

Quando estudado o posicionamento das bacias de transição de Catolé-São Julião e demais constatamos um forte componente estrutural que contribuiu para a formação e

orientação das bacias da região (Fig.35), com isso ocorre nessa região uma forte variação do posicionamento do sigma 1, sigma 2, sigma 3, produzindo uma série de lineamentos rúpteis frágeis em várias direções, e talvez permitindo um maior hidrotermalismo observado na ocorrência de calcopiritas, covelitas, silicificação, potássificação e enriquecimento supergênicos como malaquita.

Figura 35: Mapa esquemático demonstrando a relação que ocorre entre as bacias transicionais e a geologia estrutural regional.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Foi constatada uma intrínseca relação das orientações do eixo maior das bacias com a zona de cisalhamento de Carnaubinha, principal zona de cisalhamento transcorrente da região.

As bacias transicionais do extremo leste do Piauí estão associadas ao trend principal da ZC ou ao flanco de dobras regionais a essa zona associada. Vale ressaltar a orientação do acamamento das bacias (S0) que possuem o strike paralelo ao trend da ZC demonstrando uma possível influência de um sigma (σ_1) para a definição do eixo principal das bacias. Do ponto de vista econômico, as zonas mineralizadas a Cu/hematita presentes nas bacias podem representar sistemas distais de mineralizações relacionadas às zonas de cisalhamento que controlam a geometria des bacias de transição.

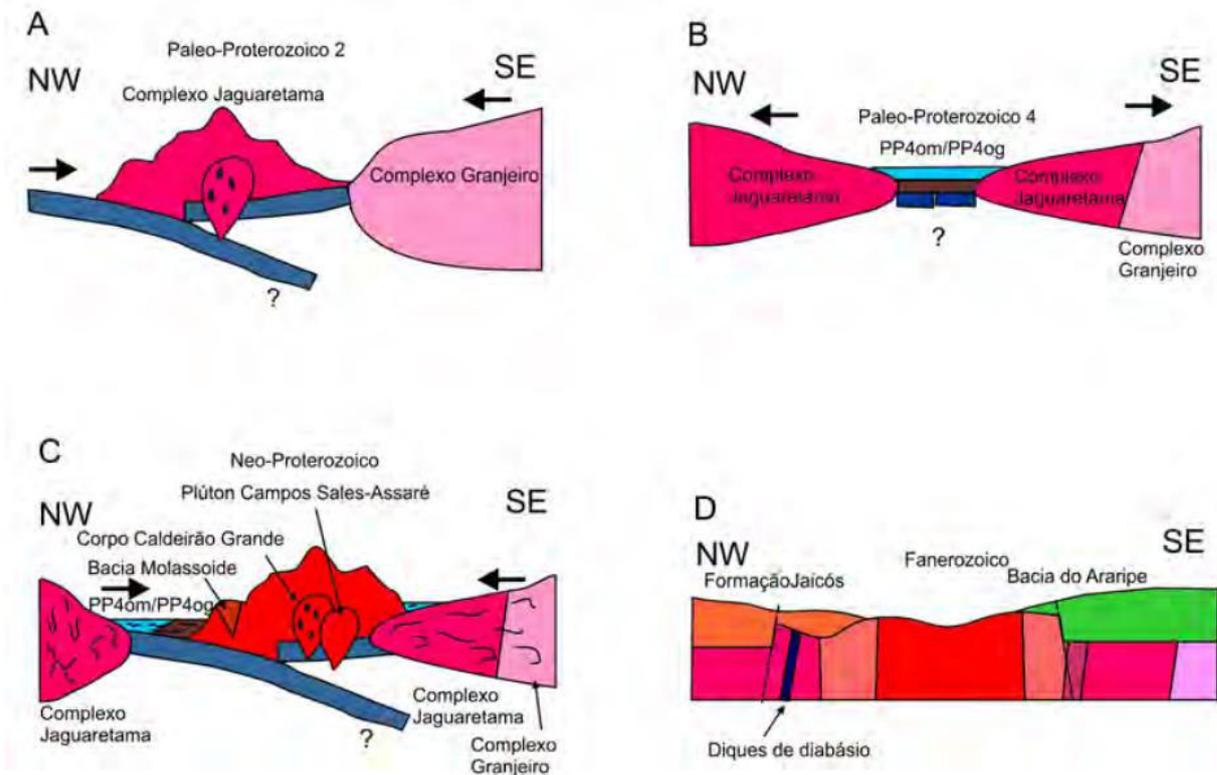
As bacias que compõem a região, apresentam atitudes:

- i. Alagoinha do Piauí: Strike E-W mergulhando para N;
- ii. São Julião: Strike NE-SW mergulhando para SE (MEDEIROS; PAULA, 2019);
- iii. São Bento: Strike NE-SW mergulhando para NW (UVULA; DIDONÉ, 2019);
- iv. Carnaubinha: Strike NW-SE mergulhando hora para NE e outrora para SW (SARAIVA; RODRIGUES, 2018).

7.2 Evolução Geotectônica da Área

Segundo Parente e Arthaud (1995), o embasamento da região é caracterizado por rochas Estaterianas do Grupo Orós. Esse embasamento é composto por ortognaisses, paragnaisses e rochas metavulcânicas. O Grupo Orós foi acometido pela Orogênese Brasileira (600Ma), em seu início teve um regime dúctil e evoluiu para um regime rúptil, deformando e fraturando todo o conjunto de rochas pré existentes. Após 600Ma predominam-se eventos de extensão sobre o supercontinente Gondwana, eventos que certamente têm como motor as plumas provenientes do manto, caracterizadas em inúmeras bacias desde o Cambriano até o Cretáceo. Considerando esse contexto ao final do Ciclo Brasileiro, foram formados grábens que serviram para a sedimentação das bacias de transição como o caso da Bacia de Alagoinha do Piauí. Ademais, vale destacar o surgimento de zonas de cisalhamento na região. A Bacia de Alagoinha do Piauí, datada do Cambriano, é composta pela sedimentação de conglomerados polimíticos mal selecionados e angulares, cujo arcabouço é formado por clastos do embasamento e ausência de associação com vulcanismo e granitoides. Por fim, temos o Grupo Serra Grande caracterizado pela presença de arenitos conglomeráticos com seixos bem arredondados de quartzo, dispersos em uma matriz fina, composta principalmente de quartzo. O Grupo Serra Grande a priori cobria boa parte da área, porém sofreu récuo por processos erosivos que exumaram as rochas anteriormente citadas, caracterizando o atual arranjo geológico na região. A área sofreu com reativações tectônicas posteriores, as quais fraturaram o conjunto litológico da Bacia de Alagoinha, bem como o Grupo Serra Grande.

Figura 36: Diagrama representativo das fases evolutivas da área de estudo.



Fonte: Virgens Neto *et al.*, (2015).

7.3 Formação da Bacia de Alagoinha

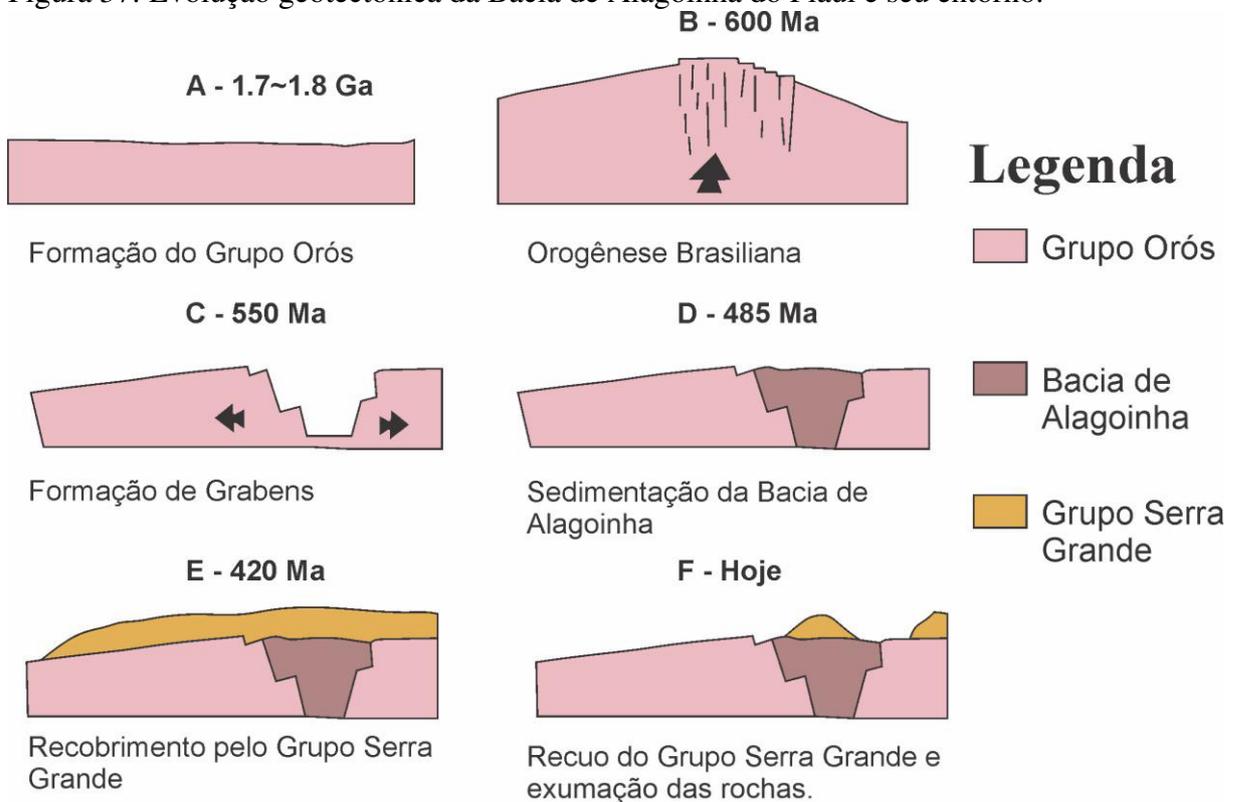
Nesse contexto, a Bacia de Alagoinha representa neste estudo um modelo dessa fase de separação continental, sendo caracterizada como um graben que serviu para a sedimentação e formação de uma bacia. Nos trabalhos de pré-campo foram identificadas duas possíveis calhas da bacia na região e conjuntamente com esses dados foram utilizadas imagens de aerogeofísica para identificação de possíveis condicionantes estruturais tanto para disposição das calhas como possíveis regiões com presença hidrotermal. Em campo, foi identificada a presença de duas calhas com orientação E-W, tendo os dados de gamaespectrometria sido essenciais para identificação das unidades litológicas da bacia e seu entorno. Quando analisadas as calhas pela gamaespectrometria foi possível a identificação somente da calha mais expressiva espacialmente, não tendo sido possível a identificação a nível de detalhe da menor calha.

A sedimentação da Bacia de Alagoinha caracteriza-se como alternâncias grosseiras de arenitos grosseiros e conglomerados polimíticos, provenientes da exudação e erosão do relevo e dos sedimentos do supercontinente Gondwana que se encontrava literalmente quebrando, para formar no seu ápice tectônico o oceano atlântico, o qual perdura até hoje. Com

o mapeamento em semi-detilhe realizado na Bacia de Alagoinha foi possível correlacionar as características sedimentares e a associação litológica a Formação Melancia, pertencente ao Grupo Rio Jucá, da Bacia de Cococi, e também a Formação Aprazível do Grupo Jaibaras, na Bacia do Jaibaras.

Vale destacar que o Grupo Serra Grande está sobrepondo parte das duas calhas, sendo na calha localizada mais a NE a interpretação dos autores de que a essa apresenta continuidade em subsuperfície, sendo em parte recoberta pelo Grupo Serra Grande, e por esse motivo definimos a existência de duas calhas na área, ao invés de três calhas.

Figura 37: Evolução geotectônica da Bacia de Alagoinha do Piauí e seu entorno.



Fonte: Elaborado pelos autores

7.4 Evolução do Magnetitito

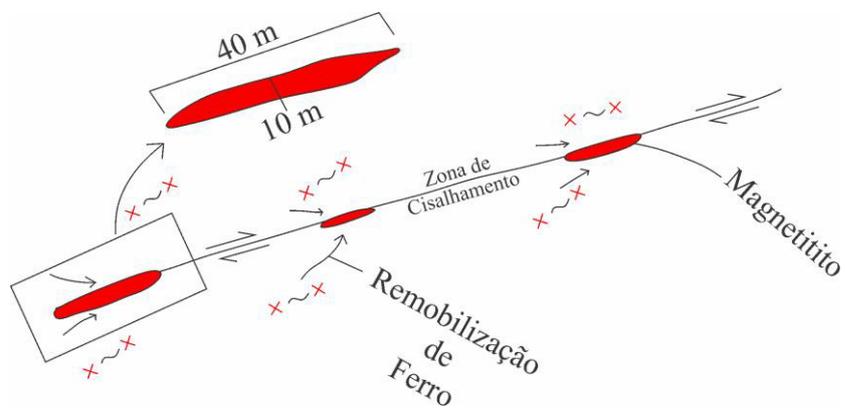
Dentro das ocorrências minerais que foram mapeadas em campo destacou-se a presença de corpos de magnetitito ao longo de um importante zona de cisalhamento. Essa ZC apresenta regime transcorrente dextral, está localizada na parte central da área de mapeamento e tem orientação NE-SW.

A gênese do magnetitito foi possível devido um processo hidrotermal de alta temperatura que transportou metais já existentes das rochas básicas do embasamento (opacos,

piroxênios, anfibólios) pela ação de fluidos hidrotermais para a zona de cisalhamento, aumentando as condições de temperatura e pressão da região.

Esse desequilíbrio foi responsável por recrystalizar os minerais pré-existent no embasamento, gerando uma liberação do ferro que foi mobilizado para bolsões ao longo da zona de cisalhamento, formando assim pontos com maiores concentrações de minerais ricos em ferro como magnetita e hematita. As dimensões da maior ocorrência de magnetitito são de aproximadamente 40 metros de comprimento e 10 metros de largura.

Figura 38: Esquema demonstrando como ocorre a gênese dos magnetititos ao longo da zona de cisalhamento.



Fonte: Elaborado pelos autores.

8 CONCLUSÕES

- A evolução geotectônica da área se resume em: surgimento do Grupo Orós (~1.7Ga), o qual sofreu influência da Orogênese Brasileira (600Ma), ao fim do Ciclo Brasileiro ocorrem eventos extensionais gerando grabens que após sua sedimentação dão origem a Bacia de Alagoinha (485Ma), por fim, tem-se o recobrimento da região pela deposição do Grupo Serra Grande (420Ma) que sofreu e sofre processos erosivos, configurando a atual disposição geológica da região.
- A partir do mapeamento realizado na escala de semi-detalhe de 1:40.000 foi possível delimitar as unidades estratigráficas existentes na área de estudo, representadas pelo Grupo Orós, Unidade Alagoinha do Piauí, Grupo Serra Grande, bem como um corpo de magnetitito até então não descrito na literatura;
- Em campo foi constatado que o Grupo Serra Grande cobre parcialmente as duas calhas da Bacia de Alagoinha do Piauí, sendo possível inferir uma continuidade das calhas em subsuperfície. A calha localizada mais a oeste apresenta uma continuidade para oeste coberta pelo Grupo Serra Grande e a calha a nordeste apresenta duas ocorrências isoladas que possivelmente se conectam em subsuperfície;
- Foram definidas e caracterizadas 3 diferentes alterações hidrotermais: Silicificação, K-feldspatização e Epidotização;
- A ocorrência de magnetitito tem como possível condição de formação o surgimento da zona de cisalhamento, o que ocasionou uma remobilização de fluidos ricos em ferro e concentrou-os em bolsões ao longo da zona de cisalhamento;
- Foi possível identificar em campo que as ocorrências de minerais de cobre (calcopirita e malaquita) estão relacionadas a estruturas secundárias da zona de cisalhamento, todas contidas no Grupo Orós;
- Foi possível identificar que todas as bacias de transição da região (Carnaubinhas, São Bento, Catolé-São Julião e Alagoinha do Piauí) são influenciadas pela geologia estrutural regional, controlando a formação, disposição espacial e orientação das bacias e seu arcabouço. Nesse contexto, é possível interpretar que as mineralizações de hematita + Cu presentes nas bacias podem representar um sistema mineral rúptil IOCG na região estudada.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. B. DE; GOMES, J. R. DE C. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**: estado do Piauí: diagnóstico do município de Pio IX. 2004a.

AGUIAR, R. B. DE; GOMES, J. R. DE C. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**: estado do Piauí: diagnóstico do município de Alagoinha do Piauí. 2004b.

ALMEIDA, F.F.M. et al. **Províncias estruturais brasileiras**. Simpósio de Geologia do Nordeste, v. 8, n. 1977, p. 363-391, 1977.

ALMEIDA, F. F. M. ET AL. **Brazilian structural provinces**: an introduction. *Earth-science Reviews*, v. 17, n. 1-2, p. 1-29, 1981.

ALMEIDA, F. F. M. DE; HASUI, Y.; NEVES, B. B. DE B. **The Upper Precambrian of South America**. *Boletim IG*, v. 7, n. 0, p. 45-80, 1 dez. 1976.

ALMEIDA, F. F. M. **Diferenciação tectônica da Plataforma Brasileira**. In: 23º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, 1969. *Anais*, 1: p.29-46.

Almeida, F.F.M., Black, R., 1968. **Geological comparison of northeastern South America and western Africa**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 40, 317-319.

ANGELIM, LA de A. et al. Folha SB-24-Jaguaribe. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG**. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM, 2004.

ARTHAUD, M. H. et al. **Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa**. In: PANKHURST R. J. et al. (Eds.). *West Gondwana. Pre-Cenozoic correlations across the South Atlantic region*. Geological Society, London, Special Publications, v. 294, n. 1, p. 49-67, 2008.

BARTON, M. D.; JOHNSON, D. A. Footprints of Fe-oxide (-Cu-Au) systems. SEG 2004: **Predictive Mineral Discovery Under Cover**. Centre for Global Metallogeny, Spec. Pub. 33. University of Western Australia Special Publication, v. 33, p. 112-116, 2004.

BARTON, M. D. **Iron oxide (-Cu-Au-REE-P-Ag-U-Co) systems**. In: *Treatise on Geochemistry: Second Edition*. Elsevier Inc., 2013.

BLUM, M. L. B. **Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua Aplicação à Prospecção Mineral**. 1999. 247 p. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

BRITO NEVES, B.B. (1983): **O Mapa Geológico do Nordeste Oriental do Brasil**, Escala 1:1.000.000. Tese de Livre Docência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 177p.

BRITO NEVES, BENJAMIN BLEY; CORDANI, Umberto G. **Tectonic evolution of South America during the late Proterozoic**. *Precambrian Research*, v. 53, n. 1-2, p. 23-40, 1991.

BRITO NEVES, B. B. **The Cambro-Ordovician of the Borborema Province**. Boletim IG - Série Científica 29, p. 175-193, 1998.

BRITO NEVES, B. B. **América do Sul: quatro fusões, quatro fissões e o processo acrescionário Andino**. Revista Brasileira Geociências, 29(3):379-392, 1999.

BRITO NEVES, B.B., Santos, E.J., Van Schmus, W.R. (2000): **Tectonic History of the Borborema Province, Northeastern Brazil**. In: Cordani U.G., Milani E.J., Filho A.T., Campos D.A. (Eds.) Tectonic Evolution of South America. International Geological Congress, 31º, Anais, Rio de Janeiro, pp.151-182.

Caby, R., 1989. **Precambrian terranes of Benin Nigeria and Northeast Brazil and Late Proterozoic SouthAtlanticfit**. Geological Society of America Special Paper 230, 145–158.
CABY, R.; ARTHAUD, M. Major Precambrian nappes of the Brazilian belt, Ceará, northeast Brazil. *Geology*, v. 14, n. 10, p. 871-874, 1986.

CEPRO - Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí. **Diagnóstico Socioeconômico Alegrete do Piauí**, Piauí. 1990.

CEPRO - Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí. **Diagnóstico Socioeconômico São Julião**, Piauí. 1990.

CAVALCANTE, J.C. **Limites e evolução geodinâmica do sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil**. 1999. 87f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Exatas e da Terra Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1999.

DELGADO, I. M.; Souza, J. D.; Silva, L. C.; Silveira Filho, N. C.; Santos, R. A.; Pedreira, A. J.; Guimarães, J. T.; Angelim, L. A. A.; Vasconcelos, A. M; Gomes, I. P.; Lacerda Filho, J. V.; Valente, C. R.; Perrotta, M. M.; Heineck, C. A. **Geotectônica do Escudo Atlântico**. In: Bizzi, L. A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R. M.; Gonçalves, J. H. (Eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: Serviço Geológico do Brasil, 2003, p. 227-334.

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. **Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors**. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, v. 17, n. 2, p. 187-200, 1997.

FETTER, A.H., Van Schmus W.R., Santos T.J.S., Neto J.A.N., Arthaud M.H. (2000): **UPb e Sm- Nd Geochronological Constrains on the Crustal Evolution and Basement Architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil**: Implications for the Existence of the Paleoproterozoic Supercontinent "Atlantica". Revista Brasileira de Geociências, Vol. 30, Nº 1, pp.102-106.

FETTER, Allen H. et al. **Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil**: implications for the assembly of west Gondwana. *Gondwana Research*, v. 6, n. 2, p. 265-273, 2003.

GANADE C. E., Cordani U. G., Agbossoumounde Y, Caby R., Miguel A. S., Weinberg R. F., Sato, K., 2016. **Tightening-up NE Brazil and NW Africa connections: New U–Pb/Lu–Hf**

zircon data of a complete plate tectonic cycle in the Dahomey belt of the West Gondwana Orogen in Togo and Benin. *Precambrian Research*, n.276, p.24–42,

GÓES, A.M., FEIJÓ, F.J. 1994. **Bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, 8(1):57-67.

HITZMAN, M. W. **Iron oxide-Cu-Au deposits: What, where, when, and why.** *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*, v. 1, p. 9-25, 2000.

HOOVER, Donald B.; PIERCE, Herbert A. **Annotated bibliography of gamma-ray methods applied to gold exploration.** US Geological Survey, 1990.

HURLEY, P. M. *et al.* **Test of Continental Drift by Comparison of Radiometric Ages: A pre-drift reconstruction shows matching geologic age provinces in West Africa and Northern Brazil.** *Science*, v. 157, n. 3788, p. 495-500, 1967.

JARDIM DE SÁ, E. F. **A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia brasileira/pan-africana.** Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, DF, 1994.

JARDIM DE SÁ, Emanuel F. Jardim *et al.* **Terrenos proterozóicos na Província Borborema e a margem norte do Cráton São Francisco.** *Brazilian Journal of Geology*, v. 22, n. 4, p. 472-480, 1992.

JACOMINE, P.K.T. *et al.* **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Piauí.** Rio de Janeiro. EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN. 1986. 782 p ilustr.

JÚNIOR,

MAAS, M. V. R. **Integração de dados de geofísica aérea e geologia aplicada a exploração mineral no setor sudoeste do cinturão cuprífero Orós-Jaguaribe – Província Borborema.** 77 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

MACHADO, M.A. **Caracterização descritiva e genética de ocorrências cupro-hematíticas no setor sudoeste do Sistema Orós-Jaguaribe Província Borborema.** 118 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

MARTINS, Guttenberg; OLIVEIRA, Elson P.; LAFON, Jean-Michel. **The Algodões amphibolite-tonalite gneiss sequence, Borborema Province, NE Brazil:** geochemical and geochronological evidence for Palaeoproterozoic accretion of oceanic plateau/back-arc basalts and adakitic plutons. *Gondwana Research*, v. 15, n. 1, p. 71-85, 2009.

MEDEIROS, João Victor Frazão de; PAULA, Rafael Nascimento. **Mapeamento Geológico da Bacia Catolé-são Julião e Suas Ocorrências de Cobre, Piauí – Brasil.** 2019. 132 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

MENDONÇA, J. C. G. S.; BRAGA, A. P. G. **As faixas vulcano-sedimentares de Orós e Jaguaribe: um greenstone belt.** Revista Brasileira de Geociências, v. 17, n. 3, p. 225-241, 1987.

MINTY, B.R.S. 1988. **A review of airborne gamma-ray spectrometric data-processing techniques.** Canberra: Australian Gov. Publ. Service. 48 p.

NETO, José de Araújo Nogueira. **Evolução Geodinâmica das faixas granulíticas de Granja e Cariré, extremo noroeste da Província Borborema.** 2000. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista.

NETO, Luiz Fornazzari; FERREIRA, Francisco José Fonseca. **Gamaespectrometria integrada a dados exploratórios multifonte em ambiente SIG aplicada à prospecção de ouro na Folha Botuverá, SC.** Brazilian Journal of Geology, v. 33, n. 2, p. 197-208, 2003.

NEVES, S. P. et al. **Timing of crust formation, deposition of supracrustal sequences, and Transamazonian and Brasiliano metamorphism in the East Pernambuco belt (Borborema Province, NE Brazil): Implications for western Gondwana assembly.** Precambrian Research, v. 149, n. 3–4, p. 197–216, 2006.

PARENTE, C. V. et al. **Contexto geológico, tipológico e geoquímico isotópico das brechas hidrotermalizadas de ferro e cobre tipo IOCG associadas à bacia Eopaleozóica Jaibaras, da Província Borborema, Brasil.** In : Contribuições da Metalogenia do Brasil. FRANTS, J.C., MARQUES, J.C. HARDY, J. v. 1, p. 175-197, 2011.

PARENTE, C. V.; SILVA FILHO, W. F.; ALMEIDA, A. R. **Bacias do estágio de transição do domínio setentrional da Província Borborema.** In: MANTESSO NETO V. et al. (Ed.). Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Editora Beca, São Paulo, 525-536, 2004.

PARENTE, C. V.; ARTHAUD, M. H. O. **Geologia e tipologia do minério da ocorrência de Cu-Fe associada à Sequência Metavulcano-Sedimentar Cachoeirinha, região de Aurora-CE.** Revista de Geologia da UFC, v. 17, n. 2. P. 157-172. 2004.

PARENTE, C. V.; ARTHAUD, MICHEL HENRI. **O Sistema Orós-Jaguaribe no Ceará, NE do Brasil.** Revista Brasileira de Geociências, v. 25, n. 4, p. 297-305, 1995.

PIRAJNO F. **Hydrothermal Processes and Mineral Systems.** Springer, Australia, p. 1250. 2009.

RIBEIRO, Vanessa Biondo; MANTOVANI, Marta SM; LOURO, Vinicius Hector Abud. **Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico.** Terræ Didática, v. 10, n. 1, p. 29-51, 2014.

SANTOS, T. J. S.; FETTER, A. H.; NETO, JA Nogueira. **Comparisons between the northwestern Borborema Province, NE Brazil, and the southwestern Pharusian Dahomey Belt, SW Central Africa.** Geological Society, London, Special Publications, v. 294, n. 1, p. 101-120, 2008.

SANTOS, EJ dos. **Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema.** In: Congresso Brasileiro de Geologia. SBG Salvador, 1996. p. 47-50.

SARAIVA, Claudia Estefani; RODRIGUES, Thainara. **Mapeamento geológico e petrografia das ocorrências de cobre da Bacia de Carnaubinha, Pio IX – PI**. 2018. 122 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

DA SILVA, António José Ferreira. **Processos De Migmatização No Complexo Granulítico De Granja:(Domínio Médio Coreau, Ceará, Brasil)**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro (Portugal).

SILVA, A. J. P. et al. **Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores**. In: BIZZI, L. A. et al. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Textos, Mapas & SIG**. Brasília: CPRM, 2003. p. 55-85.

TEIXEIRA, A. L. **Bacias do Estágio da Transição da Plataforma Sul-Americana**. In: MANTESSO NETO V. et al. (Ed.). **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Editora Beca, São Paulo, 487-537, 2004.

TROMPETTE, J. L. et al. **Scanning of the cationic surfactant adsorption on a hydrophilic silica surface at low surface coverages**. Langmuir, v. 10, n. 3, p. 812-818, 1994.

TORQUATO, J.R. 1995. **A geologia do noroeste do Ceará**. Uma visão histórica. Rev. Geol. 8 : 5-170.

TORQUATO, Joaquim Raul; NETO, José de Araújo Nogueira. **Historiografia da região de dobramentos do Médio Coreau**. Brazilian Journal of Geology, v. 26, n. 4, p. 303-314, 1996.

UVULA, Eduardo Ernesto; DIDONÉ, Maria Eduarda Zilio. **Mapeamento Geológico e Petrografia das Ocorrências de Cobre na Bacia de São Bento, Extremo Leste do Piauí-pi**. 2019. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

VERÍSSIMO, Cesar Ulisses Vieira et al. **Carta geológica: folha Pio IX-SB. 24-YA-VI**. 2014.

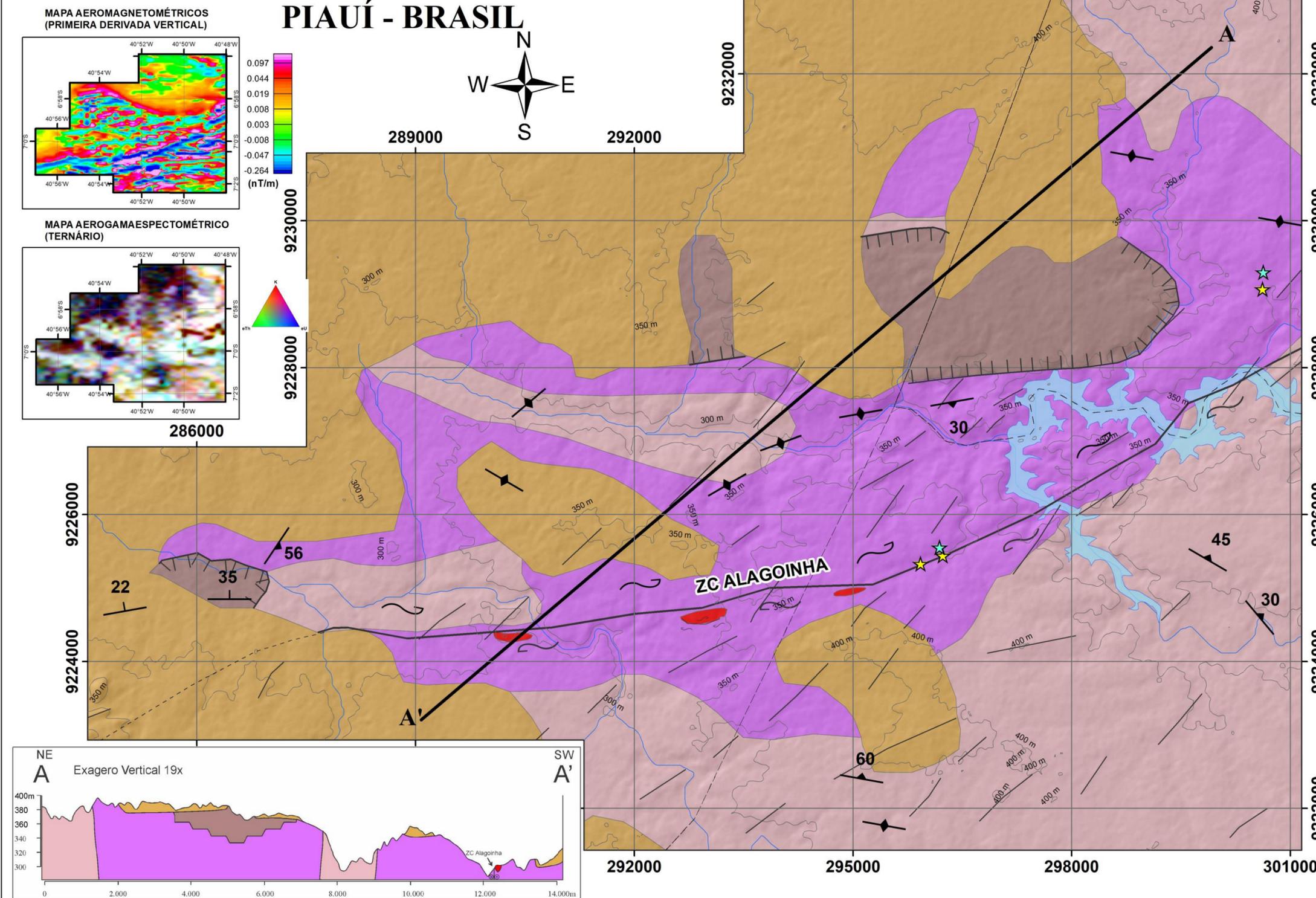
VIRGENS NETO, Joaquim das (Org.) **Geologia e Recursos Minerais da Folha Fronteiras SB.24-YC- III Escala 1:100.000**, Estados do Piauí Pernambuco e Ceará. Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 79p il. + mapas, 2015.

VAN SCHMUS W.R., BRITO NEVES B. B., HACKSPACHER P., BABINSKI M. **U/Pb and Sm/Nd Geochronologic Studies of the Eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: Initial Conclusions**. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 8, Nº 3/4, pp. 267-288, 1995.

WILLIAMS, P. J. et al. **Iron oxide copper-gold deposits: Geology, space-time distribution, and possible modes of origin**. Economic Geology, p. 371-405, 2005.

APÊNDICE A – MAPA GEOLÓGICO

APÊNDICE A - MAPA GEOLÓGICO: MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA BACIA DE ALAGOINHA DO PIAUÍ E OCORRÊNCIAS MINERAIS ASSOCIADAS, PIAUÍ - BRASIL



RELAÇÕES TECTONOESTRATIGRÁFICAS

		Provincia Borborema	Provincia Parnaíba
		Dominio Jaguaribeano	
Era	Período	419 Ma	
Paleozoico	Siluriano		Grupo Serra Grande
	Cambro-Ordoviciano	443 Ma	
PALEOPROTEROZOICO NP		550 Ma	

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

SILURIANO

Bacia do Parnaíba

Arenitos conglomeráticos de cor creme à esbranquiçada com seixos bem arredondados de quartzo e de quartzitos dispersos em uma matriz de areia fina constituída de grãos subarredondados de quartzo e feldspato caulinizados, com estratificação plano-paralela e cruzada

EO-CAMBRIANO

Bacias de Alagoinha

Conglomerados: Conglomerados polimíticos, inequigranulares, variando de clasto a matriz suportada. Apresentam matriz arenosa muito silicificada, e clastos métricos a centimétricos de riolito, granito, metarenito, metassiltito e quartzo.

NEOPROTEROZOICO

Magnetita sin-tectônica granulares e laminares orientadas na foliação paralela a transcorrência.

PALEOPROTEROZOICO

Grupo Orós

Metavulcânica: rocha foliada, de composição intermediária, melanocrática com fenocristais de plagioclásio.

Ortognaisses: variam de félsicas a máficas, com textura porfírica e bandamento gnáissico evidente. Apresentam-se alteradas hidrotermalmente: com epidotização, k-feldspatização e silicificação

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CENTRO DE CIÊNCIAS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Autores
Israel Salles Nogueira
Victor Saulo Moreira
Orientador
Prof. Dr. Sergio Roberto Bacelar Huhn
Co-orientador
Prof. Dr. Christiano Magini

1:40.000

0 1 2 Km

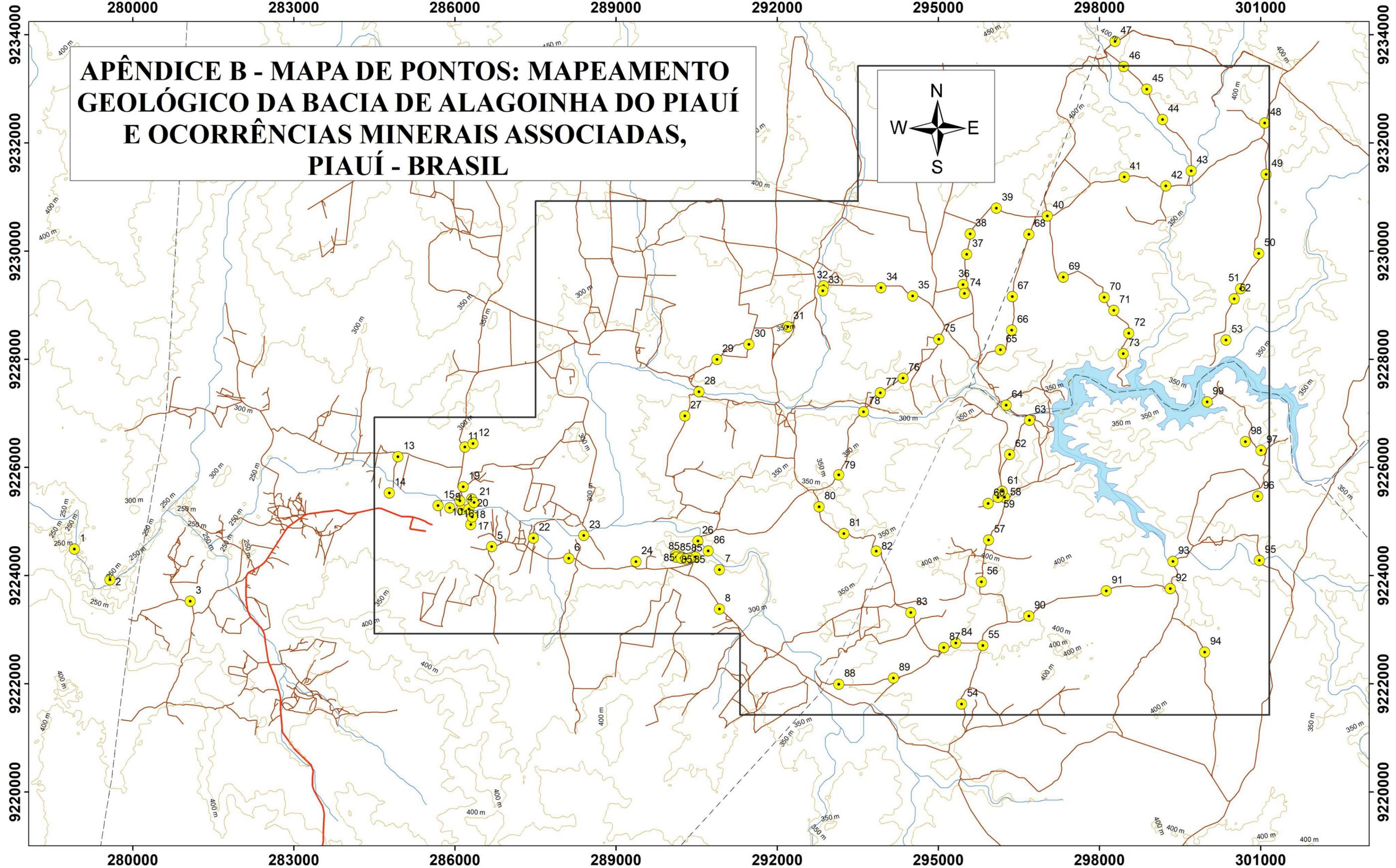
Sistema de Coordenadas:
SIRGAS 2000 UTM
Zona 24 Sul / Unid: Metros

Legenda

- ◆ Foliação Vertical
- ▲ Foliação
- ┆ Acamamento
- ~ ZC Alagoinha
- Lineamentos
- ☆ Ocorrência Malaquita
- ★ Ocorrência Calcopirita
- Curvas de nível (50m)
- - - Malha Municipal
- Área de Estudo
- Riacho das Favelas
- Drenagens

APÊNDICE B – MAPA DE PONTOS

APÊNDICE B - MAPA DE PONTOS: MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA BACIA DE ALAGOINHA DO PIAUÍ E OCORRÊNCIAS MINERAIS ASSOCIADAS, PIAUÍ - BRASIL



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CENTRO DE CIÊNCIAS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

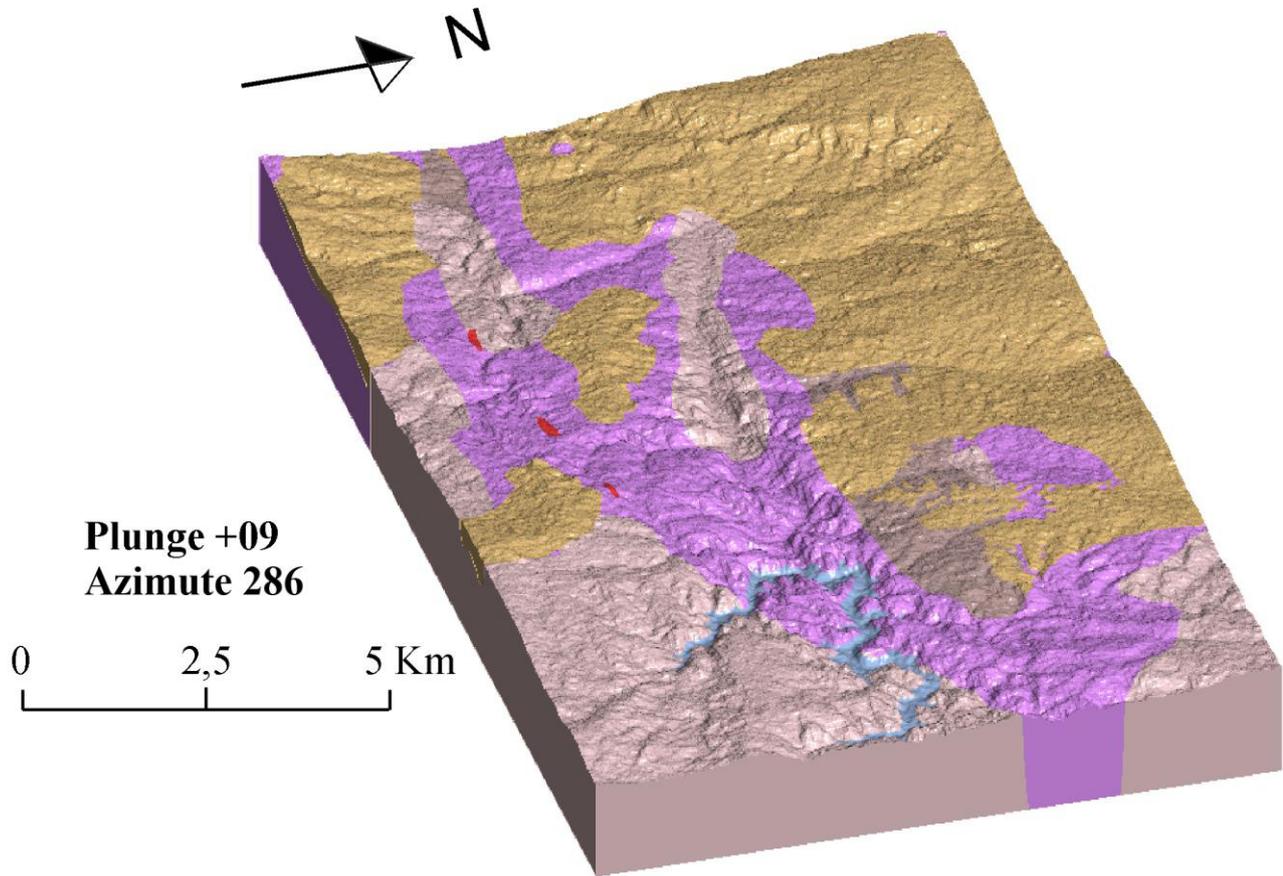
Autores
Israel Salles Nogueira
Victor Saulo Moreira
Orientador
Prof. Dr. Sergio Roberto Bacelar Huhn
Co-orientador
Prof. Dr. Christiano Magini



Convenções Cartográficas

- Curvas de Níveis de 50 m
- estrada principal
- estradas secundárias
- Malha Municipal
- Área de Estudo
- Pontos
- Riacho das Favelas
- Drenagens

APÊNDICE C – MODELO GEOLÓGICO 3D



Fonte: Elaborado Pelos autores

APÊNDICE D – TABELA DE PONTOS

Ponto	Coordenada X	Coordenada Y
1	278916.00	9224488.00
2	279579.00	9223921.00
3	281073.00	9223522.00
4	286131.00	9225218.00
5	286684.00	9224535.00
6	288123.00	9224315.00
7	290928.00	9224105.00
8	290928.00	9223380.00
9	285905.00	9225251.00
10	286096.00	9225381.00
11	286185.00	9226373.00
12	286337.00	9226437.00
13	284941.00	9226195.00
14	284779.00	9225523.00
15	285687.00	9225290.00
16	286297.00	9224943.00
17	286324.00	9225082.00
18	286263.00	9225225.00
19	286156.00	9225637.00
20	286313.00	9225415.00
21	286357.00	9225347.00
22	287463.00	9224688.00
23	288401.00	9224740.00
24	289372.00	9224254.00
25	290421.00	9224336.00
26	290526.00	9224635.00
27	290282.00	9226948.00
28	290546.00	9227395.00
29	290879.00	9227992.00
30	291475.00	9228273.00
31	292198.00	9228597.00
32	292867.00	9229355.00
33	292851.00	9229260.00
34	293934.00	9229320.00
35	294524.00	9229167.00
36	295462.00	9229376.00
37	295530.00	9229938.00
38	295592.00	9230315.00
39	296081.00	9230788.00
40	297030.00	9230645.00
41	298462.00	9231364.00
42	299236.00	9231201.00

43	299709.00	9231478.00
44	299177.00	9232430.00
45	298882.00	9232990.00
46	298453.00	9233406.00
47	298292.00	9233872.00
48	301078.00	9232362.00
49	301102.00	9231414.00
50	300965.00	9229952.00
51	300628.00	9229300.00
52	300510.00	9229113.00
53	300357.00	9228353.00
54	295435.00	9221623.00
55	295828.00	9222705.00
56	295803.00	9223882.00
57	295938.00	9224657.00
58	296234.00	9225443.00
59	296112.00	9225443.00
60	295929.00	9225331.00
61	296187.00	9225554.00
62	296330.00	9226235.00
63	296697.00	9226870.00
64	296265.00	9227146.00
65	296159.00	9228174.00
66	296367.00	9228536.00
67	296377.00	9229157.00
68	296687.00	9230307.00
69	297328.00	9229515.00
70	298089.00	9229139.00
71	298268.00	9228898.00
72	298546.00	9228477.00
73	298442.00	9228101.00
74	295487.00	9229211.00
75	295012.00	9228366.00
76	294343.00	9227648.00
77	293921.00	9227377.00
78	293610.00	9227025.00
79	293148.00	9225861.00
80	292780.00	9225267.00
81	293242.00	9224774.00
82	293843.00	9224450.00
83	294490.00	9223315.00
84	295328.00	9222751.00
85	290478.00	9224342.00
85	290350.00	9224316.00

85	290233.00	9224334.00
85	290193.00	9224350.00
85	290110.00	9224380.00
85	290123.00	9224340.00
85	290212.00	9224320.00
85	290299.00	9224303.00
86	290717.00	9224454.00
87	295101.00	9222665.00
88	293147.00	9221990.00
89	294165.00	9222102.00
90	296688.00	9223249.00
91	298128.00	9223715.00
92	299321.00	9223755.00
93	299368.00	9224258.00
94	299961.00	9222581.00
95	300978.00	9224277.00
96	300946.00	9225463.00
97	301007.00	9226311.00
98	300717.00	9226472.00
99	300005.00	9227207.00