



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

DANIELA ROCHA GODOY  
HELDER MORAES SILVA DUARTE

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS GRANITÓIDES DO FÁCIES SERRA  
BRANCA, QUIXERAMOBIM - CE

FORTALEZA  
2012

DANIELA ROCHA GODOY  
HELDER MORAES SILVA DUARTE

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS GRANITÓIDES DO FÁCIES SERRA  
BRANCA, QUIXERAMOBIM - CE

Monografia submetida à Coordenação do  
Curso de Graduação em Geologia, da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial para obtenção do título de Geólogo.  
Área de concentração: Rochas Ornamentais.

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira  
Neto  
Coorientador: Msc. Francisco Diones Oliveira  
Silva

FORTALEZA

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

G532c Godoy, Daniela Rocha.

Caracterização tecnológica dos granitóides do fácies Serra Branca, Quixeramobim – Ce / Daniela Rocha  
Godoy, Helder Moraes Silva Duarte. – 2012.  
113 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,  
Curso de Geologia, Fortaleza, 2012.

Orientação: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto.

Coorientação: Prof. Me. Francisco Diones Oliveira Silva.

1. Caracterização tecnológica. 2. Fácies - Serra Branca (Quixeramobim-CE). 3. Rocha ornamental. 4.  
Geologia. I. Duarte, Helder Moraes Silva. II. Título.

CDD 551

---

DANIELA ROCHA GODOY  
HELDER MORAES SILVA DUARTE

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS GRANITÓIDES DO FÁCIES SERRA  
BRANCA, QUIXERAMOBIM – CE

Monografia submetida à Coordenação do  
Curso de Graduação em Geologia, da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial para obtenção do título de Geólogo.  
Área de concentração: Rochas Ornamentais.

Aprovada em 31/08/2012.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>a</sup>. Ms. Teresa Falcão Oliveira Neri (Membro)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Irani Clezar Mattos (Membro)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico a mim e aos meus pais.  
(Daniela Rocha Godoy)

Dedico aos meus pais, H3lio e Laurinete.

(Helder Moraes Silva Duarte)

## AGRADECIMENTOS

Só eu sei a dificuldade que passei para um dia conseguir chegar aqui, foram anos de lutas e conquistas. Dedico essa minha vitória a minha mãe, Lúcia, meu pai, Maximiliano, meu irmão, Roberto, minha irmã, Carmem, a minha mais que irmã, Leuda, aos meus queridos sobrinhos, Rafael e Gabriel, obrigada por me ajudar a chegar ao fim dessa batalha que é apenas uma no meio de tantas outras que estão por vir.

Agradeço a cada um que me ajudou nessa trajetória, aos que me aturaram com minhas chatices e abusos. A minha grande amiga, Laurianne, que dividi tantas frustrações, conquistas, sofrimentos e angustias, durante todos esses anos de faculdade. Agradeço a Aline, Juliana, Elicius, Higor, Dudu, Enoque, Josilene, Clodivaldo, Vanessa, Vânia, Kleisson, Frederico (sempre me tratou com carinho em campo I e III), Evilarde, Áquila, Wollker, Helder, Joni e Agnaldo. Em especial a Raphaele, que me ajudou BASTANTE quando precisei. Ao meu amigo Saulo, que tanto me ajudou durante meu estágio no DNPM.

Agradeço a todos da sala do “Zeca”, aos que me ajudaram no meu campo do relatório, Amanda e Ricardo, em especial ao meu coorientador Diones, que me ajudou bastante na elaboração do trabalho final.

Agradeço ao meu companheiro Marcus, que esteve ao meu lado, me ajudando e apoiando mesmo quando pensava em desistir.

Não tenho como deixar de fora os professores que mais me ajudaram e influenciaram nessa minha jornada, a querida mãe Tereza, que jamais esquecerei sua paciência e dedicação para comigo. Ao querido Michell Arthaud (*in memoriam*), que tive o prazer de ser ensinada por ele. Ao professor Afonso, que nunca me negou conhecimento da sua parte em todos esses anos. E não podendo deixar de fora os queridos professores Otaciel, Christiano, César, Clóvis e Wellington. E em especial ao meu Orientador José de Araújo Nogueira Neto, por sua paciência e dedicação no fim dessa etapa.

## AGRADECIMENTOS

Registro aqui meus agradecimentos a todos aqueles que me ajudaram e incentivaram não só durante a confecção deste trabalho, mas nos quatro anos e meio de curso.

Primeiramente aos meus pais, Hélio Silva Duarte e Laurinete Moraes de Oliveira Duarte, e irmãos, Hélio Silva Duarte Filho e Maria Clara Moraes Duarte, por me apoiar incondicionalmente durante esse longo período, por compreenderem todas as minhas ausências, por mesmo sem entenderem muito sobre geologia, me darem atenção nas intermináveis explicações geológicas, por entenderem que essa escolha requer tempo e por se orgulharem dessa decisão. À minha companheira, Ruhama Braga, pela amizade sincera, dedicação, carinho, cuidados, compreensão, apoio, atenção, sem a qual não teria conseguido chegar até aqui. Aos meus avôs, tios, primos e agregados, por toda torcida, benção e incentivo, que me deram forças durante essa longa caminhada.

Ao Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto e ao Msc. Francisco Diones Oliveira Silva, orientador e coorientador, respectivamente, pelos ensinamentos, pelas dúvidas solucionadas e criadas, pelos finais de semana em campo e no laboratório, por serem eficazes na arte de resolver problemas.

Aos meus amigos que começaram essa caminhada junto a mim, Wollker, Áquila, Evilarde e Pedro Angelo, pela amizade, pelas risadas, pelas discussões, geológicas ou não, pela companhia em sala de aula, laboratório, campo, hospitais ou topics (viradas ou não), enfim, por todos bons e maus momentos que compartilhamos. Aos amigos que fiz durante o curso, Marcos Paulo, Erico, Frederico, Flávio, Daniela e Joni, pelo companheirismo, pela compreensão, pela ajuda prestada, pelas conversas bestas, nerds ou filosóficas. Aprendi muito com todos vocês e sou grato por tê-los conhecidos.

Aos meus professores, David, Neivaldo, José Airton, Zeca, Christiano, Tereza, Afonso, Wellington, Felipe, Cajaty, Otaciel, Beltrão, Cynthia, Clóvis, César Ulisses, Sônia, Irani, Itabaraci, César Martineli, Wagner, Michael, Satander, Mariano, por compartilharem seus conhecimentos e experiência, tornando possível o entendimento da complexa geologia.

A todos da sala do Zeca, por todos os dias de trabalho ou de diversão que passei com vocês, pela ajuda prestada, pelas brigas com e sem sentido algum, pelas risadas, pela companhia.

“Sou egoísta, impaciente e um pouco insegura. Cometo erros, sou um pouco fora do controle e às vezes difícil de lidar, mas se você não sabe lidar com o meu pior, então com certeza, você não merece o meu melhor!”

(Marilyn Monroe)

“Minhas raízes estão no ar  
Minha casa é qualquer lugar  
Se depender de mim  
Eu vou até o fim”

(Até o fim - Humberto Gessinger)

## RESUMO

O presente trabalho apresenta a caracterização tecnológica e mineralógica do granitoide do fácies Serra Branca, o qual faz parte do contexto geológico do batólito Quixeramobim, este fazendo contato com gnaisses migmatíticos da unidade Juatama. O batólito está localizado a sul da sede municipal de Quixeramobim – CE. Tendo como objetivo avaliar a aplicação da rocha do fácies Serra Branca para uso como rocha ornamental, foram realizados ensaios tecnológicos, como: Índices Físicos, Compressão Uniaxial, Módulo de Ruptura (Flexão por carregamento em 3 pontos), Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas e Desgaste Abrasivo pelo método de AMSLER, baseados em normas da ABNT e ASTM. Acrescentando aos demais objetivos do trabalho foi realizado análises macroscópicas e microscópicas que permitiram classificar a amostra Serra Branca como um sienogranito composto por K-feldspato + quartzo + plagioclásio + biotita + anfibólio ± titanita ± apatita ± epidoto, a qual apresenta uma coloração cinza claro, com granulação da matriz variando de 0,5 a 13,0 mm, apresentando ainda fenocristais de K-feldspato que chegam a medir 20 cm. A amostra apresenta ainda um grau de microfissuramento igual a 3,17 microfissuras/mm<sup>2</sup>, sendo destes 87,13% das microfissuras intragrão e 12,87% intergrão. A caracterização tecnológica mostrou resultados para porosidade aparente, absorção d'água e densidade aparente, igual a 0,80%, 0,30% e 2696,95 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, apresentando assim valores aceitáveis pelas normas. O ensaio de compressão uniaxial se mostrou insatisfatório devido a erros no corte dos corpos-de-prova, mostrando média dos resultados igual a 66,6 MPa, abaixo dos sugeridos pelas normas. Contudo o ensaio de Módulo de Ruptura (Flexão por carregamento em 3 pontos) apresentou resultado satisfatório com valor médio igual a 11,6 MPa, superior aos sugeridos pelas normas. O ensaio de Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas mostrou-se satisfatórios para os dois tipos de corpos-de-prova no qual o ensaio foi submetido, com resultados de 4893,42 m/s para os corpos de 7x7x7 cm e 4222,92 m/s para os corpos de 20x10x5 cm. As amostras submetidas ao ensaio de Desgaste Abrasivo pelo Método de AMSLER apresentaram desgaste de 0,93 para 1000 m, mostrando valores abaixo dos comparativos. Assim, conclui-se que a amostra Serra Branca mostrou resultados satisfatórios para o uso ornamental de pisos, bancadas, revestimento e aplicações semelhantes, com exceção do ensaio de Compressão Uniaxial, o que causa restrições ao seu uso em estruturas de edificações e aplicações semelhantes.

Palavras-chave: Caracterização tecnológica; Fácies Serra Branca; Rocha ornamental.

## ABSTRACT

The current work presents the mineralogical and technological characterization of granitoid of Serra Branca facies, which is part of the geological context of the Quixeramobim batholith, this one is in contact with the migmatitic gneiss of Juatama Unit. This batholith is located at the south of the Quixeramobim town, in Ceará. Aiming to assess the application of Serra Branca granite for use as a dimension stone, technological tests were performed, as: Physical Indexes, Uniaxial Compression, Modulus of Rupture (Flexural loading by 3 points), Ultrasonic Pulse Velocity and Abrasive Wear (Waste) by AMSLER method, all of them based in ABNT and ASTM standards. Adding the other goals of this work was performed macroscopic and microscopic analysis that can classified the Serra Branca granite as a syenogranite composed by K-feldspar + biotite + plagioclase + quartz + Amphibole ± titanite ± apatite ± epidote, which is colored light gray, with the matrix granulating ranging between 0,5 to 13,0 mm and still presenting phenocrysts of K-feldspar with 20 cm of size. The syenogranite also shows a degree of microcracking equal to 3.17 microcracks/mm<sup>2</sup>, being 87.13% of these microcracks intragrain and 12.87% intergrain. The technological characterization showed results for apparent porosity, water absorption and apparent density, equal to 0.80%, 0.30% and 2696.95 kg/m<sup>3</sup>, respectively, those values are acceptable by the ABNT standard. The uniaxial compression test proved unsatisfactory due to errors in cutting the body of evidence, showing average score of 66.6 MPa, suggested by ABNT standard. However, the Modulus of Rupture assay (Flexural loading by 3 points) showed satisfactory results with average value of 11.6 MPa, higher than suggested by the ABNT standard. The test of Ultrasonic Pulse Velocity proved satisfactory for the two dimensions of the specimens in which the test was submitted with results of 4893.42 m/s and 4222.92 m/s to sample with 7x7x7 cm and 20x10x5 cm, respectively. The samples submitted to the test of abrasive wear by AMSLER method, exhibit wear of 0.93 to 1000 m, showing value below than the standard value. Thus, we conclude that the Serra Branca sample showed satisfactory results for the use of ornamental flooring, countertops, flooring and similar applications, with the exception of Uniaxial Compression test, which causes restrictions on its use in building structures and similar applications. Within these parameters the syenogranite of facies Serra Branca proved to be useful to ornamental market. This was justified by the results obtained for the tests.

Keywords: Technological characterization; Facies Serra Branca; Dimension stone.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

DIMAT – Divisão de Materiais

NUTEC – Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

DMC- Domínio Médio Coreaú

DCC – Domínio Ceará Central

DRGN – Domínio Rio Grande do Norte

ZC – Zona de Cisalhamento

CCr – Complexo Cruzeta

CC – Complexo Ceará

CG – Complexo Granjeiro

MSJC – Maciço São José do Campestre

ZCSP – Zona de Cisalhamento Senador Pompeu

LTB – Lineamento Transbrasiliano

ZCPa – Zona de Cisalhamento Patos

DOJ – Domínio Orós Jaguaribe

DG – Domínio Granjeiro

DPAB – Domínio Piancó-Alto Brígida

Act – Actinolita

Tr – Tremolita

Plg – Plagioclásio

Qz – Quartzo

Dps – Diopsídio

Amp – Anfibólio

Grt – Granada

KF – K-feldspato

Tit – Titanita

Aln – Alanita

Bt – Biotita

Ep – Epidoto

Op - Opaco

Ap - Apatita

## LISTA DE FIGURA

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.1</b> – Mapa de localização e acesso da área de estudo.....   | 24 |
| <b>Figura 1.2</b> – Planície de inundação e maciços residuais da região próxima à Quixeramobim...<br>.....  | 28 |
| <b>Figura 2.1</b> – Classificação qualitativa dos tipos de contatos minerais (baseado em CASTRO DORADO, 1988 e HIBBARD, 1995).....  | 33 |
| <b>Figura 2.2</b> – (A) Estufa da DIMAT – NUTEC; (B) Balança de pesagens hidrostáticas da DIMAT – NUTEC.....  | 35 |
| <b>Figura 2.3</b> – Corpos-de-prova serrados com dimensões de 5x5x5 cm utilizados na determinação dos índices Físicos. ....   | 36 |
| <b>Figura 2.4</b> – (A) Prensa Hidráulica da DIMAT – NUTEC; (B) Corpos-de-prova com dimensões de 7x7x7 cm serrados para realização do ensaio de compressão uniaxial. ....   | 38 |
| <b>Figura 2.5</b> – (A) Prensa hidráulica, rolete com tamanho igual ao corpo-de-prova da DIMAT – NUTEC; (B) corpos de prova com dimensões de 20x10x5 cm. ....   | 40 |
| <b>Figura 2.6</b> – Aparelho para medição de pulso ultrassônico TICO da DIMAT - NUTEC.....  | 41 |
| <b>Figura 2.7</b> – (A) Máquina de AMSLER da DIMAT - NUTEC; (B) Dispositivo para medida da perda de espessura da DIMAT – NUTEC, com corpo de prova acoplado.....  | 43 |
| <b>Figura 3.1</b> – Mapa do Nordeste do Brasil mostrando a Província da Borborema e seus domínios estruturais segundo Caby (1989). DMC = Domínio Médio Coreaú; DCC = Domínio Ceará Central; CCr = Complexo Cruzeta; DRGN = Domínio Rio Grande do Norte; CG = Complexo Granjeiro; MSJC = Maciço São José do Campestre; ZCSP = Zona de Cisalhamento Senador Pompeu; LTB = Lineamento Transbrasiliano; ZCPa = Zona de Cisalhamento Patos. .... | 46 |
| <b>Figura 3.2</b> – A Província da Borborema dividida em cinco domínios geotectônicos dentro dos limites do estado do Ceará segundo Arthaud <i>et al.</i> (1998). DMC = Domínio Médio Coreaú; DCC = Domínio Ceará Central; DOJ = Domínio Orós Jaguaribe; DG = Domínio Granjeiro; DPAB = Domínio Piancó-Alto Brígida; ZC = Zona de Cisalhamento; L = Lineamento; F = Falha. ....   | 47 |
| <b>Figura 3.3</b> – Esboço geológico da porção centro-sul do Domínio Ceará Central (segundo Arthaud, 2005, baseado no mapa geológico do Ceará, escala 1:500.000 – Cavalcante et al., 2003, simplificado e modificado).....  | 48 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 4.1</b> – Esboço do Mapa Geológico da Porção NW do Batólito Quixeramobim (em anexo neste trabalho).....   | 57 |
| <b>Figura 4.2</b> – Diagrama de roseta mostrando direção preferencial do fluxo magmático do Fácies Boa Fé. ....   | 62 |
| <b>Figura 4.3</b> – Diagrama de Roseta mostrando o sentido do mergulho preferencial das fraturas abertas sem preenchimento e fraturas fechadas do Fácies Boa Fé. .... | 63 |
| <b>Figura 4.4</b> – Diagrama de Roseta mostrando a direção das fraturas do Fácies Serra Branca .....<br>.....   | 65 |

## LISTA DE PRANCHAS

**PRANCHA 4.1 – Fotografia A** – Afloramento de metatexito pertencente à Unidade Juatama. Coordenadas UTM: 463937mE/9419950mN; **Fotografia B** – Afloramento de diatextito pertencente à Unidade Juatama. Coordenadas UTM: 464147mE/9420642mN; **Fotomicrografia C** – Actinolita-tremolita, apresentando hábito acicular radial, presente em rocha calcissilicática da Unidade Juatama, vista com os nicóis cruzados; **Fotomicrografia D** – Plagioclásio apresentando intercrescimento de anfibólio e quartzo em lâmina delgada rocha calcissilicática da Unidade Juatama, vista com os nicóis cruzados; **Fotomicrografia E** – Lâmina delgada de rocha calcissilicática da Unidade Juatama, apresentando diopsídio, quartzo e anfibólio, vista com os nicóis cruzados; **Fotomicrografia F** – Granada apresentando anfibólio e piroxênio no seu interior, presente em rocha calcissilicática, vista em lâmina delgada com os nicóis cruzados. .... 70

**PRANCHA 4.2 – Fotografia A** – Afloramento de biotita gnaisses pertencente à Unidade Quixeramobim. Coordenadas UTM: 464263mE/9422010mN; **Fotografia B** – Detalhe do afloramento do granada-biotita-gnaisse da Unidade Quixeramobim. Coordenadas UTM: 464357mE/9423270mN; **Fotomicrografia C** – Cristal de K-feldspato bordejado por pequenos cristais de quartzo recristalizados, formando sombra de pressão (em vermelho). Vista em lâmina delgada de gnaisse da Unidade Quixeramobim com nicóis cruzados; **Fotomicrografia D** – Intercrescimento de quartzo em K-feldspato, dando origem a textura mirmequítica, vista em lâmina delgada de gnaisse pertencente à Unidade Quixeramobim analisada com os nicóis cruzados; **Fotografia E** – Afloramento exibindo enclave do Facies Muxurê Velho (em vermelho) com fenocristais de K-feldspato, inserido na rocha do Fácies Serra Branca. Coordenadas UTM: 465559mE/9417534mN; **Fotografia F** – Concentrações de enclaves do Fácies Muxurê Velho (em vermelho) inseridos no afloramento da rocha do Fácies Muxurê Novo. Coordenadas UTM: 467537mE/ 9415938mN..... 71

**PRANCHA 4.3 – Fotografia A** – Detalhe do afloramento da rocha do Fácies Muxurê Novo. Coordenadas UTM: 467535mE/ 9416716mN; **Fotomicrografia B** – Titânita vista com os nicóis paralelos na lâmina da rocha do Fácies Muxurê Novo; **Fotografia C** – Detalhe do afloramento mostrando o enclave microgranular do Fácies Muxurê Velho (em vermelho) inserido na rocha do Fácies Muxurê Novo. Coordenadas UTM: 467537mE/9415938mN; **Fotografia D** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Boa Fé mostrando fluxo para NE.

Coordenadas UTM: 468289mE/ 9420280mN; **Fotografia E** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Boa Fé. Coordenadas UTM: 467207mE/ 9418364mN; **Fotografia F** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Água Doce. Coordenadas UTM: 466961mE/ 9415808mN. .... 72

**PRANCHA 4.4 – Fotomicrografia A** – Lâmina delgada da rocha do Fácies Água Doce exibindo alanita no centro do epidoto, com hábito tabular e forma euédrica. Vista com nicóis cruzados; **Fotografia B** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Serra Branca exibindo fenocristal de K-feldspato de 16 cm (em vermelho). Coordenadas UTM: 464492mE/ 9416534mN; **Fotografia C** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Serra Branca exibindo fenocristal de K-feldspato deformado (em vermelho). Coordenadas UTM: 464285mE/9416462mN; **Fotografia D** – Detalhe da amostra Serra Branca exibindo pórfiro de K-feldspato com inclusões de biotita e anfibólio, zoneados da borda para o centro; **Fotografia E** – Acumulação de fenocristais, causada pelo processo de “*filter pressing*”, no afloramento de rocha do Fácies Serra Branca. Coordenadas UTM: 465048mE/ 9417714mN; **Fotografia F** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Serra Branca, exibindo enclave pertencente ao Fácies Muxurê Velho (em vermelho) e dique do Fácies Uruquê (amarelo). Coordenadas UTM: 464932mE/9417356mN. .... 73

**PRANCHA 4.5 – Fotografia A** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Serra Branca cortado por dique pertencente ao Fácies Uruquê (em vermelho), ambos cortados por veio pegmatítico tardio (em amarelo). Coordenadas UTM: 464932mE/9417356mE; **Fotografia B** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Água Doce exibindo veio pegmatítico (em vermelho) de composição quartzo-feldspática cortando-o. Coordenadas UTM: 468308mE/9415960mN. .... 74

**PRANCHA 5.1 – Fotografia A** – Detalhe de rocha do Fácies Serra Branca apresentando textura porfírica com matriz fanerítica. Fenocristal destacado em vermelho. Coordenadas UTM: 465559mE/9417534mN; **Fotomicrografia B** – Cristal de K-feldspato apresentando geminação Carlsbad, vista com nicóis cruzados; **Fotomicrografia C** – Plagioclásio apresentando geminações carlsbad e polissintética combinadas. Microfissuras marcadas em vermelho. Visto com nicóis cruzados; **Fotomicrografia D** – Cristal de anfibólio de aproximadamente 3,5 mm, apresentando microfissuras intragranulares e inclusões de quartzo. Visto com nicóis cruzados; **Fotomicrografia E** – Cristais de quartzo apresentando contatos

lobulados e côncavo-convexos, vistos com nicóis cruzados. Microfissuras marcadas em vermelho; **Fotomicrografia F** – Cristais de biotita intercalados com epidoto e quartzo. .... 79

**PRANCHA 5.2 – Fotomicrografia A** – Apatita inclusa no quartzo. Microfissuras marcadas em vermelho. Vista com nicóis cruzados; **Fotomicrografia B** – Titanita bordejada por feldspatos. Vista com nicóis paralelos; **Fotomicrografia C** – Minerais opacos rodeados por titanita e quartzo. Vista com nicóis paralelos. .... 80

## LISTA DE TABELA

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1.1</b> – Tabela com as coordenadas dos vértices do polígono que delimita a área de estudo.....  | 23 |
| <b>Tabela 5.1</b> – Tabela resumindo as características petrográfica da amostra Serra Branca. ....   | 78 |
| <b>Tabela 6.1</b> – Valores limites estimados pelas Normas ASTM (1992) e ABNT NBR 15844/2010 comparativos aos resultados obtidos pela amostra Serra Branca. ....                       | 83 |
| <b>Tabela 6.2</b> – Resultado da Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas da amostra Serra Branca comparativo com valores mínimos sugeridos por Frazão e Farjallat (1995). .... | 87 |

## LISTA DE GRÁFICO

|   |    |
|---|----|
| <b>Gráfico 6.1</b> – Resultado da Porosidade Aparente e Absorção d'água da amostra Serra Branca e comparativo com os valores limites estimados pela Norma ABNT NBR 15844/2010. ....                       | 83 |
| <b>Gráfico 6.2</b> – Resultado da Densidade Aparente da amostra Serra Branca e comparativo com o valor mínimo estipulado pela Norma ABNT NBR 15844/2010. ....   | 84 |
| <b>Gráfico 6.3</b> – Resultado da Resistência à Compressão Uniaxial da amostra Serra Branca e comparativo com os valores mínimos determinados pela Norma ABNT NBR 15844/2010 e ASTM C - 615 (1992). ....  | 85 |
| <b>Gráfico 6.4</b> – Resultado da Resistência à flexão em três pontos da amostra Serra Branca e comparativo com os valores mínimos estipulados pela Norma ABNT NBR 15844:2010 e ASTM C - 615 (1992). .... | 86 |
| <b>Gráfico 6.5</b> – Resultado do ensaio Desgaste Abrasivo pelo método de AMSLER da amostra Serra Branca e comparativo com os valores limites determinados pela Norma ABNT NBR 15844/2010. ....           | 88 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>CAPÍTULO 01 – INTRODUÇÃO</b> .....   | 22 |
| <b>1.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO</b> .....   | 23 |
| <b>1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO</b> .....  | 25 |
| 1.2.1 Objetivos Gerais .....  | 25 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos .....   | 25 |
| <b>1.3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS</b> .....   | 25 |
| 1.3.1 Clima .....   | 25 |
| 1.3.2 Vegetação .....   | 26 |
| 1.3.3 Solos.....  | 26 |
| 1.3.4 Hidrografia .....   | 26 |
| 1.3.5 Geomorfologia .....   | 27 |
| 1.3.6 Aspectos sócio-econômicos .....   | 28 |
| <b>CAPÍTULO 02 – MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....  | 30 |
| <b>2.1 ETAPA PRÉ-CAMPO</b> .....  | 30 |
| <b>2.2 ETAPA DE CAMPO</b> .....   | 30 |
| <b>2.3 ETAPA DE LABORATÓRIO</b> .....   | 31 |
| 2.3.1 Análise Petrográfica .....  | 31 |
| 2.3.1.1 Análise Macroscópica .....  | 31 |
| 2.3.1.2 Análise Microscópica.....   | 31 |
| 2.3.2 Ensaios Tecnológicos .....  | 33 |
| 2.3.2.1 Ensaios Físico-Mecânicos.....   | 34 |
| 2.3.2.1.1 Índices Físicos.....  | 34 |
| 2.3.2.1.2 Resistência à compressão uniaxial.....  | 36 |
| 2.3.2.1.3 Módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos) .....                    | 38 |
| 2.3.2.1.4 Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais ..... | 40 |
| 2.3.2.1.5 Determinação do Desgaste por Abrasão pelo Método de AMSLER.....                     | 41 |
| <b>CAPÍTULO 03 – ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO</b> .....  | 45 |
| <b>3.1 PROVÍNCIA BORBOREMA</b> .....  | 45 |
| <b>3.2 O DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL</b> .....  | 48 |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.1 Estratigrafia .....  | 49 |
| 3.2.1.1 Complexo Cruzeta .....   | 49 |
| 3.2.1.2 Unidade Algodões.....  | 49 |
| 3.2.1.3 Complexo Ceará.....  | 50 |
| 3.2.1.3.1 Unidade Quixeramobim .....   | 50 |
| 3.2.1.3.2 Unidade Juatama .....  | 51 |
| 3.3 ESTRUTURA DOS PLUTONS.....   | 51 |
| 3.3.1 Batólito Quixeramobim .....  | 51 |
| 3.3.1.1 Fácies Muxurê Velho.....   | 51 |
| 3.3.1.2 Fácies Muxurê Novo .....   | 52 |
| 3.3.1.3 Fácies Serra Branca.....   | 53 |
| 3.3.1.4 Fácies Água Doce .....   | 53 |
| 3.3.1.5 Fácies Uruquê .....  | 54 |
| 3.3.1.6 Mobilizados Tardios.....   | 54 |
| CAPÍTULO 04 – SÍNTESE GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO .....                            | 56 |
| 4.1 COMPLEXO CEARÁ.....  | 56 |
| 4.1.1 Unidade Quixeramobim.....  | 56 |
| 4.1.1.1 Quartzitos .....   | 58 |
| 4.1.2 Unidade Juatama.....   | 59 |
| 4.2 BATÓLITO QUIXERAMOBIM .....  | 60 |
| 4.2.1 Fácies Muxurê Velho.....   | 60 |
| 4.2.2 Fácies Muxurê Novo.....  | 60 |
| 4.2.3 Fácies Boa Fé .....  | 61 |
| 4.2.4 Fácies Serra Branca .....  | 64 |
| 4.2.5 Fácies Água Doce.....  | 66 |
| 4.2.6 Fácies Uruquê .....  | 66 |
| 4.2.7 Mobilizados tardios.....   | 67 |
| 4.3 SÍNTESE DA GEOLOGIA ESTRUTURAL DA ÁREA DE ESTUDO .....                         | 67 |
| 4.4 SÍNTESE ESTRATIGRÁFICA .....   | 68 |
| CAPÍTULO 05 – CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA .....                                    | 76 |
| CAPÍTULO 06 – CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO GRANITÓIDE DO FÁCIES SERRA BRANCA..... | 82 |
| 6.1 ÍNDICES FÍSICOS.....   | 82 |
| 6.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL.....   | 84 |

|   |    |
|---|----|
| 6.3 MÓDULO DE RUPTURA (FLEXÃO POR CARREGAMENTO EM TRÊS PONTOS).....     | 86 |
| 6.4 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSÔNICAS LONGITUDINAIS ..... | 87 |
| 6.5 DESGASTE ABRASIVO PELO MÉTODO DE AMSLER.....                        | 88 |
| CAPÍTULO 07 – CONCLUSÃO .....   | 91 |
| CAPÍTULO 08 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                          | 95 |

**Capítulo 01**  
**INTRODUÇÃO**

## CAPÍTULO 01 – INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como foco principal as rochas do Batólito de Quixeramobim. Este compreende uma área com mais de 800 km<sup>2</sup>, com seu eixo maior atingindo comprimento de 65 km e sua largura média chegando a 15 km. Forma um corpo alongado na direção NE-SW, sendo limitado pela Zona de Cisalhamento de Senador Pompeu (SE) e pela Zona de Cisalhamento de Quixeramobim (NW).

O Batólito de Quixeramobim foi dividido em seis Fácies, como apresentado por Torquato *et al.* (2004), em função da textura, composição e grau de homogeneidade, que são estas: Fácies Muxurê Velho, Fácies Muxurê Novo, Fácies Água Doce, Fácies Serra Branca, Fácies Uruquê e Mobilizados Tardios.

O Fácies Serra Branca tem como característica principal a presença de fenocristais de K-feldspato que podem atingir 20 cm de comprimento ao longo de seu eixo C. Os granitóides Serra Branca ocorrem nas porções marginais leste e oeste do batólito. Ocorrem também na forma de diques intrudidos em rochas dos Fácies Muxurê Novo e Água Doce. Os litotipos dominantes no Fácies Serra Branca são monzograníticos a biotita e anfibólio, com quartzo-monzodioritos e sienogranitos subordinados, correspondendo a uma série granítica cálcio-alcalina de médio potássio. As rochas possuem coloração cinza claro, textura porfírica, com matriz de granulação média, com foliação evidenciada pelo alinhamento dos fenocristais, e enclaves microgranulares. As rochas desse Fácies são o foco deste trabalho, as quais foram analisadas petrográfica e tecnologicamente, com o intuito de se conhecer qual pode ser sua aplicação para a área de rochas ornamentais.

Os diferentes métodos analíticos de interesse para a pesquisa foram realizados em laboratórios, resultando na obtenção e tratamento de dados petrográficos e de caracterização tecnológica dos granitóides do Fácies Serra Branca da região de Quixeramobim, para um possível uso como rocha ornamental. Dentre os ensaios tecnológicos foram realizados ensaios Físico-Mecânicos, são eles: Índices Físicos, Resistência a Compressão Uniaxial, Módulo de Ruptura (flexão por carregamento em três pontos), Determinação do Desgaste por Abrasão pelo Método de Amsler. Além destes, há também o ensaio para determinar a Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais.

## 1.4 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O município de Quixeramobim (Figura 1.1) localiza-se na microrregião do Sertão de Quixeramobim, mesorregião dos Sertões Cearense, a aproximadamente 183 km (em linha reta) da capital Fortaleza. Situa-se a uma elevação de 191,7 m, na latitude 05°12'' (S) e Longitude 39°17'' (W). Quixeramobim está dividido em dez unidades, a Sede e mais nove distritos: Belém, Nenelandia, Uruquê, Lacerda, Damião Carneiro, Passagem, São Miguel, Encantado e Manituba. Limita-se com os municípios de Madalena a norte; Quixadá, Banabuiú e Choró a Leste; Senador Pompeu, Solonópoles e Pedra Branca a Sul; e Boa Viagem a Oeste, compreendendo área irregular de 3.275,84 km<sup>2</sup>, localizada nas cartas topográficas Quixeramobim (SB.24-V-D-III), Senador Pompeu (SB.24-V-D-VI), Banabuiu (SB.24-X-C-I), Boa Viagem (SB.24-V-D-II) e Quixadá (SB.24-V-B-VI).

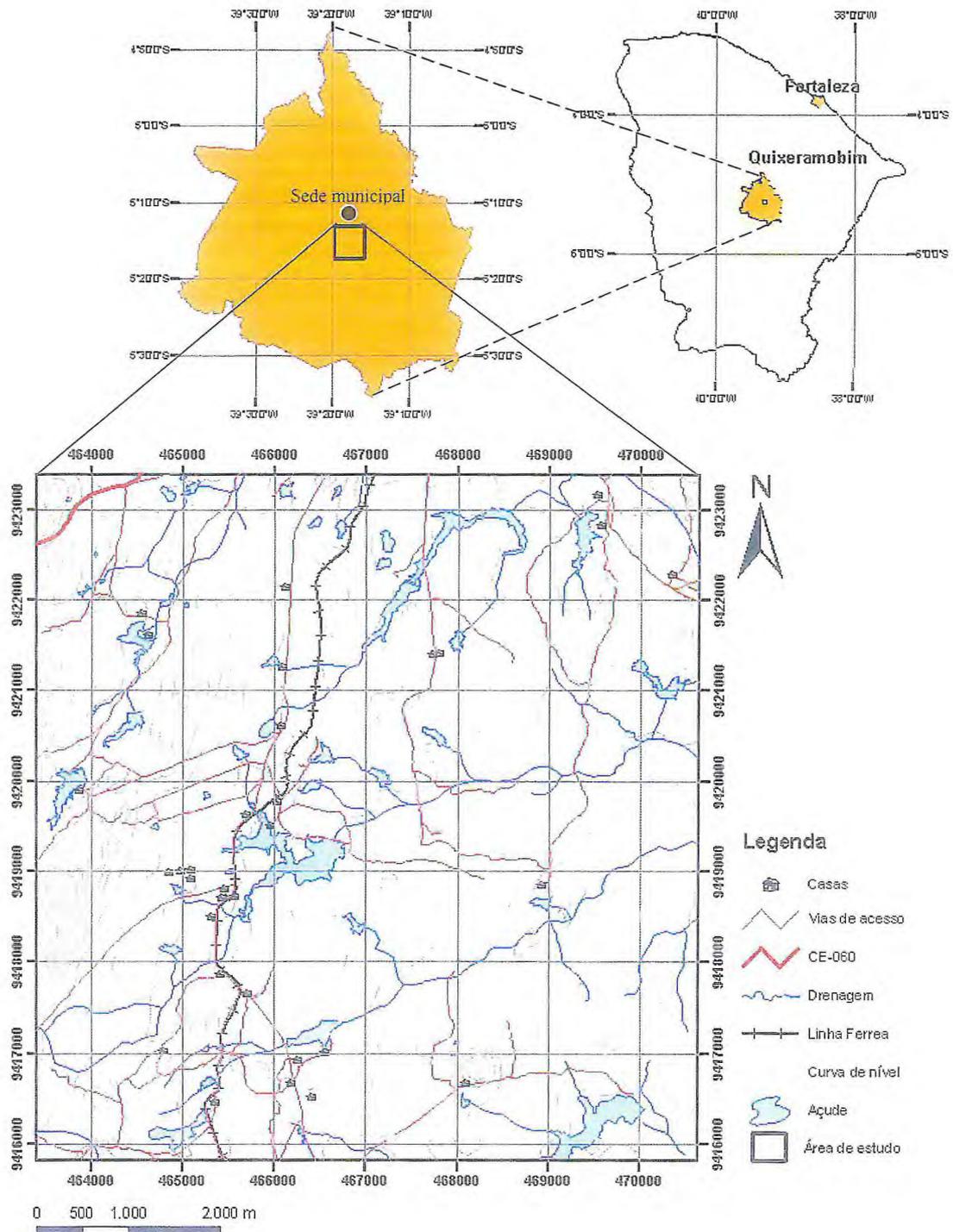
O acesso ao município, a partir de Fortaleza, pode ser realizado através da rodovia federal BR-116 no sentido sul, Fortaleza/Horizonte/Chorozinho, seguindo-se pela BR-112 após Chorozinho, passando por Quixadá até chegar a Quixeramobim.

A área de estudo (Figura 1.1) é geometricamente quadrada e possui extensão de 55 km<sup>2</sup> (Tabela 1.1). Ela está localizada a sul da sede municipal de Quixeramobim. O acesso a ela pode ser feito, a partir da sede municipal, pela CE-060 (no sentido sudoeste) ou CE-166 (no sentido sul, cortando a área) até as estradas carroçais que dão franco acesso à área.

**Tabela 2.1** – Tabela com as coordenadas dos vértices do polígono que delimita a área de estudo.

| Vértices          | Coordenadas |         |
|-------------------|-------------|---------|
|                   | X (m)       | Y (m)   |
| Superior esquerdo | 463398      | 9423397 |
| Inferior direito  | 470639      | 9415800 |

Figura 1.1 – Mapa de localização e acesso da área de estudo.



Fonte: Autores.

## 1.5 OBJETIVOS DO TRABALHO

### 1.5.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo geral caracterizar, do ponto de vista tecnológico, os granitóides do Fácies Serra Branca para uma possível utilização como rocha ornamental e de revestimento de ambientes interno e externo, levando em conta a sua viabilidade econômica na indústria da construção civil.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

Caracterizar as unidades litoestratigráficas que estão associadas ao corpo, através de um mapeamento, de uma área de 55 Km<sup>2</sup>, na escala de 1:25.000;

Definir através do auxílio de estudos petrográficos as fases minerais das unidades litoestratigráficas mapeadas, procurando esclarecer a sua história evolutiva e seu potencial econômico.

Por meio de ensaios tecnológicos, caracterizar as rochas do Fácies Serra Branca da área estudada segundo as normas ABNT NBR 15845/2010, ASTM D 2845/1990 e ABNT NBR 12042/1992, conforme segue: Análise Petrográfica, Índices Físicos (densidade aparente, porosidade aparente, absorção d'água), Resistência à Compressão Uniaxial, Módulo de Ruptura (flexão por carregamento em três pontos), Determinação do Desgaste por Abrasão pelo Método de AMSLER e Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas.

Produção de relatório técnico-científico sobre os resultados obtidos, que além de servir como documento de utilização para caracterização do litotipo, serve como trabalho final para obtenção do título de graduado em geologia (Relatório de Graduação).

## 1.3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

### 1.3.1 Clima

Quixeramobim é um município de clima tropical semiárido, portanto quente e seco. Existem dois períodos anuais distintos para as estações climáticas: Chuvoso, com quatro meses de duração, de fevereiro a maio; Seco, com oito meses de duração, sem chuvas, de junho a janeiro, atingindo o máximo de estiagem durante os meses de agosto a outubro.

Quixeramobim faz parte do Polígono das Secas. A precipitação pluviométrica é bastante variada, sendo a média anual de 707,7 milímetros. A temperatura média em graus centígrados é de 26° a 28°. A velocidade dos ventos é, em média de 1,44 km/h, geralmente sopram do litoral para o sertão. A pressão atmosférica é de 866 milímetros, segundo dados do IPECE (2011).

### 1.3.2 Vegetação

Segundo dados do IPECE (2011), a vegetação predominante é a caatinga arbustiva densa, caatinga arbustiva aberta e floresta subcaducifólia tropical pluvial. Possui ainda em uma pequena área no extremo sudoeste, próximo à fronteira com Pedra Branca, a floresta caducifólia espinhosa, ou caatinga arbórea. A caatinga ocupa aproximadamente 85% do território cearense e possui a maior biodiversidade de plantas e animais, quando comparada a outras áreas semiárida do planeta, abriga 460 (quatrocentos e sessenta) espécies de aves e 8.700 (oito mil e setecentas) de plantas. Além das espécies arbustivas, são encontradas também espécimes arbóreos como o Pau-branco, o Juazeiro, a Oiticica, o Pau-d'arco, a Aroeira, o Jatobá.

### 1.3.3 Solos

Os Solos de Quixeramobim são resultado principalmente da alteração *in situ* de granitos e gnaisses ou de materiais coluviais mobilizados a partir dessas rochas. Segundo levantamento realizado pela SUDENE em 1973, as associações dominantes incluem solos litológicos, brunos não cálcicos, planossolos solódicos, solonetz solodizados e podzólicos vermelho amarelo. Características comuns às diversas classes são: a pequena espessura, quase sempre inferior a 1,00 m; a textura arenosa dos horizontes superficiais e areno-argilosa ou argilosa nos horizontes sotopostos; a ocorrência eventual de *stone lines* ou fragmentos de rochas.

### 1.3.4 Hidrografia

A rede de drenagem é formada por cursos d'água intermitentes sazonais que justificam a pequena capacidade energética e o entalhe pouco pronunciado da superfície com vales largos. O padrão de drenagem é dendrítico de textura aberta, notando-se controle

estrutural nas áreas mais fraturadas. A área em estudo compreende partes das sub-bacias dos rios Quixeramobim e Banabuiú, que integram o Sistema Jaguaribe. No município de Quixeramobim quase todo o seu território está na bacia do rio Banabuiú, que corta o sul do Município. Contudo, o principal curso d'água desse Município é um afluente do rio Banabuiú o rio Quixeramobim, com capacidade de armazenamento de 54.000.000 m<sup>3</sup>. No rio Quixeramobim estão as principais barragens do Município, o açude Quixeramobim e o açude Fogareiro. O açude foi construído pelo DNOCS e suas obras foram concluídas no ano de 1960. Sendo a principal fonte de abastecimento da cidade.

### 1.3.5 Geomorfologia

Sob o ponto de vista geomorfológico, a área integra o Domínio dos escudos e Maciços Antigos do Ceará, segundo Souza (1988). As formas de relevo e as feições geomorfológicas que compõem o referido Domínio Morfo-Estrutural exibem reflexos de eventos geotectônicos pretéritos. Elas evidenciam, também, a relação da morfologia com os fatores litológicos como porosidade, permeabilidade, maturidade química e mineralógica, e as marcas de flutuações climáticas cenozoicas que motivaram o escalonamento de superfícies degradacionais e agradacionais.

Segundo Torquato *et al.* (1989) de acordo com a influência estrutural e por critérios hipsométricos a geomorfologia da área é dividida nas seguintes sub-unidades e/ou feições geomorfológicas: Maciço residual das serras Guaribas-Macaco, depressão central de pedimentos conservados, depressão central de pedimentos dissecados, agrupamentos de Inselbergs, áreas de acumulação inundáveis, planícies e terraços fluviais (Figura 1.2).

**Figura 1.2** – Planície de inundação e maciços residuais da região próxima à Quixeramobim.



Fonte: Autores.

### 1.3.6 Aspectos sócio-econômicos

Segundo os dados do IPECE (2011), o município de Quixeramobim possui uma área territorial de 3.275,84 km<sup>2</sup>. Equivalente a 2,44% do Estado, sendo o terceiro maior. Sua população é de 71.887 habitantes. Sendo o 17º município do Estado em índice populacional. Possui uma densidade demográfica de 21,59 hab/km<sup>2</sup> e um crescimento geométrico anual de 1,95 %. A economia do Município tem sua base na agricultura, pecuária, comércio, indústria e serviços.

Quixeramobim destaca-se por ter o maior rebanho bovino leiteiro do Estado, onde possui aproximadamente 60.000 cabeças e produz 110.000 litros de leite/dia. Possui também rebanhos significativos de: ovino, caprino, suíno, asinino, muar e galináceo. As culturas mais desenvolvidas no Município são: feijão, milho, arroz, algodão e fruticultura.

A atividade mineradora existente na região são as jazidas minerais de onde são extraídos topázio, granada, berilo, gipsita, turmalina, biotita, calcário, lepidotita e malaquita. Além de pedras preciosas como citrinos, água marinha e cristais de quartzo transparente, lilás, fumê e rosa. Minerais industriais como a muscovita, berilo, feldspato, tantalita, calcário e os minerais e rochas utilizados em artesanato como mármore e quartzos (várias cores).

**Capítulo 02**  
**MATERIAIS E MÉTODOS**

## CAPÍTULO 02 – MATERIAIS E MÉTODOS

Para o cumprimento deste trabalho, foram adotados procedimentos metodológicos envolvendo atividades de gabinete, laboratoriais e de campo. Assim, as atividades que foram realizadas vêm descritas abaixo:

### 2.4 ETAPA PRÉ-CAMPO

Essa etapa contempla toda a parte de levantamento bibliográfico e desenvolvimento de uma geologia regional, através da compilação de trabalhos anteriores de vários pesquisadores (p. ex. Nogueira 2004, Torquato *et al.* 1989, Almeida *et al.* 2008, Parente & Arthaud 1995), afim de obter melhor conhecimento dos litotipos presentes na área de estudo.

Foram efetuadas buscas de imagens de satélite Landsat 5, para a interpretação geológica da região, além de mapas da SUDENE, em escala 1:100.000 para base planialtimétrica, confeccionando-se um mapa de localização e vias de acesso. Também foram realizadas interpolações e interpretações de mapas geológicos já existentes, objetivando um melhor conhecimento da área.

### 2.5 ETAPA DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados para definir os litotipos encontrados na área, definindo assim a qual unidade/fácies eles pertencem, tendo como objetivo principal localizar as áreas de ocorrência do fácies Serra Branca, para a escolha do melhor material para sua avaliação e coleta de amostras. Além do mapeamento deste fácies, também foram definido os contatos entre os demais tipos litológicos, suas características litológicas e estruturais, afim de gerar um mapa geológico da área de estudo. Para este fim foi utilizado GPS eTrex H da marca Garmin, usando DATUM WGS-84 para marcação dos pontos (ver tabela no Anexo I).

Foram coletadas duas amostras de 40x40x30 cm do granitóide Serra Branca para confecção de corpos-de-prova para análises de índices físicos, físico-mecânicas e petrográficas (de acordo com as Normas ABNT NBR 15845/2010, ASTM D 2845/1990 e ABNT NBR 12042/1992), a objetivo de avaliá-las e compará-las posteriormente, a fim de indicar possíveis utilizações do granito como rocha ornamental.

## 2.6 ETAPA DE LABORATÓRIO

Os diferentes métodos analíticos de interesse para a pesquisa foram realizados em laboratórios, resultando na obtenção e tratamento de dados petrográficos e de caracterização tecnológica dos granitóides do Fácies Serra Branca, da região de Quixeramobim. As técnicas e procedimentos realizados são descritos sumariamente nas seções subseqüentes:

### 2.6.1 Análise Petrográfica

Foram realizadas análises macroscópicas e microscópicas das amostras coletadas da área de estudo de acordo com a ABNT NBR 15845/2010a:

#### 2.6.1.1 Análise Macroscópica

O exame macroscópico estudou cor ou gama de cores da amostra de mão; estrutura apresentada no afloramento; granulação, fraturas, cavidades, poros, etc, mencionando se estão preenchidos ou não; identificou o grau de alteração por meio da presença de minerais opacos oxidados, hidróxidos de ferro ou alteração de feldspatos e demais minerais; e eventual presença de xenólitos e/ou intrusões.

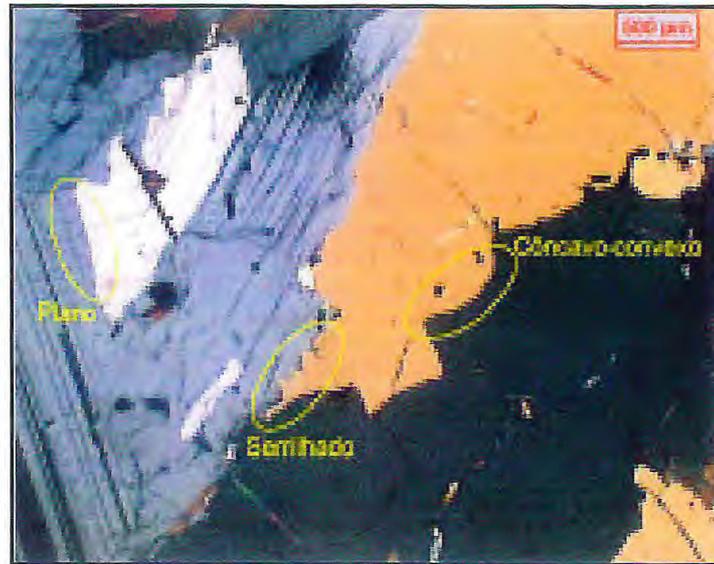
#### 2.6.1.2 Análise Microscópica

A análise petrográfica microscópica teve como objetivo determinar de forma rigorosa a composição mineralógica, textura, estrutura, forma, dimensões dos cristais, correlação entre os cristais, relação de contatos entre os mesmos, microfissuramento mineral, alteração, deformações sofridas, etc. A análise petrográfica referente à rocha ornamental possibilitou um estudo detalhado do comportamento tecnológico da mesma, sendo possível fazer uma relação com os ensaios físicos-mecânicos a qual foi submetida.

Para realizar a identificação de todas as características supracitadas foi utilizado um microscópio petrográfico ótico de marca Leica modelo EC 3. As lâminas delgadas analisadas possuem dimensões de 4,6 x 2,7 cm e 0,03 de espessura. Foram analisadas oito lâminas para esta etapa, sendo atribuído para as mesmas os seguintes processos, baseados nas sugestões de Rodrigues *et al.* (1996, 1997) e Navarro (1998) :

- a) granulação dos minerais das rochas:** fez-se uma subdivisão de acordo com o tamanho dos grãos, sendo estas:
- densa: diâmetro médio dos cristais inferior a 0,5 mm;
  - fina: diâmetro médio predominante dos cristais 0,5 a 1,0 mm;
  - média a fina: diâmetro médio predominante entre 1 e 3 mm;
  - média: diâmetro médio entre 3 e 7 mm;
  - média a grossa: diâmetro médio dos grãos entre 7 e 10 mm;
  - grossa: diâmetro médio dos grãos maior que 10 mm.
- b) tamanho relativo dos minerais:** as rochas foram classificadas em relação aos tamanhos relativos dos cristais. Sendo esta a classificação:
- equigranulares: quando a rocha é constituída por minerais de tamanho relativo aproximadamente igual, ou seja, a granulometria é homogênea;
  - porfíricas: a rocha é constituída por minerais com duas granulometrias diferentes, os minerais maiores (fenocristais), devem apresentar tamanho de no mínimo cinco vezes o tamanho dos minerais menores, componentes da matriz;
  - inequigranulares: quando os cristais diferem substancialmente no tamanho, numa relação de até 1:5, contanto que os grãos maiores não se destaquem em relação aos menores.
- c) relações de contatos:** foi estudada precisamente e minuciosamente a relação de contatos entre os grãos, que foram classificados em: lobulados, engrenados, esgarçados, planos, côncavo-convexos e serrilhados ou deteados. A Figura 2.1 ilustra algumas dessas relações entre os grãos.

**Figura 2.1** – Classificação qualitativa dos tipos de contatos minerais (baseado em CASTRO DORADO, 1988 e HIBBARD, 1995)



Fonte: NAVARRO, 2006.

**d) parâmetros Estruturais:** foram descritos tanto as amostras de mão como as amostras de lâminas, tendo como principal objetivo observar os microfissuramentos, preenchidos ou não, cujo resultado está expresso em microfissuras por unidade de área.

**e) grau de alteração mineral**

- Grau de alteração intenso: > 60%;
- Grau de alteração moderado: > 30 a 60%;
- Grau de alteração incipiente: > 10 a 30%;
- Grau de alteração muito incipiente: > 5 a 10%;
- Ausente: até 5%.

### 2.6.2 Ensaios Tecnológicos

Consiste na determinação das propriedades de rochas, para avaliação de seu comportamento físico e mecânico, que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações, bancadas, pisos e aplicações semelhantes.

A amostra do granitóide Serra Branca coletada durante o reconhecimento geológico da área foi enviada ao laboratório da Divisão de Materiais (DIMAT) da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial - NUTEC, onde toda a preparação dos corpos-de-prova foi feita para realização dos ensaios de caracterização tecnológica.

O granitóide Serra Branca foi serrado em dimensões adequadas para execução de cada ensaio, de acordo com as Normas ABNT NBR 15845/2010, ASTM D 2845/1990 e ABNT NBR 12042/1992.

### 2.6.2.1 Ensaio Físico-Mecânicos

#### 2.6.2.1.1 Índices Físicos

Para a amostragem foram coletadas amostras em quantidades tais que representem todas as características da rocha. Assegurando volume suficiente para permitir a preparação de tantos corpos-de-prova necessários para representar a variabilidade de resultados.

A aparelhagem necessária foi uma estufa ventilada (Figura 2.2A), com balança de resolução de 0,01g, que permita pesagens hidrostáticas (Figura 2.2B). Equipamentos para serragem ou para sondagem testemunhadora. Bandejas de material inoxidável, com dimensões adequadas para acondicionamento dos corpos-de-prova. Recipiente de dimensões adequadas para acondicionamento de água para pesagem dos corpos-de-prova na condição submersa. Recipiente adequado para ser submetido ao vácuo, que seja capaz de suportar pressão de 2,0 ( $\pm 0,7$ ) kPa ou 15 ( $\pm 5$ ) mmHg; e dissecador e substância desidratante.

Para a determinação dos índices físicos foram necessários, de acordo com a Norma ABNT NBR 15845/2010b, 10 corpos-de-prova serrados com dimensões entre 5 cm e 7 cm e com relação base:altura de 1:1 (Figura 2.3).

Para execução dos ensaios foram adotados os seguintes procedimentos:

- a) Lavagem dos corpos-de-prova em água corrente e escovação dos mesmos com escova de cerdas macias;
- b) Colocação dos corpos-de-prova na estufa ventilada á temperatura de 70 ( $\pm 5$ )°C por 24 horas;
- c) Pesagem dos corpos-de-prova individualmente ao ar, com precisão de 0,01 g, obtendo a massa seca " $M_{sec}$ ";
- d) Colocação dos corpos-de-prova na bandeja e adicionar água, deionizada ou destilada, até alcançar 1/3 de sua altura e após 4 h até 2/3 da altura dos corpos-de-prova. Após mais 4 h, completar a submersão dos corpos-de-prova. Após este período, deixou-se por mais 40 horas;
- e) Pesagem dos corpos-de-prova individualmente, na condição submersa, por meio do dispositivo da balança para pesagem hidrostática; amarrando-se o

corpo-de-prova com fio de massa desprezível, obtendo a massa submersa “ $M_{sub}$ ”;

f) Retirada dos corpos-de-prova da água, enxugando suas superfícies com um pano levemente úmido e pesando-os ao ar; anotando sua massa “ $M_{sat}$ ”;

Os resultados foram calculados com as seguintes expressões matemáticas:

a) Densidade aparente:

$$\rho_a = \frac{M_{sec}}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

b) Porosidade aparente:

$$\eta_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100 (\%)$$

c) Absorção d'água:

$$\alpha_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100 (\%)$$

Figura 2.2 – (A) Estufa da DIMAT – NUTEC; (B) Balança de pesagens hidrostáticas da DIMAT – NUTEC.



Fonte: Autores.

**Figura 2.3** – Corpos-de-prova serrados com dimensões de 5x5x5 cm, utilizados na determinação dos Índices Físicos.



Fonte: Autores.

#### 2.3.4.1.2 Resistência à compressão uniaxial

Este ensaio especifica um método para determinação da tensão de ruptura na compressão uniaxial de rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações. Foram seguidas as exigências da Norma ABNT NBR 15845/2010e.

A aparelhagem para a execução do ensaio é uma prensa hidráulica com capacidade de no mínimo 1000 kN e resolução de 2 kN (Figura 2.4A). Deve dispor de um prato rígido e outro, oposto a ele, solidário ao dispositivo de aplicação de força e munido de rótula para permitir pleno contato com as faces do corpo-de-prova, e de sistema que permita carregamento progressivo e contínuo. É necessário ainda, equipamento para serragem de rocha, capaz de cortar superfícies tão planas e paralelas quanto possível. Paquímetro com curso de no mínimo 100mm e resolução de 0,05mm para medição dos corpos-de-prova. Estufa, de preferência ventilada, regulável para 70 ( $\pm 5$ ) °C, e torno mecânico munido de rebolo diamantado, ou outro equipamento, capaz de garantir planeza e paralelismo das superfícies dos corpos-de-prova.

Os corpos-de-prova foram preparados com formato cúbico, com dimensões das arestas de 70 ( $\pm 3$ ) mm (Figura 2.4B), expressas na tabela III.1 em anexo. Estas dimensões com variações relativamente grandes causaram um não paralelismo entre a base e o topo do corpo de prova, fazendo com que a força incida obliquamente no corpo, prejudicando assim o

ensaio. Seria preciso garantir no caso de corpos-de-prova cúbicos, que os ângulos formados entre as duas faces consecutivas sejam de  $90 (\pm 0,5)^\circ$ .

Foram retificadas as faces de carregamento dos corpos-de-prova, de modo a eliminar eventual rugosidade.

No caso de rochas com estrutura gnáissica, acamadada, foliada, xistosa etc., preparam-se no mínimo dez corpos-de-prova, sendo cinco para ensaios com linha de carregamento na direção paralela e cinco na direção perpendicular á estrutura. Quando outras direções de carregamento forem previamente especificadas, preparam-se também no mínimo cinco corpos-de-prova para cada condição. No caso de rochas de estrutura isotrópica, preparam-se no mínimo cinco corpos-de-prova destas. Como a rocha do Fácies Serra Branca não apresenta uma foliação, por vezes apenas uma orientação dos cristais, o último caso foi considerado, preparando-se cinco corpos-de-prova desta rocha. Assinalando-se previamente as faces que representem o topo e base, pois os corpos-de-prova são cúbicos.

Para execução do ensaio adotaram-se os seguintes procedimentos:

- a) Deixam-se os corpos-de-prova na estufa a  $70 (\pm 5)^\circ\text{C}$  por 48 horas;
- b) Coloca-se o corpo-de-prova no centro do prato da prensa;
- c) Movimenta-se o prato oposto até obter ajuste com o corpo-de-prova;
- d) Aplica-se força a uma taxa menor que  $0,7\text{ MPa/s}$  ou  $1,3\text{mm/min}$  até que ocorra a ruptura do corpo-de-prova;
- e) Anota-se a força de ruptura registrada no ensaio.

As tensões de ruptura foram com a seguinte expressão:

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

Onde:

$\sigma_c$  é tensão de ruptura na compressão, expressa em megapascais (MPa);

$P$  é a força máxima de ruptura, expressa em quilonewtons (kN);

$A$  é a área da face do corpo-de-prova submetida a carregamento, expressa em metros quadrados ( $\text{m}^2$ ).

**Figura 2.4** – (A) Prensa Hidráulica da DIMAT – NUTEC; (B) Corpos-de-prova com dimensões de 7x7x7 cm serrados para realização do ensaio de compressão uniaxial.



Fonte: Autores.

Os resultados obtidos neste ensaio permite reconhecer uma propriedade da rocha que é de suma importância para especificação de materiais que desenvolverão função estrutural em uma obra como uso aplicado em pedestais de obras, colunas de sustentação e etc.

#### 2.3.4.1.3 Módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos)

Este método implica na determinação da resistência a flexão por carregamento em três pontos (módulo de ruptura), de rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações. Para realização deste ensaio foram seguidas exigências da Norma ABNT NBR 15845/2010f.

A aparelhagem necessária para execução do ensaio é: prensa hidráulica com capacidade de no mínimo 100 kN e resolução igual ou inferior a 0,1 kN. Deve dispor de uma base rígida e um prato solidário ao dispositivo de aplicação de força, munido de rótula ou não, de modo a permitir pleno contato com as faces do corpo-de-prova, e de sistema que permita carregamento contínuo e progressivo. Um dispositivo para ensaio dos corpos-de-prova, constituído por dois cutelos inferiores articulados, um móvel e outro fixo, e de um cutelo superior móvel. O comprimento de cada rolete deve ser no mínimo igual á largura do corpo-de-prova (Figura 2.5A). Usa-se ainda equipamento para corte de rochas capaz de cortar superfícies tão planas quanto possível. Paquímetro com curso mínimo de 200 mm e resolução de 0,05 mm para medição dos corpos-de-prova, além de bandeja de material não oxidável,

para saturação dos corpos-de-prova em água, quando ensaiados nesta condição. Estufa com temperatura de 70 ( $\pm 5$ ) °C, de preferência ventilada, para secagem dos corpos-de-prova.

Os corpos-de-prova foram preparados, com formato retangular, com dimensões de aproximadamente (50x100x200)mm (Figura 2.5B), expressas na tabela IV.1 em anexo.

No caso de rochas com estrutura gnáissica, acamada, foliada, xistosa etc., preparam-se no mínimo dez corpos-de-prova, sendo cinco para ensaios com linha de carregamento na direção paralela e cinco na direção perpendicular à estrutura. Como a amostra do granito do Fácies Serra Branca não possui uma foliação bastante expressa, como explicado no ensaio anterior, foram preparados cinco corpos-de-prova.

Os seguintes procedimentos foram adotados para execução do ensaio:

- a) Assentou-se o corpo-de-prova pela sua largura sobre os roletes inferiores, nas posições correspondentes às linhas demarcadas;
- b) Assentou-se o rolete superior na posição correspondente à linha média traçada no corpo-de-prova, aplicando-se pequena carga inicial para obter a estabilização do sistema corpo-de-prova/roletes;
- c) Aplicou-se força de modo lento e progressivo, a uma taxa de carregamento menor que 4.450 N/min, até que ocorreu a ruptura do corpo-de-prova.

Os resultados foram expressos em tensão de ruptura, calculada pela seguinte expressão:

$$\sigma_f = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2}$$

Onde:

$\sigma_f$  é o valor numérico do módulo de ruptura (resistência à flexão por carregamento em três pontos), expresso em megapascals (MPa);

P é o valor numérico da força de ruptura, expresso em quilonewtons (KN);

L é o valor numérico da distância entre os roletes inferiores, expresso em metros (m);

b é o valor numérico da largura do corpo-de-prova, expresso em metros (m);

d é o valor numérico da espessura do corpo-de-prova, expresso em metros (m).

**Figura 2.5** – (A) Prensa hidráulica, rolete com tamanho igual ao corpo-de-prova da DIMAT – NUTEC; (B) Corpos de prova com dimensões de 20x10x5 cm.



Fonte: Autores.

#### 2.3.4.1.4 Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais

Para determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais, foi executado o procedimento segundo a norma ASTM D 2845/1990. As ondas ultrassônicas longitudinais, quando propagadas no material rochoso, têm sua velocidade alterada em reflexo do grau de isotropia do material, das estruturas presentes, grau de alteração, permeabilidade, porosidade, presença ou não de água, tamanhos e composição dos grãos.

O ensaio possui caráter não destrutivo e para sua realização dois grupos de amostras foram utilizados, esses possuem diferentes dimensões: o primeiro grupo contendo cinco amostras de 7x7x7 cm e o segundo grupo contendo cinco amostras de 10x20x5cm. As amostras para este ensaio possuem as mesmas dimensões, respectivamente, dos ensaios de Resistência a Compressão Uniaxial e Módulo de Ruptura (flexão por carregamento em três pontos), logo, foram utilizadas as mesmas amostras preparadas para os ensaios citados.

A velocidade do pulso de onda pode ser determinada a partir das medidas de tempo e distância percorrida pela onda nas amostras de rochas, como mostra a equação a seguir, as quais requerem instrumentação específica:

$$V_p = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Onde:

$V_p$  é a velocidade do pulso de onda ultrassônica, expressa em metros por segundo (m/s);

$\Delta s$  é a distância percorrida pelo pulso de onda ultrassônica, expressa em metros (m);

$\Delta t$  é o tempo gasto pelo pulso de onda para realizar o percurso, expresso em microssegundos ( $\mu s$ ).

O equipamento utilizado deve possuir uma unidade geradora de pulso (esta está acoplada a unidade central), a qual gera o pulso elétrico para os transdutores (ou sensores), a partir de voltagem externa. Os transdutores consistem de um transmissor, que converte o pulso elétrico em pulso mecânico (onda), e um receptor, que converte o pulso mecânico em pulso elétrico, o qual será interpretado pela unidade central do equipamento, onde os resultados são exibidos em um *display*. O equipamento utilizado foi o TICO (Figura 2.6), o qual atende todas essas especificações.

Figura 2.6 – Aparelho para medição de pulso ultrassônico TICO da DIMAT - NUTEC.



Fonte: Autores.

#### 2.3.4.1.5 Determinação do Desgaste por Abrasão pelo Método de AMSLER

Este ensaio tem como objetivo obter o desgaste do corpo-de-prova através do atrito entre a superfície de uso e a superfície de um anel de ferro fundido, que é continuamente abastecido com um material abrasivo. O resultado do desgaste por abrasão é

obtido pela perda de espessura do corpo-de-prova. Para realização deste ensaio foram seguidas exigências da ABNT NBR 12042/1992.

Como aparelhagem necessária para a execução deste ensaio, deve-se utilizar um equipamento que possui as seguintes características, que: seja provido de um anel fundido, com superfície plana e lisa (pista de desgaste), de dureza Brinell entre 160 e 190, disposto horizontalmente, com diâmetro externo de  $(800 \pm 5)$  mm e largura de  $(160 \pm 2)$  mm; possibilite a rotação da pista de desgaste em torno de um eixo vertical, com velocidade de  $(30 \pm 1)$  RPM; permite ensaiar dois corpos-de-prova simultaneamente; seja provido de sapatas de acoplamento que mantenham os corpos-de-prova em contato com a pista de desgaste, em posições diametralmente opostas em relação ao eixo vertical do equipamento; o centro geométrico dos corpos-de-prova deve estar posicionado à meia largura da pista de desgaste, de maneira que, a cada rotação desta, tenha-se percorrido uma distância de  $(200 \pm 0,02)$  rpm; permita aplicar uma carga variável sobre cada corpo-de-prova; seja provido de dois funis para armazenar o abrasivo (areia seca número 50 (0,3 mm), conforme a NBR 7214) e dispositivo que possibilite a regulagem da vazão; seja provido de escovas de cerdas macias, que direcionem o abrasivo para a parte da pista de desgaste em contato com corpos-de-prova; seja provido de contador automático do número de voltas da pista de desgaste. Foi utilizado a máquina AMSLER (Figura 2.7A), a qual atende as condições mencionadas.

Já o dispositivo para medida da perda de espessura é composto por: chapa metálica provida de dois apoios laterais, perpendiculares entre si, três pinos para apoio do corpo-de-prova e relógio comparador com curso de 30 mm e resolução igual ou inferior a 0,01 mm, fixado à garra magnética. (Figura 2.7B).

Os corpos-de-prova têm a forma de um paralelepípedo regular, com os lados da base medindo  $70 (\pm 2)$  mm e com altura entre 25 mm e 50 mm.

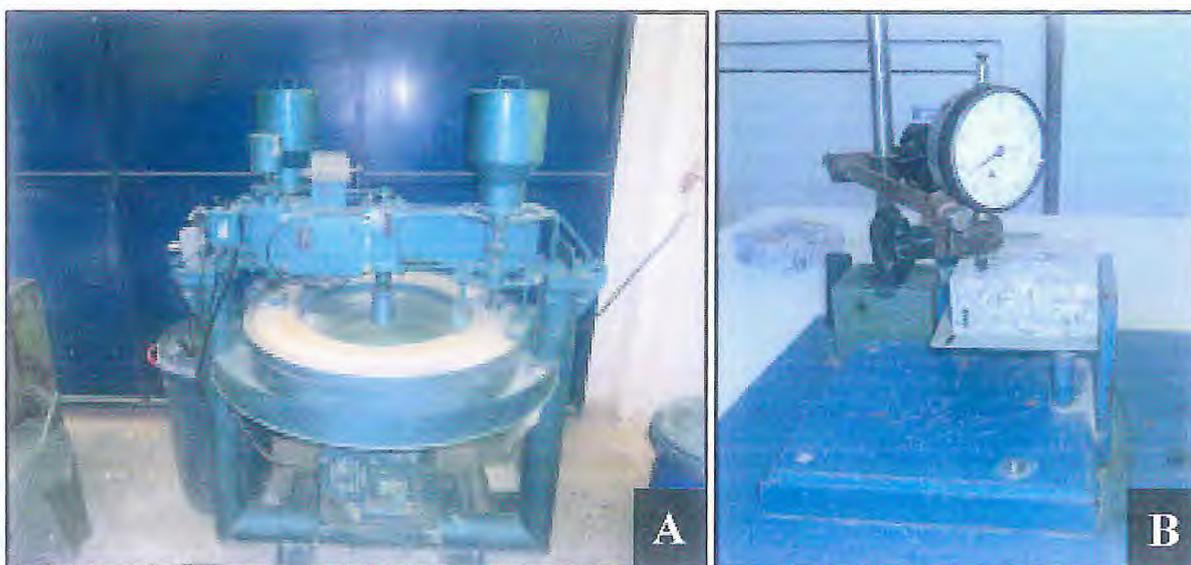
Para execução dos ensaios adotaram-se os seguintes procedimentos:

- a) Com o auxílio de um paquímetro mede-se a partir da bissetriz dos vértices da placa a distância de 30 mm para cada vértice, obtendo assim os quatro pontos de conferência;
- b) Posiciona-se os corpos-de-prova nas respectivas sapatas de acoplamento do equipamento AMSLER, descrito anteriormente;
- c) Aplica-se sobre cada corpo-de-prova uma carga de 66N;
- d) Regula-se a vazão de areia em  $72 (\pm 6)$  cm<sup>3</sup>/min;

- e) Coloca-se o equipamento em funcionamento, até que o anel tenha dado 250 voltas, que equivalem a um percurso dos corpos-de-prova em relação ao anel de aproximadamente 500 m;
- f) Terminando o percurso, retira-se os corpos-de-prova do equipamento, remove-se a poeira aderente a eles com escova macia, efetua-se a medida dos quatro pontos de conferência no dispositivo para medida de perda de espessura para obter-se a leitura intermediária (média das leituras efetuadas nos quatro pontos);
- g) Repete-se todo o procedimento, obtendo-se assim a leitura final (média das leituras efetuadas nos quatro pontos).

Os resultados relativos a 500 m e a 1000 m de percurso são obtidos respectivamente pela diferença entre a leitura inicial e a leitura intermediária, e pela diferença entre a leitura final e a leitura inicial.

**Figura 2.7** – (A) Máquina de AMSLER da DIMAT - NUTEC; (B) Dispositivo para medida da perda de espessura da DIMAT – NUTEC, com corpo de prova acoplado.



Fonte: Autores.

**Capítulo 03**

**ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO**

## CAPÍTULO 03 – ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

### 3.4 PROVÍNCIA BORBOREMA

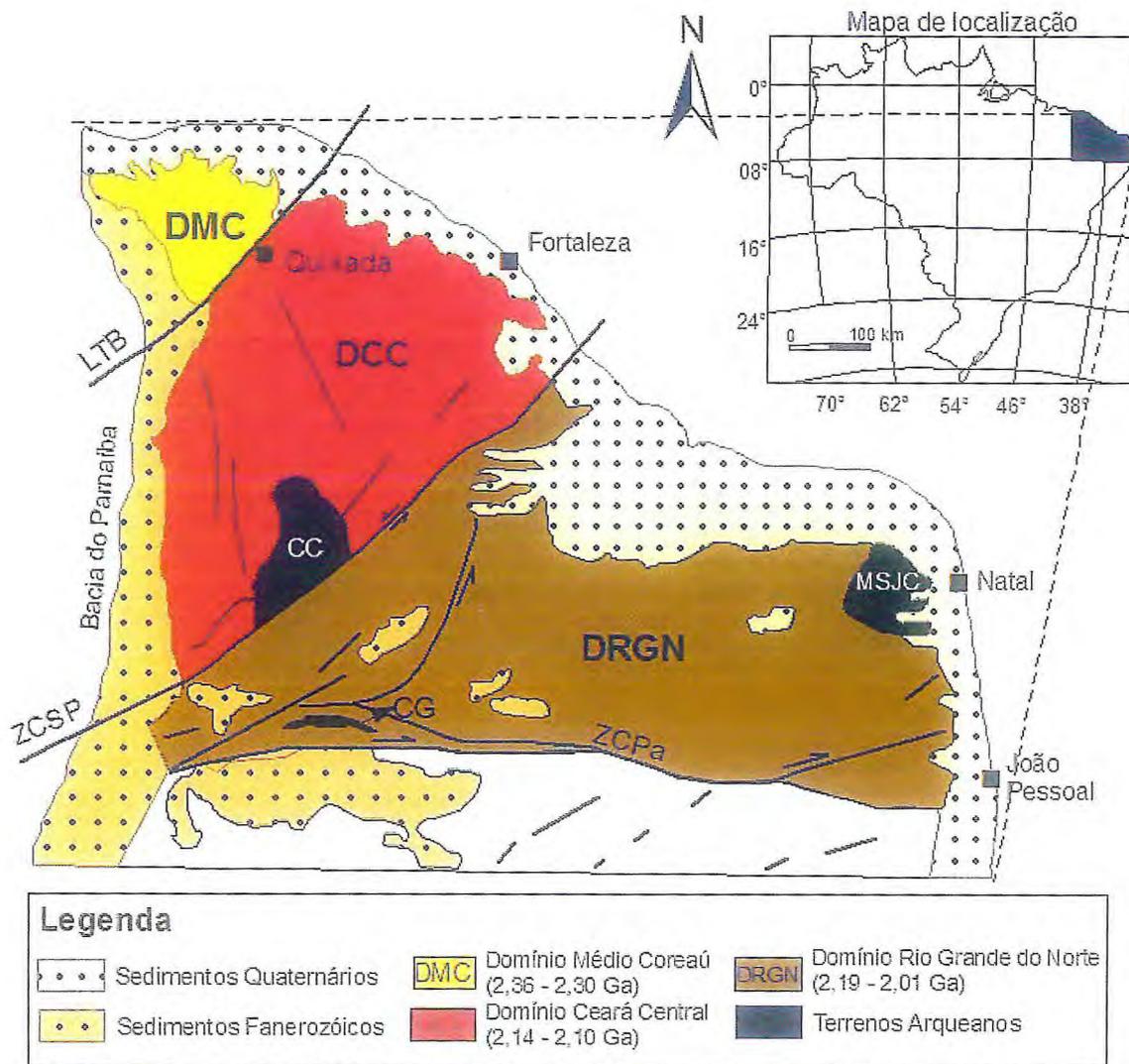
A área de estudo está localizada, do ponto de vista geológico, na Província Borborema (PB), a qual ocupa o extremo nordeste da Plataforma Sul-Americana. Esta Província compreende uma área de aproximadamente 450.000 km<sup>2</sup> (Trompette, 1994, Brito Neves & Cordani, 1991).

Segundo Almeida *et al.* (1981), a Província Borborema engloba a quase totalidade da Região Nordeste do Brasil, com exceção da porção extremo-oeste, que pertence à Província Estrutural Parnaíba. Ela está dividida em domínios, devido a sua extensa história evolutiva e complexa das rochas Pré-Cambrianas existentes. Em consequência de colisão continental durante o Ciclo Brasileiro Pan-Africano (600-500 Ma), a PB foi marcada por atividades tectônicas intensas no final do Proterozóico, envolvendo os Crátons São Luís-Oeste África e São Francisco-Congo.

Alguns autores têm apresentado trabalhos nos quais sintetizam a organização e evolução de tais Domínios (p. ex. Brito Neves 1983, Santos *et al.* 1984, Caby *et al.* 1991, Van Schmus *et al.* 1995, Brito Neves 2000, *in* Nogueira, 2004).

Caby *et al.* (1989) fez a divisão da porção Norte da Província Borborema em três grandes Domínios estruturais, são eles: Domínio Médio Coreaú (DMC), Domínio Ceará Central (DCC) e Domínio Rio Grande do Norte (DRGN). O Domínio de maior expressão espacial é o Domínio Rio Grande do Norte, que está em contato, no seu limite NW, com o Domínio Ceará Central através da Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, este Domínio faz contato com o Domínio Médio Coreaú através da Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II (Lineamento Transbrasileiro), no limite NW do DCC (figura 3.1).

**Figura 3.1** – Mapa do Nordeste do Brasil mostrando a Província da Borborema e seus domínios estruturais segundo Caby (1989). DMC = Domínio Médio Coreaú; DCC = Domínio Ceará Central; CCr = Complexo Cruzeta; DRGN = Domínio Rio Grande do Norte; CG = Complexo Granjeiro; MSJC = Maciço São José do Campestre; ZCSP = Zona de Cisalhamento Senador Pompeu; LTB = Lineamento Transbrasiliiano; ZCPa = Zona de Cisalhamento Patos.

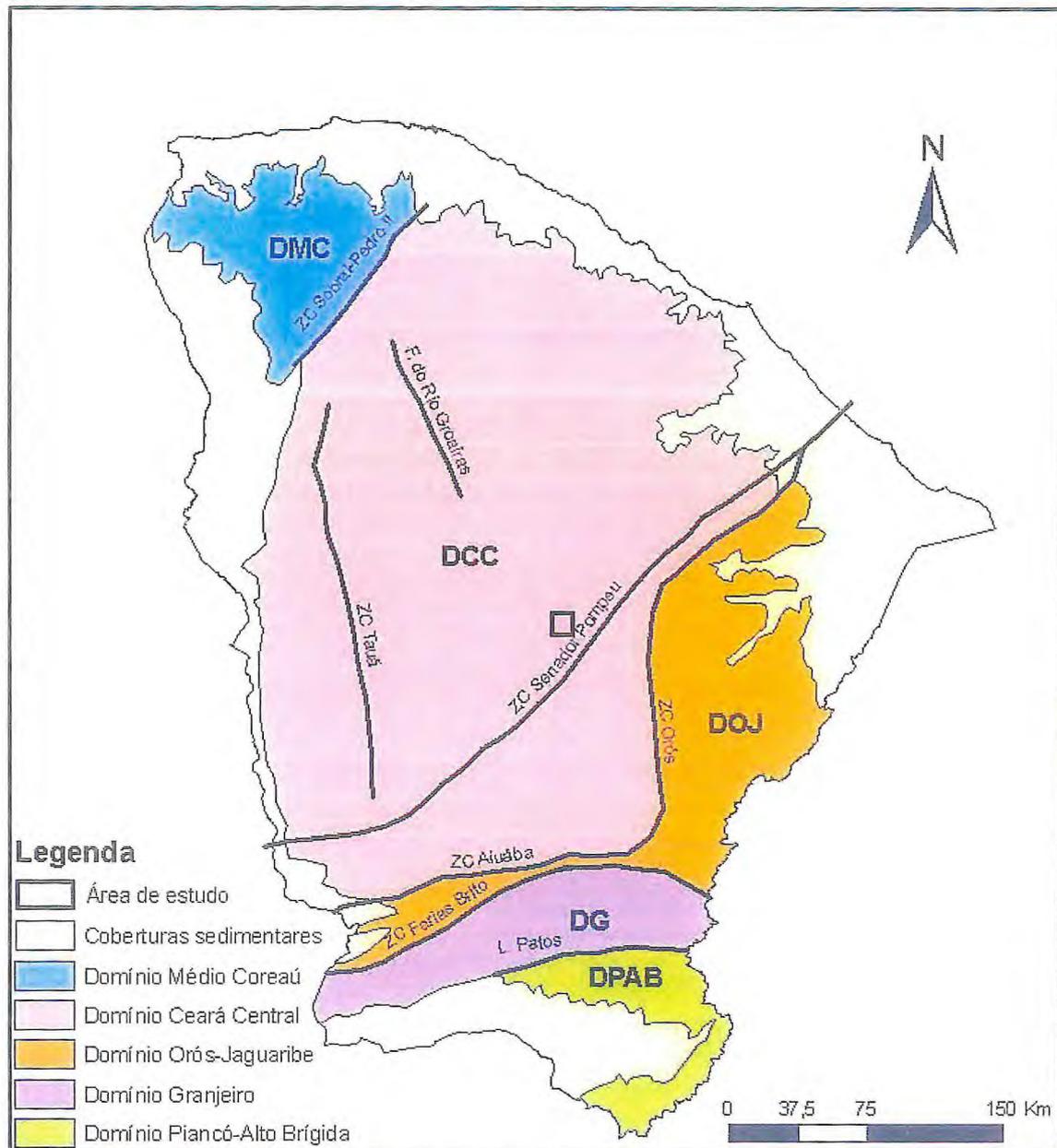


Fonte: Modificado de Caby (1989).

No entanto, Arthaud *et al.* (1998) reconhecem cinco Domínios Geotectônicos principais da Província Borborema em sua porção Setentrional, inseridos nos limites do Estado do Ceará, como segue: Domínio NW do Ceará, também chamado Domínio Médio Coreaú (DMC), que faz contato com o Domínio Ceará Central (DCC) através da Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II; este faz contato a SE com o Domínio Orós-Jaguaribe (DOJ) através da Zona de Cisalhamento Orós e a Zona de Cisalhamento Aiuába; o Domínio Granjeiro (DG) faz contato a Norte com o DOJ através das Zonas de Cisalhamento Orós e

Aiuába e a Sul com o Domínio Piancó-Alto Brígida (DPAB) pelo Lineamento Patos (Figura 3.2).

**Figura 3.2** – A Província da Borborema dividida em cinco domínios geotectônicos dentro dos limites do estado do Ceará segundo Arthaud *et al.* (1998). DMC = Domínio Médio Coreaú; DCC = Domínio Ceará Central; DOJ = Domínio Orós Jaguaribe; DG = Domínio Granjeiro; DPAB = Domínio Piancó-Alto Brígida; ZC = Zona de Cisalhamento; L = Lineamento; F = Falha.



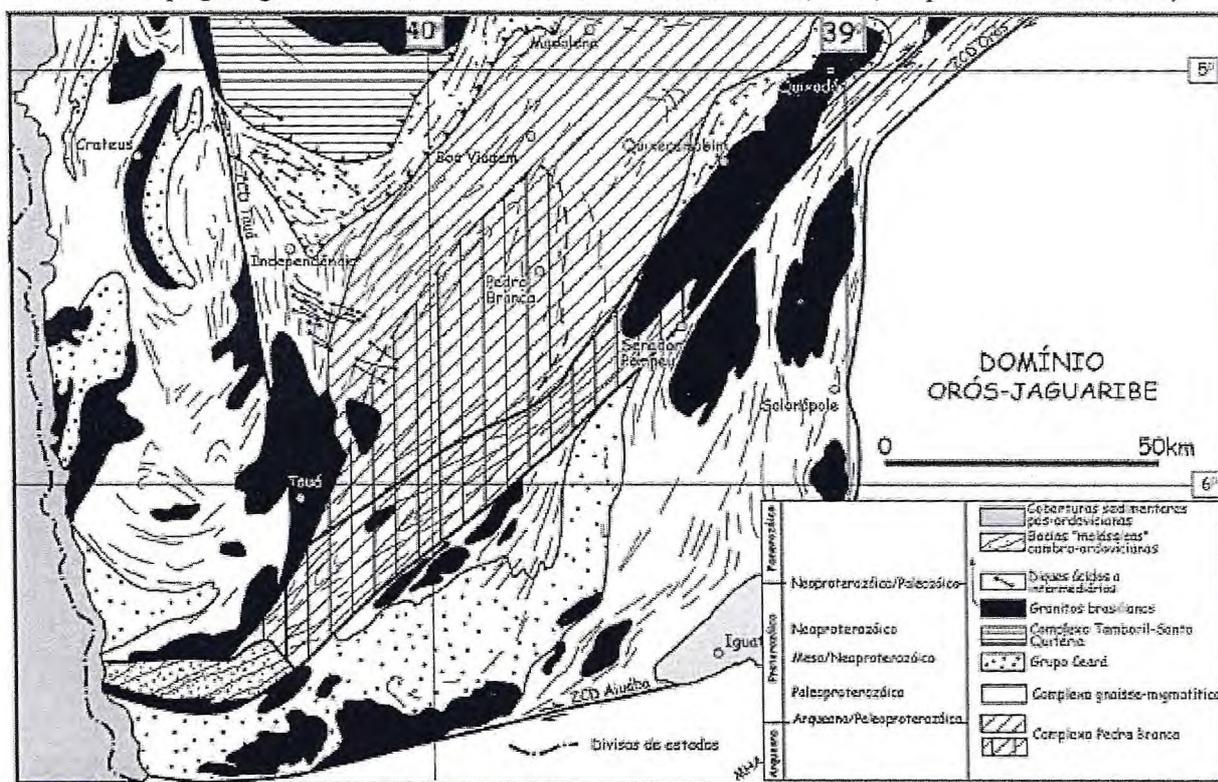
Fonte: Modificado de Arthaud *et al.* (1998).

A área em estudo está localizada, do ponto de vista geológico, no Domínio Ceará Central (DCC). Onde a descrição dos aspectos de interesse desse Domínio é relatada a seguir.

### 3.5 O DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL

O Domínio Ceará Central (DCC; Figura 3.3) compreende cerca de 80.000 Km<sup>2</sup>, estando limitado pela Zona de Cisalhamento Dúctil Sobral-Pedro II a noroeste, que corresponde ao Lineamento Transbrasiliano; a oeste pelos sedimentos da Bacia do Parnaíba; a norte por sedimentos do Grupo Barreiras; e a sudeste pela Zona de Cisalhamento Orós e Aiuába, segundo Parente & Arthaud (1995). Já Brito Neves *et al.* (2000), consideram que a Zona de Cisalhamento Senador Pompeu estabelece o limite entre o Domínio Ceará Central e o Domínio Rio Grande do Norte, sendo este o limite sudeste do DCC. No presente trabalho será considerada a divisão e os limites representados por Parente & Arthaud (1995). Estes Domínios pertencem à porção setentrional da Província Borborema.

Figura 3.3 – Esboço geológico da porção centro-sul do Domínio Ceará Central (segundo Arthaud, 2005, baseado no mapa geológico do Ceará, escala 1:500.000 – Cavalcante et al., 2003, simplificado e modificado).



Fonte: Modificado de Arthaud (2005).

### 3.5.1 Estratigrafia

#### 3.5.1.1 Complexo Cruzeta

O termo Complexo Cruzeta foi utilizado por Cavalcante *et al.* (2003), para substituir o termo Complexo Pedra Branca, usado antes por Gomes *et al.* (1981) sendo definida como uma associação polimetamórfica de formato elipsoidal que se estende por 30 km em seu eixo maior, de Tauá a oeste de Madalena, segundo Almeida *et al.* (2008).

O Complexo Cruzeta faz contato com o Complexo Acopiara por meio da Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, enquanto o contato com o Complexo Ceará é representado por um cisalhamento de baixo ângulo, representado por um pacote não muito expressivo de blastomilonitos (Arthaud 1984 *in* Almeida *et al.* 2008).

Na região de Quixeramobim o Complexo Cruzeta é composto por um pacote expressivo e monótono de rochas metassedimentares com variáveis níveis de metamorfismo dentro do Fácies Anfíbolito. Consistem de paragneisses, variavelmente migmatizados, ricos em intercalações com anfíbolitos e localmente formações ferríferas bandadas, além de mobilizados tardios pegmatíticos, com composição quartzo feldspática, por vezes com presença de biotita e/ou turmalina. Os migmatitos consistem em metatexitos, anatexitos e nebulitos. As idades das rochas do Complexo Cruzeta variam de 2,3 a 3,2 Ga, datadas pelo método U-Pb por Arthaud (1998a), Fetter (1999), Castro *et al.* (2003), elas indicam uma forte influência Arqueana com contribuição de crosta Paleoproterozóica, segundo Almeida *et al.* (2008).

#### 3.5.1.2 Unidade Algodões

A Unidade Algodões é constituída por rochas supracrustais que geralmente apresentam foliações sub-horizontais e deformações simples monofásicas. Segundo Almeida *et al.* (2008), esta Unidade ocorre bordejando o Complexo Cruzeta. Podendo representar uma cobertura Paleoproterozóica do Complexo ou corresponder a uma Unidade alóctone envolvida na tectônica tangencial Brasileira.

Litologicamente, a Unidade Algodões é constituída por metarcóseos, metagrauvacas, alternâncias de anfíbolitos e paragneisses, xistos, metapelitos, quartzitos, calcissilicáticas e formações manganésíferas bandadas. Próximo ao topo desta Unidade é comum encontrar metavulcânicas félsicas que correspondem à derrames riolíticos.

A Unidade é moderadamente deformada e apresenta uma foliação regional de mergulho raso, concordante com a do Complexo Cruzeta e representa metamorfismo de alta temperatura, Fácies Anfibólito, sem migmatização, segundo Arthaud (2007).

### 3.5.1.3 Complexo Ceará

Segundo Cavalcante *et al.* (2003), o Complexo Ceará inclui unidades litoestratigráficas que se distribuem por todo o Domínio Ceará Central, compostas por rochas metassedimentares e metavulcanossedimentares associadas a um substrato gnáissico-migmatítico, que encontram-se distribuídas em corpos alongados, geralmente orientados por zonas de cisalhamento adjacentes. Apesar de similares, as rochas que compõe o complexo são descontínuas e assim, de maneira informal, foram designadas conforme as localidades de suas ocorrências. O Complexo Ceará é dividido informalmente em Unidade Independência, Unidade Canindé, Unidade Arneiroz, Unidade Quixeramobim e Unidade Juatama. Como na região de Quixeramobim não tem ocorrência de rochas das Unidades Independência, Canindé e Arneiroz, neste trabalho serão enfatizadas apenas as Unidades Quixeramobim e Juatama.

#### 3.5.1.3.1 Unidade Quixeramobim

Esta unidade foi descrita por Góes e Fernandes (1981) como um pacote de rochas metassedimentares que ocorrem nas adjacências da cidade de Quixeramobim. Essas rochas são constituídas essencialmente por biotita xistos, muscovita-biotita xistos, granada-biotita-xistos, granada-muscovita-biotita xistos e granada±sillimanita±cianita-muscovita-biotita xistos. Segundo Almeida *et al.* (2008) em seção delgada, estes xistos apresentam deformações, mais precisamente microbandamentos, onde bandas constituídas essencialmente por plagioclásio, k-feldspato e quartzo mostram efeitos de fusão parcial sobre estas rochas. Além dos xistos há ocorrências de mármore calcíticos, dolomíticos calcíticos ou dolomíticos ao longo de todo o domínio como corpos lenticulares, podendo ser encontrado lentes com até 30 m de comprimento. Há também a ocorrência de lentes de anfibólitos, quartzitos e calcissilicáticas.

### 3.5.1.3.2 Unidade Juatama

Esta Unidade corresponde a um grande cinturão de rochas migmatíticas que ocorrem em torno do Batólito Quixeramobim. Correspondem a diatexitos e metatexitos ricos em restitos xistosos ou mármores anfibolíticos, rochas calcissilicáticas e granitos cinza fino tipo S. Sendo que os metassedimentos da Unidade Quixeramobim representam os protólitos dessa unidade (Almeida *et al.* 2008).

## 3.6 ESTRUTURA DOS PLUTONS

### 3.6.1 Batólito Quixeramobim

Segundo Nogueira (2004), o Batólito Quixeramobim compreende uma área com mais de 800 km<sup>2</sup>, situado na porção central da Folha Quixeramobim, com seu eixo maior atingindo comprimento de 65 km e sua largura média chegando a 15 km. Forma um corpo alongado na direção NE-SW, sendo limitado pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (SE) e pela Zona de Cisalhamento de Quixeramobim (NW).

Em função da textura, composição e grau de homogeneidade, Torquato *et al.* (1989) subdividiu o Batólito Quixeramobim em seis Fácies denominadas informalmente de: Fácies Muxurê Velho, Fácies Muxurê Novo, Fácies Água Doce, Fácies Serra Branca, Fácies Uruquê e Mobilizados Tardios.

A seguir, será apresentado uma síntese das características desses Fácies, tendo por base os diversos trabalhos anteriormente publicados (Torquato *et al.* 1989, Nogueira 2004, Almeida *et al.* 2008 e 2001), afim de tomar conhecimento das suas distribuições e facilitar a identificação destes fácies durante as próximas etapas.

#### 3.6.1.1 Fácies Muxurê Velho

Este Fácies é constituído por rochas de coloração cinza-escuro, granulação fina (aproximadamente 0,2 cm), com textura porfirítica ou afírica inequigranular que ocorrem como enclaves, diques sin-plutônicos ou formando grandes “*sheets*”. Está dividida em duas Sub-Fácies: Muxurê Velho I e Muxurê Velho II. A primeira está caracterizada pela dominância de anfibólio sobre biotita e a segunda predomina biotita (Torquato *et al.* 1989).

Estas rochas constituem uma Suíte cálcio-alcalina tonalítica composta essencialmente por dioritos, quartzo-dioritos, tonalitos e granodioritos, com os dois primeiros predominando sobre os demais.

### 3.6.1.2 Fácies Muxurê Novo

O Fácies Muxurê Novo ocorre em toda porção central do Batólito, correspondendo à unidade litológica mais abundante e é caracterizada por conter rochas com coloração cinza clara, porfiríticas de composição granodiorítica a granítica, com fenocristais de feldspatos cujas dimensões variam de 2 cm a 6 cm, com predominância de cristais de 3 cm, e matriz inequigranular média a grossa. Essas rochas apresentam foliação de fluxo magmático, com ou sem deformação tectônica superposta. As rochas que se posicionam próximas aos contatos com as encaixantes exibem forte deformação no estado sólido, enquanto que nas porções centrais do Batólito, mostram foliação sin-magmática. Há também ocorrência de “*shear bands*” resultantes da deformação heterogênea que afetou todo o Batólito (Torquato *et al.* 1989).

Estas rochas formam uma série cálcio-alcalina granodiorítica (médio potássio), composta por sienogranitos, quartzo-dioritos, granodioritos porfiríticos, onde ressaltam fenocristais de plagioclásio e K-feldspato imersos em uma matriz de granulação média a grossa.

Almeida (1995), caracteriza um Sub-Fácies inserida no Fácies Muxurê Novo, a qual foi denominada por este de Boa Fé. Os granitóides Boa Fé ocorrem principalmente ao longo de faixa estreita com largura variando entre 500 e 700 metros.

O Sub-Fácies Boa Fé inclui quartzo-dioritos (enclaves) granodioritos e monzogranitos, sugerindo um “*trend*” cálcio-alcálico granodiorítico de médio potássio. São rochas de cor cinza claro a cinza escuro, porfiríticas, com matriz de granulação média a fina e índice de cor variando de 9 a 20%.

Os fenocristais são predominantemente tabulares e equidimensionais, variando entre 2,0 cm a 2,5 cm, dispõem-se orientados, constituindo os principais marcadores da foliação; são na maioria K-feldspatos. Distribuem-se homoganeamente e juntamente com o plagioclásio e ocasionalmente os anfibólios constituem a assembléia de fenocristais, acompanhados de apatita, zircão e minerais opacos como minerais acessórios.

### 3.6.1.3 Fácies Serra Branca

Esta Fácies caracteriza-se pela presença de rochas que possuem megacristais de K-feldspato que podem atingir 20 cm de comprimento ao longo de seu eixo C. Os granitóides Serra Branca ocorrem nas porções marginais leste e oeste do Batólito, formando grandes “*sheets*” com espessuras que atingem a 3 km e 20 km de comprimento. Ocorrem também na forma de diques intrudidos em rochas das Fácies Muxuré Novo e Água Doce (Torquato *et al.* 1989, Almeida *et al.* 2001).

Os litotipos dominantes na Fácies Serra Branca são monzograníticos a biotita e anfibólio, com quartzo-monzodioritos e sienogranitos subordinados, correspondendo uma série granítica cálcio-alcálica de médio potássio. As rochas possuem coloração cinza claro, textura porfirítica, com matriz de granulação média, com foliação evidenciada pelo alinhamento de megacristais, e enclaves microgranulares. Quando deformadas no estado sólido, biotitas e quartzo estirado *ribbons quartz* acentuam a foliação, que normalmente tem direção N40°E e mergulhos acentuados. Os monzogranitos exibem-se com estrutura porfirítica, com megacristais de K-feldspatos e plagioclásio, imersos em matriz de granulação média (0,6 cm), de composição tonalítica.

### 3.6.1.4 Fácies Água Doce

Esta Fácies ocorre na porção central do batólito, inserida na Fácies Muxuré Novo, fazendo com este contato gradacional. Seus litotipos variam de leuco a mesocráticos, possuem coloração cinza claro, textura equigranular, afírica e exibem “*clots*” biotíticos distribuídos homogeneamente (Torquato *et al.* 1989).

Corresponde a uma associação quartzo-diorito, tonalito, granodiorito e eventualmente quartzo-monzodiorito. Estes litotipos constituem a Suíte tonalítica cálcio-alcálica de baixo potássio.

Eventualmente são encontradas porções porfiríticas, com matriz média, localmente fina, apresentando fenocristais, euédricos a subédricos, com até 2 cm de comprimento.

### 3.6.1.5 Fácies Uruquê

Segundo Torquato *et al.* (1989), este Fácies ocorre na forma de diques e “sheets” são encontrados em todas os outros Fácies, com exceção do Fácies Muxuré Velho. Nas zonas de transição para o Muxuré Novo são exibidos contatos gradacionais, onde aparecem fenocristais de K-feldspato dispersos.

Torquato *et al.* (1989) caracterizam os litotipos desse Fácies por possuírem coloração cinza-clara, granulação média a fina (0,2cm, tamanho médio) e estrutura geralmente afírica e inequigranular. Compõem uma série granítica cálcio-alcalina de alto potássio segundo Almeida (1995).

Almeida *et al.* (2001) caracterizam um Sub-Fácies pertencente ao fácies Uruquê, chamada de Uruquê - Transicional Muxuré Novo. Nesta denominação incluem-se todas as rochas que ocorrem ao longo dos contatos gradacionais entre os Fácies Uruquê e Muxuré Novo. Os litotipos possuem coloração cinza-clara, textura porfirítica, na qual os fenocristais de microclina e plagioclásio ( $Pl > Kf$ ) encontram-se numa matriz de granulação fina composta por plagioclásio, biotita, microclina e quartzo. Possuem composições granodioríticas, e localmente monzograníticas.

### 3.6.1.6 Mobilizados tardios

Segundo Torquato *et al.* 1989, nesta denominação incluem-se todas as rochas pegmatíticas, aplíticas e micrograníticas que ocorrem na forma de diques cortando todas os Fácies. Situam-se principalmente nas porções marginais do Complexo, podendo também ser encontradas nas porções centrais. São caracterizados pela presença de cristais de muscovita bem desenvolvidos o que as diferem das rochas do Fácies Uruquê.

**Capítulo 04**  
**SÍNTESE GEOLÓGICA**

---

## **CAPÍTULO 04 – SÍNTESE GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo, situada a sul da cidade de Quixeramobim, apresenta rochas do Complexo Ceará pertencentes à Unidade Quixeramobim e Juatama, marcadas pela proximidade com a Zona de Cisalhamento Quixeramobim, e uma diversidade de rochas magmáticas pertencentes ao Batólito Quixeramobim, localizadas imediatamente a sudeste dessa Zona de Cisalhamento. Neste capítulo são descritas as características identificadas em campo para determinação das rochas que compõem a área pesquisada e os aspectos estruturais destas, podendo classificá-las como pertencentes a uma determinada unidade ou fácies, de acordo com dados bibliográficos apresentados no Capítulo 3. Assim foi possível identificá-las e caracterizá-las da base para o topo:

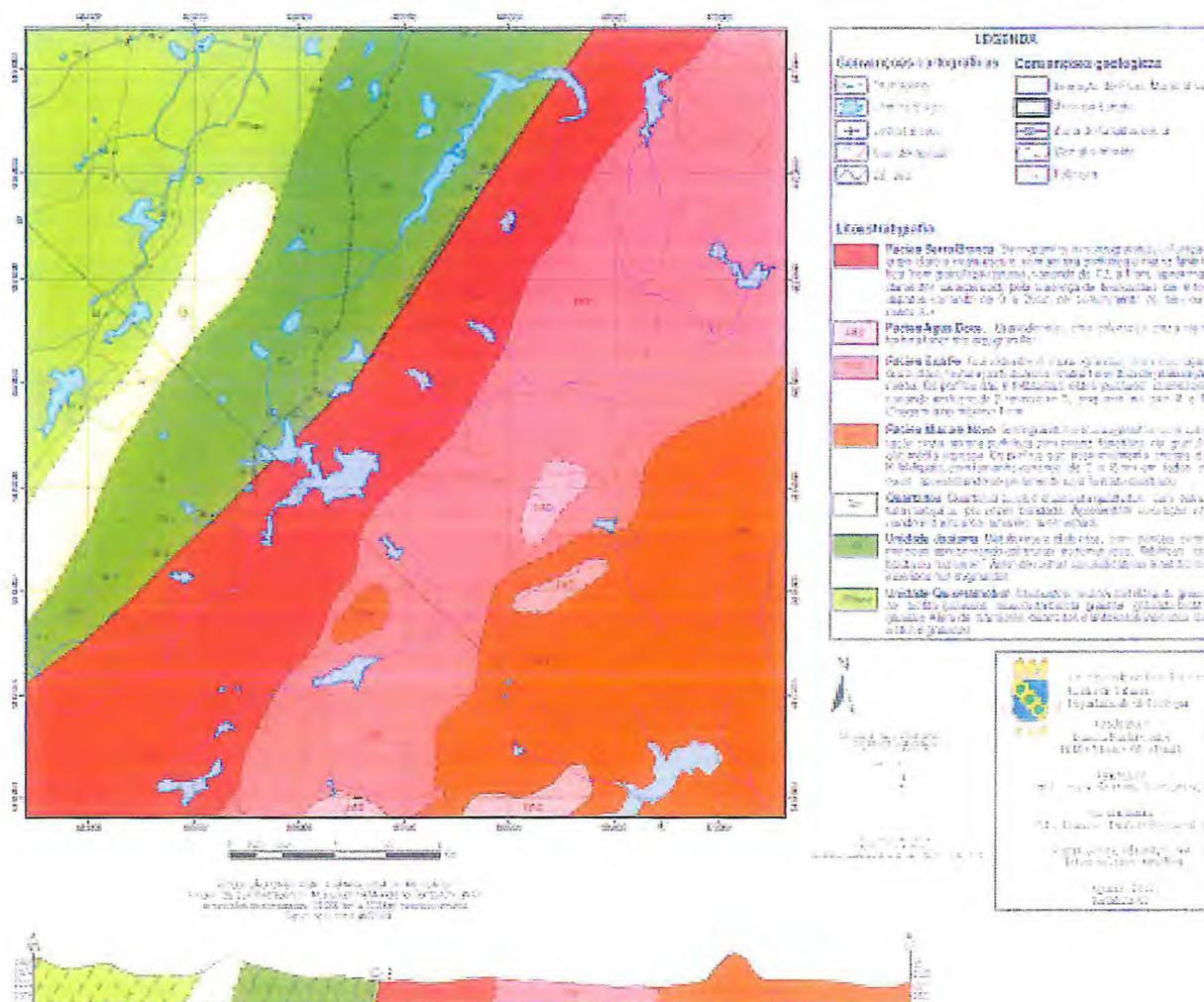
### **4.1 COMPLEXO CEARÁ**

As rochas do Complexo Ceará (CC) constituem os litotipos do embasamento da área de estudo. As rochas que fazem parte desse complexo estão localizadas na porção Noroeste da referida área, a partir da Zona de Cisalhamento Quixeramobim, de orientação NE-SW, a qual separa as rochas do CC a noroeste, dos granitóides do Batólito Quixeramobim a sudeste, como pode ser visto na Figura 4.1. Este Complexo é representado, na área de estudo, por rochas metassedimentares constituídas por micaxistos aluminosos, gnaisses, anfibolitos, mármore e quartzitos, pertencentes à Unidade Quixeramobim, e migmatitos da Unidade Juatama.

#### **4.1.1 Unidade Quixeramobim**

A Unidade Quixeramobim é constituída por um expressivo pacote de rochas metassedimentares, o qual são encontrados xistos aluminosos, gnaisses, mármore e quartzitos, além de anfibolitos em forma de lentes inseridos nos gnaisses. Esta Unidade é delimitada na porção Noroeste da área de estudo fazendo contato com as rochas da Unidade Juatama a sudeste (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Esboço do Mapa Geológico da Porção NW do Batólito Quixeramobim (em anexo neste trabalho).



Fonte: Autores.

Os xistos são encontrados intercalados aos gnaisses na porção noroeste da área de estudo. Estes apresentam foliação com mergulho para noroeste e intensidade variando de 45° a 60°. Eles variam em composição de biotita-muscovita xisto, muscovita xisto a granada-muscovita xisto. Inserido nestes ocorrem lentes pequenas (<3 m<sup>2</sup> aflorante) de mármore calcíticos, calcíticos dolomíticos e/ou dolomíticos. Os xistos ocorrem crenulados em alguns afloramentos, evidenciando outro estágio de deformação pós-metamorfismo.

Os gnaisses (Prancha 4.2 – Fotografia A) que compõem a Unidade Quixeramobim possuem composição variada, apresentando uma mineralogia a base de plagioclásio, K-feldspato, quartzo, biotita, granada e anfibólio. São classificados de acordo com seus principais minerais constituintes em: muscovita-feldspato gnaise, biotita gnaisses, muscovita-biotita gnaise e granada-biotita gnaise (Prancha 4.3 – Fotografia B). Como minerais acessórios ocorrem apatita, titanita, minerais opacos, zircão, epidoto e piroxênio.

Eles apresentam bandamento, com bandas centimétricas variando de 1 a até 6 cm, de composição félsica (K-feldspato + plagioclásio + quartzo) e máfica (biotita + anfibólio).

Ao microscópio é possível notar alguns aspectos mineralógicos e texturais nesses gnaisses:

Os grãos de quartzo presentes na amostra possuem tamanhos variados, apresentando grãos menores que 0,1 mm a até 1,7 mm, todos eles apresentando extinção ondulante. Essa variação se dá em função da intensa recristalização desses grãos, decorrente do metamorfismo e da deformação ocorrente na área. Os grãos menores compõem as sombras de pressão (Prancha 4.2 – Fotomicrografia C), indicando o sentido dextral da deformação que a gerou. Todos os grãos possuem formato alongado, segundo a orientação da rocha.

Os cristais de feldspatos (K-feldspatos e plagioclásios) possuem tamanhos relativamente maiores do que os quartzos, biotitas e muscovitas. Apresentam-se orientados segundo o bandamento da rocha, apresentando seu eixo maior na direção da foliação. Alguns cristais de KF apresentam textura mirmequítica, formada pela exsolução do cristal e posterior preenchimento da porção exsolvida por quartzo, dando esse aspecto esponjoso (Prancha 4.2 – Fotomicrografia D). Esses cristais com textura mirmequítica são encontrados bordejando cristais maiores de plagioclásio.

Biotitas e muscovitas aparecem intercaladas, paralelas umas as outras. Elas ocorrem concentradas em determinadas áreas, formando as bandas máficas juntamente com os anfibólios, ou aparecem raramente nas porções quatzo-feldspáticas (bandas félsicas). A forma e clivagem das micas seguem a orientação da rocha.

#### 4.1.1.1 Quartzitos

Ocorrem na área de estudo quartzitos diversos, constituindo alguns dos altos topográficos encontrados. Eles são vistos geralmente como blocos rolados, frequentes nas proximidades desses altos. Na região NW da área de estudo aparece uma grande concentração desses quartzitos, alinhados segundo o *trend* regional para NE, sendo possível delimitar essa área de ocorrência no mapa geológico gerado (Mapa Geológico da Porção NW do Batólito Quixeramobim, em anexo).

São encontrados quartzitos puros e muscovita quartzitos, com coloração esbranquiçada, amarelada ou avermelhada, estrutura geralmente maciça, por vezes apresentando uma foliação insipiente.

#### 4.1.2 Unidade Juatama

As rochas da Unidade Juatama ocorrem em uma faixa de orientação NE-SW, próximas a Zona de Cisalhamento Quixeramobim (ZCQ), elas fazem contato com os granitóides do Fácies Serra Branca a sudeste através desta zona e contato com as rochas da Unidade Quixeramobim a Noroeste. Essas rochas são constituídas por calcissilicáticas, metatexitos e diatexitos com níveis variados de migmatização, milonitizados ou não.

Os metatexitos (Prancha 4.1 – Fotografia A) são formados essencialmente por K-feldspatos, plagioclásio, quartzo e biotita. Entre os acessórios têm-se zircão, titanita, anfibólio, epidoto e piroxênio. Apresentam, geralmente, uma estrutura estromatítica, com um bandamento gnáissico, onde as bandas (félsicas e máficas) possuem espessura variáveis de 1 cm a 12 cm. O bandamento encontra-se sempre orientado com direção média de N35E e mergulho para noroeste, com intensidade aumentando à medida que se aproxima da Zona de Cisalhamento Quixeramobim, de 46° a 88°. Porções milonitizadas ocorrem localmente próximas a ZCQ.

Os diatexitos (Prancha 4.1 – Fotografia B) são resultado da fusão parcial da rocha a uma temperatura mais elevada que as do metatexitos, gerando faixas de composição distinta. Essas faixas exibem espessura bastante variada, de 3 a 30 cm. A composição destes é essencialmente quartzo, feldspatos e biotita, sendo rico nos constituintes félsicos. Os leucossomas apresentam-se, em geral, mais espessos que as demais partes. Apresentam estruturas estromatíticas, flebíticas, dobrada ou “schlieren”, sendo o primeiro tipo mais comum. Inseridos nos diatexitos aparecem lentes de anfibólitos, com formato elipsoidal, com extensão de até 2 m no seu eixo maior, fazendo contato brusco os diatexitos.

As rochas calcissilicáticas são constituídas por piroxênio, plagioclásio, anfibólio, quartzo, titanita e granada. Estas rochas são encontradas em forma de lentes, inseridas nos migmatitos da unidade. Analisando-se microscopicamente é possível fazer uma melhor caracterização: o grupo dos anfibólios presentes na rocha é constituído pelos minerais da série actinolita-tremolita, estes apresentando hábito acicular radial (Prancha 4.1 – Fotomicrografia C); os cristais de plagioclásio apresentam intercrescimento de anfibólio e quartzo (Prancha 4.1 – Fotomicrografia D); o diopsídio (Prancha 4.1 – Fotomicrografia E) é o piroxênio encontrado, evidenciando, junto aos anfibólios, um enriquecimento em Mg na rocha; as granadas são poiquiloblastos, apresentando cristais de anfibólio e piroxênio no interior delas (Prancha 4.1 – Fotomicrografia F); os quartzos apresentam extinção ondulante, contato lobulado com o diopsídio e côncavo-convexo com outros quartzos.

## 4.2 BATÓLITO QUIXERAMOBIM

### 4.2.1 Fácies Muxurê Velho

O Fácies Muxurê Velho ocorre na área de estudo na forma de enclaves de comprimento e largura centimétricos, inseridos em todos os demais Fácies. Estes enclaves possuem forma diversa, podendo ser: elipsoidais, ovalados, etc. Além dos enclaves, este Fácies aparece, mais raramente, na forma de diques de comprimento métrico e largura centimétrica, cortando o Fácies Serra Branca. Os enclaves e os diques apresentam sempre contatos bruscos com as rochas que os hospedam.

As rochas que compõem este Fácies possuem coloração cinza escuro, granulação fina a média, com composição diorítica a tonalítica, ricas em biotita e anfibólio, estes constituindo cerca de 40% da amostra, podendo apresentar textura porfirítica com matriz fanerítica ou apenas fanerítica. As rochas porfiríticas desse Fácies são ricas em biotita e por vezes apresentam fenocristais de K-feldspato de até 6 cm, os quais são atribuídos por Torquato *et al.* (1989) a um englobamento desses cristais, já solidificados nos magmas graníticos dos demais Fácies, pelo líquido magmático do Fácies Muxurê Velho, através de um processo de mistura de magmas do tipo *mingling* (Prancha 4.2 – Fotografia E), assim, os pórfiros seriam melhor caracterizados como xenocristais. Essa hipótese é reforçada pela discrepância química entre os citados fenocristais e a matriz. Todas as rochas que compõem este Fácies apresentam uma foliação magmática ou tectônica interna, paralelas à da rocha hospedeira. Localmente ocorrem concentrações de uma grande quantidade de enclaves do Fácies Muxurê Velho nos Fácies Serra Branca e Muxurê Novo, dando um aspecto de um grande enclave quebrado e desconectado (Prancha 4.2 – Fotografia F).

### 4.2.2 Fácies Muxurê Novo

Os afloramentos das rochas que compõem o Fácies Muxurê Novo (Prancha 4.3 – Fotografia A) estão localizadas na região sudeste da área de estudo. Estas rochas são caracterizadas por conter coloração cinza, textura porfirítica com matriz fanerítica de granulação média a grossa composta por quartzo, feldspato, plagioclásio, anfibólio, biotita como minerais principais, além de titanita, alanita, apatita, epidoto como minerais acessórios (Prancha 4.3 – Fotomicrografia B). Os pórfiros são essencialmente cristais de K-feldspato (microclina), com tamanhos variando de 2 a 6 cm em todos os eixos, apresentando-se

geralmente com formato quadrado e menos frequentes que nos outros Fácies. O K-feldspato também ocorre na matriz em proporções menores. De acordo com a porcentagem de quartzo, álcali-feldspato e plagioclásio, a rocha pode ser classificada segundo o gráfico de Streckeisen (1974) como variando de sienogranito a monzogranito, este último sendo menos frequente.

As rochas do Fácies Muxurê Novo (Prancha 4.3 – Fotografia C) apresentam foliação de fluxo magmático com *trend* para N35E, porém, os fenocristais apresentam-se, em diversos afloramentos, sem uma orientação preferencial. Fraturas abertas e fechadas são encontradas em praticamente todos os corpos, sendo a distâncias entre elas bastante variadas, as fraturas abertas podem estar preenchidas ou não por um material pegmatítico quatzofeldspático.

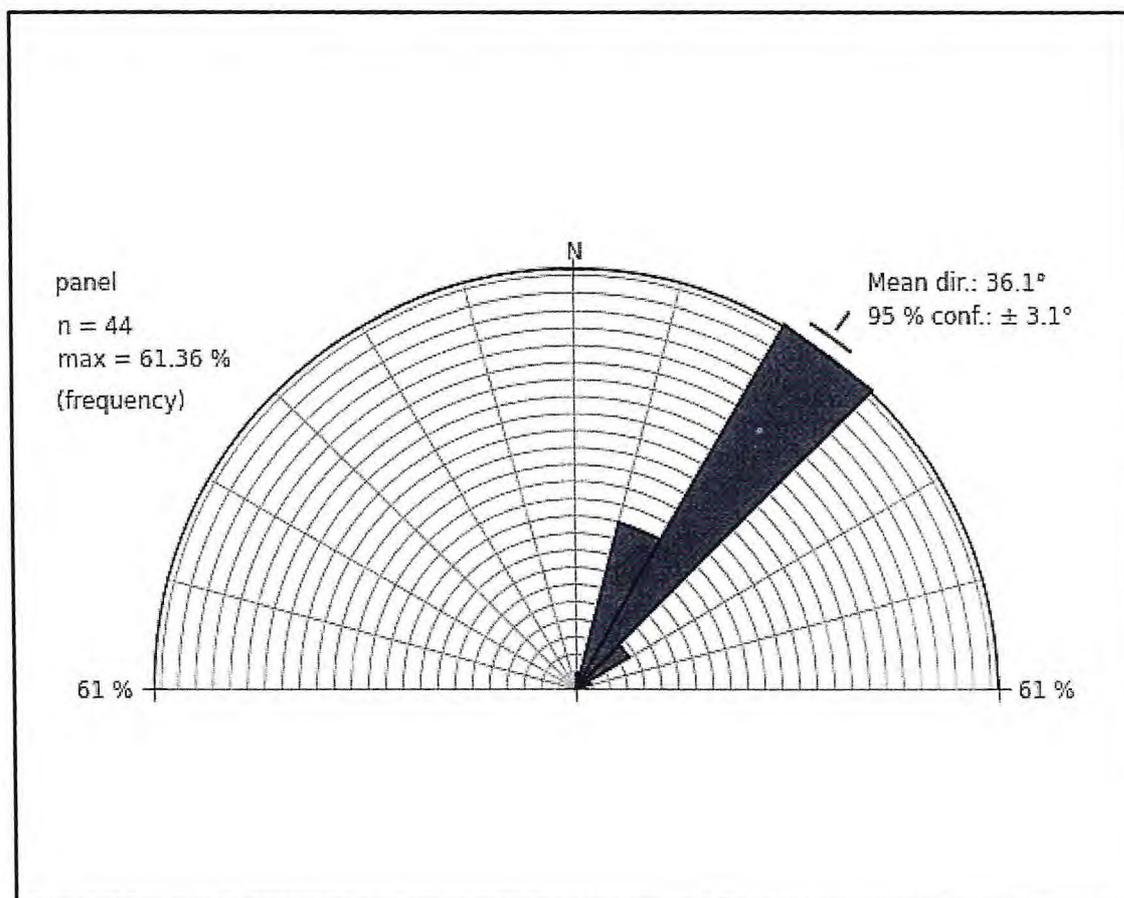
Inserido nas rochas deste Fácies é possível encontrar lentes métricas a kilométricas de rochas dos Fácies Água Doce e Boa Fé, estas apresentam um contato gradacional com o Fácies Muxurê Novo, ocorrendo intercalações entre os Fácies até encontrar um corpo com predominância de um deles. Dessa mesma maneira comporta-se o contato da área composta por rochas do Fácies Muxurê Novo com a faixa de rochas do Fácies Boa Fé. Diques félsicos pertencentes ao Fácies Uruquê cortam este fácies mais frequentemente do que nos demais, além destes são encontrados também enclaves microgranulares e diques máficos caracterizados como pertencentes ao Fácies Muxurê Velho (Prancha 4.3 – Fotografia C).

#### 4.2.3 Fácies Boa Fé

O Fácies Boa Fé é classificado por Torquato *et al.* (1989), como uma Sub-Fácies do Fácies Muxurê Novo, enquanto que Almeida *et al.* (2008) o classifica como um dos Fácies do Batólito, seguiremos aqui a proposta de Almeida *op. cit.* Os afloramentos das rochas deste Fácies aparecem em uma longa faixa de orientação NE-SW na área de estudo, esta faz contato a NW com rochas do fácies Serra Branca e contato a sudeste com rochas do Fácies Muxurê Novo, ambos os contatos são gradacionais. O Fácies aparece também em forma de lentes, inseridas no Fácies Muxurê Novo. Ocorrendo também lentes de rochas pertencentes ao Fácies Água Doce inseridas no Fácies Boa Fé, como pode ser visto no mapa geológico em anexo.

O Fácies Boa Fé (Prancha 4.3 – Fotografia D) difere dos demais por apresentar pórfiros de dimensões menores, variando em torno de 2 cm, os quais são bastante regulares (não apresentando outros pórfiros maiores no afloramento), e sempre apresentando dimensões bem menores no eixo A e B do que no eixo C, o que dá um aspecto alongado dos fenocristais. Estes estão sempre orientados aproximadamente para NE, como pode ser visto na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Diagrama de roseta mostrando direção preferencial do fluxo magmático do Fácies Boa Fé.



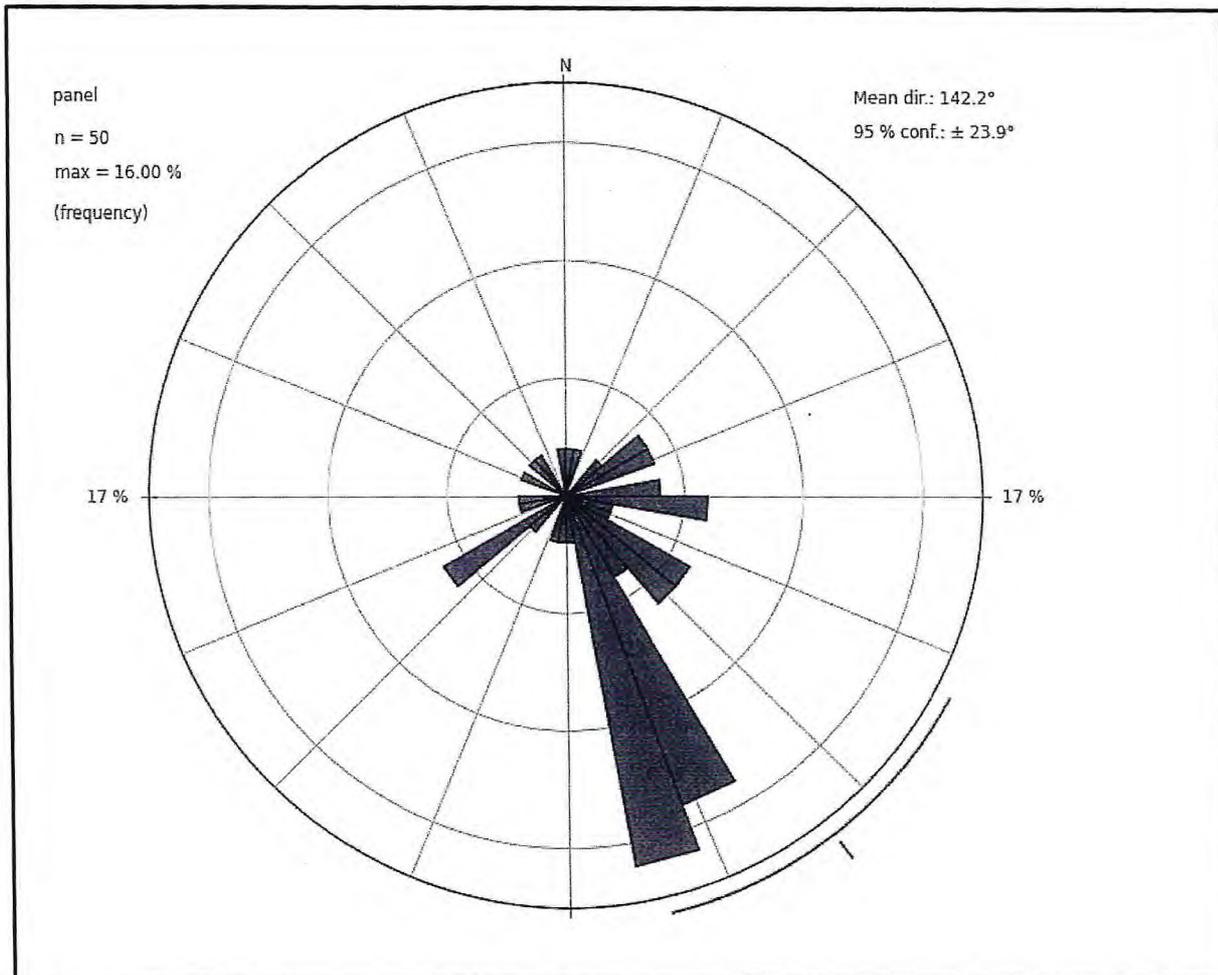
Fonte: Autores.

O fácies Boa Fé (Prancha 4.3 – Fotografia E) apresenta rochas de composição granodiorítica a monzogranítica. Quartzo, K-feldspato, biotita, anfibólio e plagioclásio constituem os minerais principais formadores dessas rochas, sendo o plagioclásio geralmente o mineral mais abundante.

Ocorrem neste Fácies diques e enclaves máficos pertencentes ao Fácies Muxurê Velho. Veios pegmatíticos ocorrem espalhados recortando os afloramentos em diversas orientações, estes são formados pelo preenchimento de fraturas abertas. Além destas, fraturas abertas sem preenchimento e fraturas fechadas também ocorrem nas rochas desse Fácies, elas

possuem espaçamento irregular, são pouco frequentes e orientações diversas, sendo a maioria delas para SE (Figura 4.3).

**Figura 4.3** – Diagrama de Roseta mostrando o sentido do mergulho preferencial das fraturas abertas sem preenchimento e fraturas fechadas do Fácies Boa Fé.



Fonte: Autores.

#### 4.2.4 Fácies Serra Branca

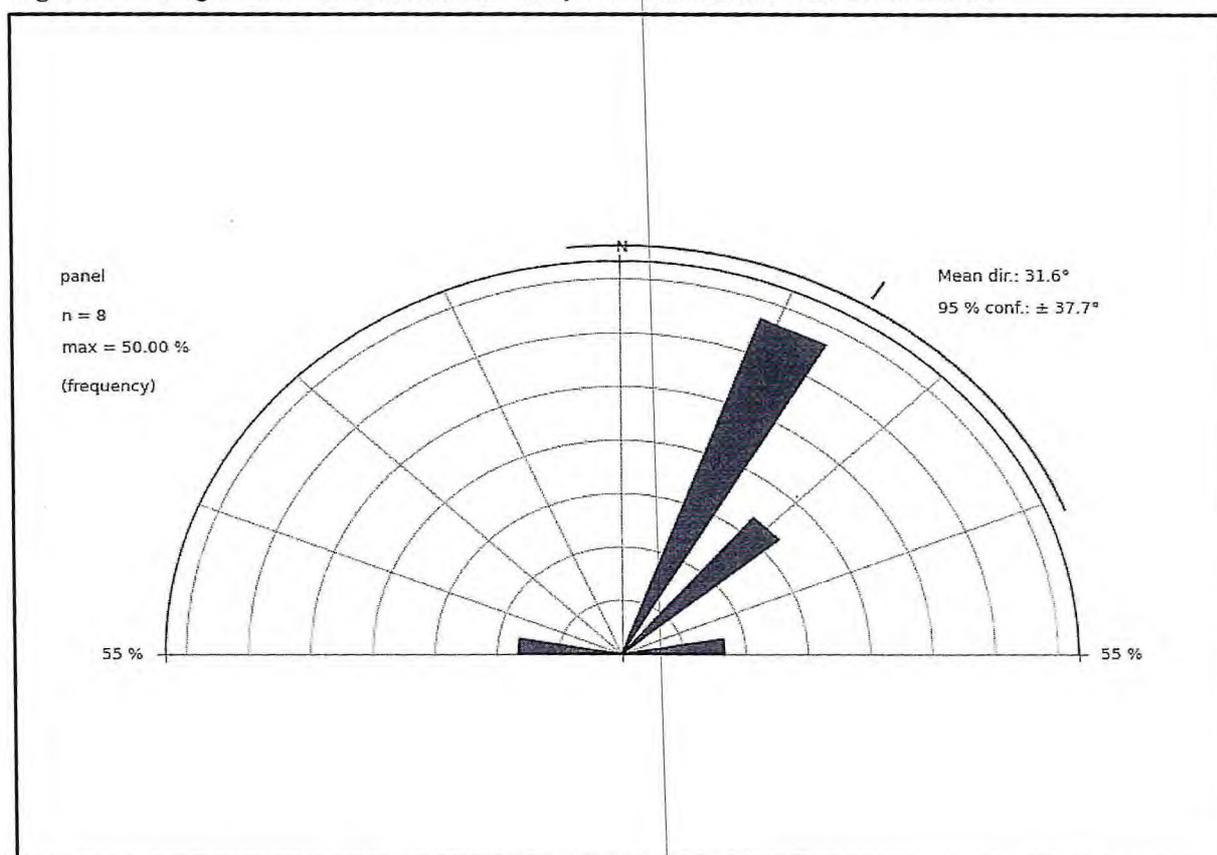
Esta Fácies ocorre em toda porção central da área de estudo, estendido numa faixa com orientação SW-NE. As rochas deste Fácies podem ser observadas em afloramentos com dimensões de 5x3 m a até grandes lajedos de 640x670 m, os quais podem ser vistos também através de imagens aéreas.

O Fácies Serra Branca é caracterizado macroscopicamente por conter rochas de coloração cinza-claro a cinza-escuro, com textura porfirítica e matriz fanerítica (com granulação grossa, variando de 0,5 a 1 cm, aproximadamente), caracterizado pela presença de fenocristais de K-feldspatos variando de 6 a 20cm de comprimento no seu eixo maior (C) (Prancha 4.4 – Fotografia B). Estes se apresentam orientados ou não, por vezes deformados, com bordas arredondadas marcando uma rotação pós cristalização da rocha (Prancha 4.4 – Fotografia C). Essas rochas apresentam composição um pouco variada, de sienogranitos a monzogranitos, mostrando uma matriz rica em quartzo e plagioclásio, empobrecidos em K-feldspato. Além destes, constituem os minerais principais biotitas e anfibólios, presentes em larga escala por toda a rocha. Os pórfiros de K-feldspato apresentam inclusões de biotita e anfibólio, zoneados da borda para o centro do pórfiro (Prancha 4.4 – Fotografia D). Apatita, titanita, zircão, epidoto e minerais opacos representam o grupo de minerais acessórios encontrados neste Fácies.

É possível encontrar pequenas faixas nas quais há o acúmulo de fenocristais, estas faixas foram geradas devido a um aumento de pressão, durante a cristalização do magma, causado pelo movimento compressivo das rochas encaixantes, num processo denominado de “*filter pressing*” (Prancha 4.4 – Fotografia E).

Ocorrem no Fácies Serra Branca enclaves microgranulares e diques de rochas máficas do Fácies Muxurê Velho (rico em biotita), além de diques félsicos de largura centimétrica e comprimento métrico pertencentes ao Fácies Uruquê, essas duas feições são exibidas na Prancha 4.4 – Fotografia F. Os afloramentos das rochas do Fácies Serra Branca apresentam fraturas abertas e fechadas com espaçamento irregular entre elas e frequência relativamente baixa, as abertas sendo preenchidas por rochas tardias de composição pegmatítica (quartzo + feldspatos ± turmalina). Estas fraturas apresentam direção preferencial para N32E, como pode ser analisado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Diagrama de Roseta mostrando a direção das fraturas do Fácies Serra Branca.



Fonte: Autores.

Os afloramentos dos granitóides deste Fácies, quando orientados, apresentam uma direção preferencial de fluxo magmático para N41E, seguindo o *trend* regional.

Na área de estudo, as adjacências do Fácies Serra Branca são marcadas por contatos gradacionais com os Fácies Boa Fé a sudeste, apresentando intercalações de rochas características desses Fácies, e contatos bruscos com a Zona de Cisalhamento Quixeramobim a Noroeste, a qual separa as rochas do Fácies Serra Branca dos migmatitos e gnaisses da Unidade Juatama.

#### 4.2.5 Fácies Água Doce

As rochas do Fácies Água Doce (Prancha 4.3 – Fotografia F) ocorre em forma de lentes métricas a quilométricas, inseridas nos Fácies Boa Fé e Muxurê Novo, localizadas a Sul e Sudeste da área. Elas são caracterizadas por serem rochas de coloração cinza claro, com textura fanerítica inequigranular, sendo relativamente mais fáceis de serem diferenciadas das rochas dos demais Fácies por não conterem pórfiros. Estas rochas possuem composição granodiorítica, apresentando uma coloração mais clara devido a uma porcentagem maior de plagioclásio em relação à porcentagem de K-feldspato.

Microscopicamente, as rochas desse Fácies exibem textura inequigranular hipidiomórfica, exibindo grãos de 0,5 a 1,5 mm de comprimento. Quartzo, plagioclásio, biotita e K-feldspatos são os minerais essenciais das rochas. Alanita, titanita, apatita, minerais opacos e epidoto são os minerais acessórios. A alanita se apresenta no centro de epidotos zonados exibindo hábito tabular e forma euédrica (Prancha 4.4 – Fotomicrografia A). Os grãos dos diversos minerais apresentam, em sua maioria, contatos planos. A amostra apresenta alteração incipiente no geral, ocorrendo alteração moderada em alguns plagioclásios e nas bordas de epidotos.

#### 4.2.6 Fácies Uruquê

O Fácies Uruquê ocorre na área de estudo na forma de diques de espessura centimétrica e comprimento métrico aflorantes, cortando os Fácies Serra Branca, Muxurê Novo e Boa Fé, apresentando um contato brusco com todos eles (Prancha 4.5 – Fotografia A). Estes diques geralmente estão orientados segundo a foliação de fluxo magmático, mostrando-se aproximadamente paralela a esta.

O Fácies Uruquê é caracterizado macroscopicamente por rochas de coloração cinza claro, granulção média a fina, podendo exibir ou não fenocristais de K-feldspato e plagioclásio dispersos em seu interior. Essas rochas podem apresentar estrutura maciça ou com uma foliação de fluxo magmático, este último tipo é mais comumente encontrado. Mineralogicamente as rochas desse Fácies possuem quartzo, plagioclásio, K-feldspato, biotita e anfibólio, como minerais essenciais, e apatita, titanita, muscovita e epidoto como minerais acessórios. Devido à proporção de quartzo, álcali-feldspatos e plagioclásios as rochas que compõem esse Fácies são classificadas como variando de granodioritos ou monzogranitos, sendo a primeira opção mais comum.

#### 4.2.7 Mobilizados tardios

Os mobilizados tardios são compostos basicamente por veios pegmatíticos de composição quartzo-feldspática, por vezes apresentam turmalinas pretas (afrisitas) como constituintes (Prancha 4.5 – Fotografia B). Esses veios recortam todos os Fácies do Batólito, apresentando-se mais frequentemente nos fácies Serra Branca, Boa Fé, Muxurê Novo, Uruquê, nessa ordem. Por vezes eles são encontrados zonados, apresentando feldspatos na borda e quartzo no centro. Esses veios apresentam orientação diversa, não sendo notado nenhuma atitude preferencial para eles.

Ocorrem na área de estudo granitos de composição totalmente adversa aos caracterizados como pertencentes aos Fácies do Batólito Quixeramobim. Estes foram incluídos nos mobilizados tardios por não apresentarem orientação de fluxo magmático e estrutura condizente com as rochas do Batólito, o que indica que eles foram cristalizados após o magmatismo que formou o Batólito e a deformação que afetou toda a área.

### 4.3 SÍNTESE DA GEOLOGIA ESTRUTURAL DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada a NW da Zona de Cisalhamento Senador Pompeu e engloba parte da Zona de Cisalhamento Quixeramobim e de rochas do Complexo Ceará. Entre essas duas Zonas de Cisalhamento encontram-se os granitóides que compõem o Batólito Quixeramobim, estes divididos em Fácies. Esses Fácies distribuem-se no Batólito em forma de faixas alongadas, lentes métricas a quilométricas, enclaves e diques, todas estas formas orientadas segundo o *trend* regional para NE, os quais foram especificados anteriormente nas descrições dos Fácies.

As rochas do embasamento são, em geral, foliadas/bandadas. Essa foliação/bandamento apresenta direção para NE e mergulho para NW, este sendo de maior intensidade nas proximidades da Zona de Cisalhamento Quixeramobim, diminuindo a medida que se afasta desta Zona no sentido NW.

A Zona de Cisalhamento Quixeramobim apresenta movimentação dextral, evidenciada por marcadores cinemáticos nas rochas que bordejam essa zona, tais como: sigmoides formados por KF e quartzo recristalizado, rotação dos cristais, rejeitos de falhas transcorrentes de caráter dextral, etc.

#### **4.5 SÍNTESE ESTRATIGRÁFICA**

Foi possível estabelecer uma idade relativa entre os Fácies e representá-los numa coluna estratigráfica com as unidades do Complexo Ceará, as quais têm idades conhecidas, baseando-se nas relações estruturais entre eles. Desta forma, a litoestratigrafia da área de estudo pode ser sintetizada da seguinte maneira:

Neoproterozóica/  
Paleozóico

**Mobilizados tardios:** Veios pegmatíticos de composição quartzo-feldspática, por vezes apresentam turmalinas pretas.

**Fácies Uruquê:** Diques compostos por granodioritos ou quartzo-monodioritos, com coloração cinza claro, granulação fina a média, podendo exibir ou não fenocristais de K-feldspato e plagioclásio dispersos em seu interior.

**Fácies Muxurê Velho:** Diques compostos por dioritos ou tonalitos, com coloração cinza escuro, granulação fina a média, ricos em biotita e anfibólio, com textura fanerítica, por vezes porfirítica.

**Fácies Água Doce:** Granodioritos, com coloração cinza-claro, textura fanerítica equigranular.

**Fácies Serra Branca:** Sienogranitos e monzogranitos, com coloração cinza-claro a cinza-escuro, com textura porfirítica e matriz fanerítica (com granulação grossa, variando de 0,5 a 1 cm, aproximadamente), caracterizado pela presença de fenocristais de K-feldspatos variando de 3 a 20cm de comprimento no seu eixo maior (C).

**Fácies Boa Fé:** Granodioritos e monzogranitos, com coloração cinza-claro, textura porfirítica com matriz fanerítica de granulação média. Os pórfiros são K-feldspatos, estes possuem dimensões variando em torno de 2 cm no eixo C, enquanto no eixo A e B chegam a no máximo 1 cm.

**Fácies Muxurê Novo:** Sienogranitos e monzogranitos, com coloração cinza, textura porfirítica com matriz fanerítica de granulação média a grossa. Os pórfiros são essencialmente cristais de K-feldspato, com tamanho variando de 2 a 6 cm em todos os eixos, apresentando-se geralmente com formato quadrado.

**Fácies Muxurê Velho:** Enclaves compostos por dioritos ou tonalitos, com coloração cinza escuro, granulação fina a média, ricos em biotita e anfibólio, com textura fanerítica, por vezes porfirítica.

Neoproterozóica

**Unidade Juatama:** Metatexitos e diatexitos, com bandas centimétricas, apresentando estruturas estromatíticas, flebíticas, dobrada ou “schlieren”. Além de rochas calcissilicáticas e anfibolitos inseridos nos migmatitos.

**Quartzitos:** Quartzitos puros e muscovita quartzitos, com estrutura maciça ou, por vezes, bandada. Apresentam coloração variando entre branco, amarelo, avermelhado.

**Unidade Quixeramobim:** Micaxistos, muscovita-feldspato gnaiss, biotita gnaisses, muscovita-biotita gnaiss, granada-biotita gnaiss. Além de mármore, quartzitos e anfibolitos inseridos nos xistos e gnaisses.

Paleoproterozóica

## PRANCHA 4.1

**Fotografia A** – Afloramento de metatexito pertencente à Unidade Juatama. Coordenadas UTM: 463937mE/9419950mN.

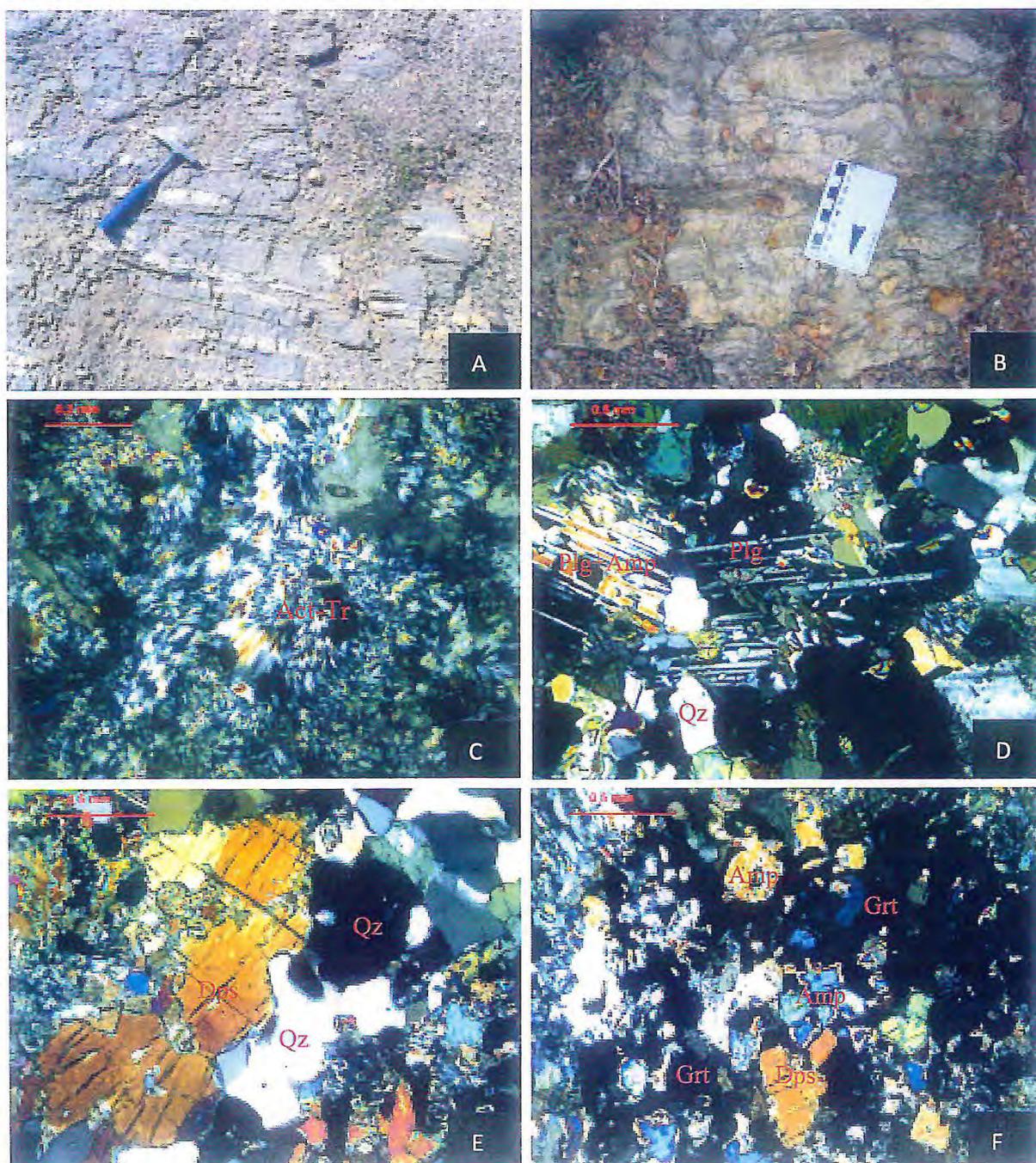
**Fotografia B** – Afloramento de diatexito pertencente à Unidade Juatama. Coordenadas UTM: 464147mE/9420642mN.

**Fotomicrografia C** – Actinolita-tremolita, apresentando hábito acicular radial, presente em rocha calcissilicática da Unidade Juatama, vista com os nicóis cruzados.

**Fotomicrografia D** – Plagioclásio apresentando intercrescimento de anfibólio e quartzo em lâmina delgada rocha calcissilicática da Unidade Juatama, vista com os nicóis cruzados.

**Fotomicrografia E** – Lâmina delgada de rocha calcissilicática da Unidade Juatama, apresentando diopsídio, quartzo e anfibólio, vista com os nicóis cruzados.

**Fotomicrografia F** – Granada apresentando anfibólio e piroxênio no seu interior, presente em rocha calcissilicática, vista em lâmina delgada com os nicóis cruzados.



## PRANCHA 4.2

**Fotografia A** – Afloramento de biotita gnaisses pertencente à Unidade Quixeramobim. Coordenadas UTM: 464263mE/9422010mN.

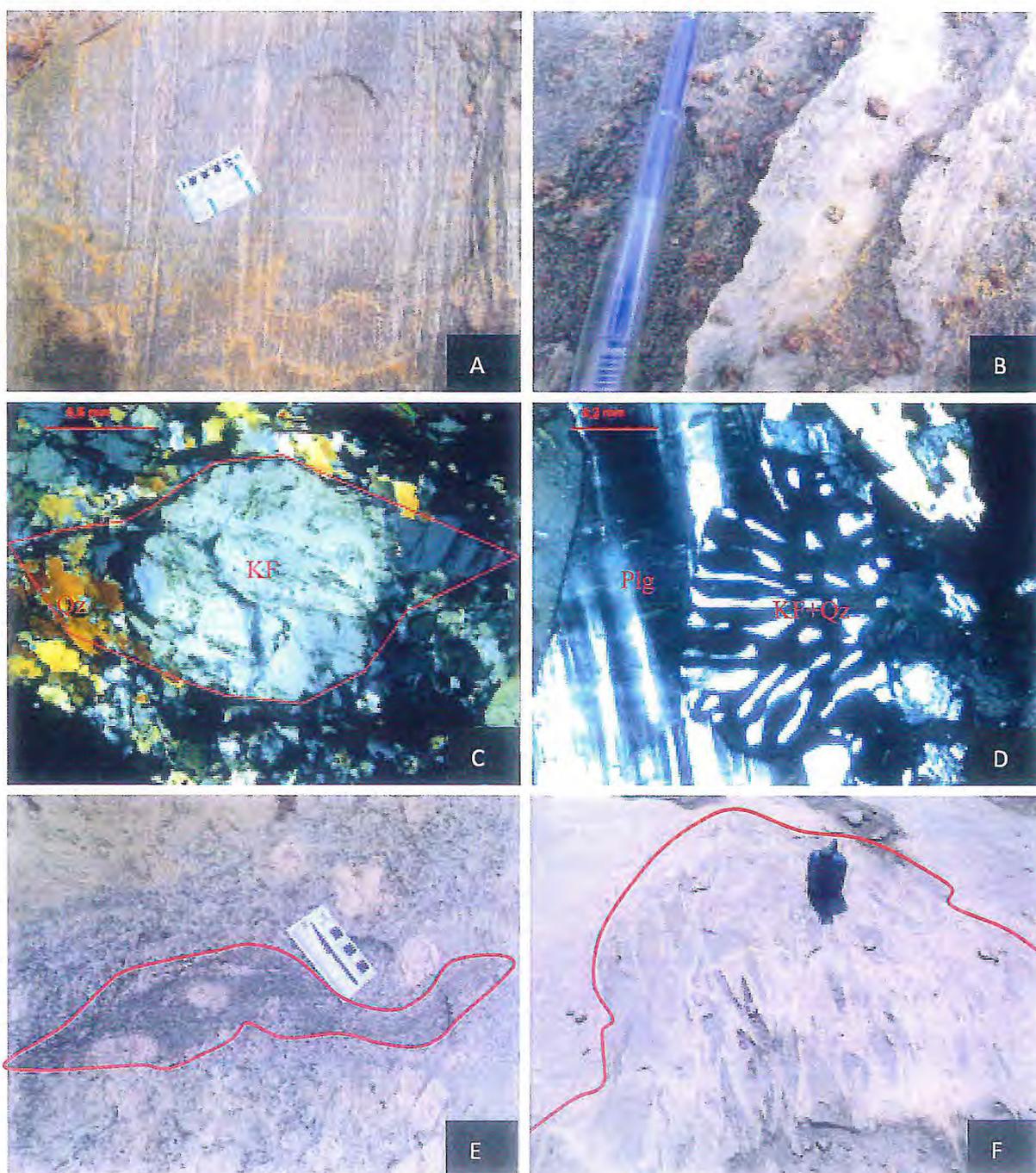
**Fotografia B** – Detalhe do afloramento do granada-biotita-gnaisse da Unidade Quixeramobim. Coordenadas UTM: 464357mE/9423270mN.

**Fotomicrografia C** – Cristal de K-feldspato bordejado por pequenos cristais de quartzo recristalizados, formando sombra de pressão (em vermelho). Vista em lâmina delgada de gnaisse da Unidade Quixeramobim com nicóis cruzados.

**Fotomicrografia D** – Intercrescimento de quartzo em K-feldspato, dando origem a textura mirmequítica, vista em lâmina delgada de gnaisse pertencente à Unidade Quixeramobim analisada com os nicóis cruzados.

**Fotografia E** – Afloramento exibindo enclave do Facies Muxurê Velho (em vermelho) com fenocristais de K-feldspato, inserido na rocha do Fácies Serra Branca. Coordenadas UTM: 465559mE/9417534mN.

**Fotografia F** – Concentrações de enclaves do Fácies Muxurê Velho (em vermelho) inseridos no afloramento da rocha do Fácies Muxurê Novo. Coordenadas UTM: 467537mE/ 9415938mN.



PRANCHA 4.3

**Fotografia A** – Detalhe do afloramento da rocha do Fácies Muxurê Novo. Coordenadas UTM: 467535mE/ 9416716mN.

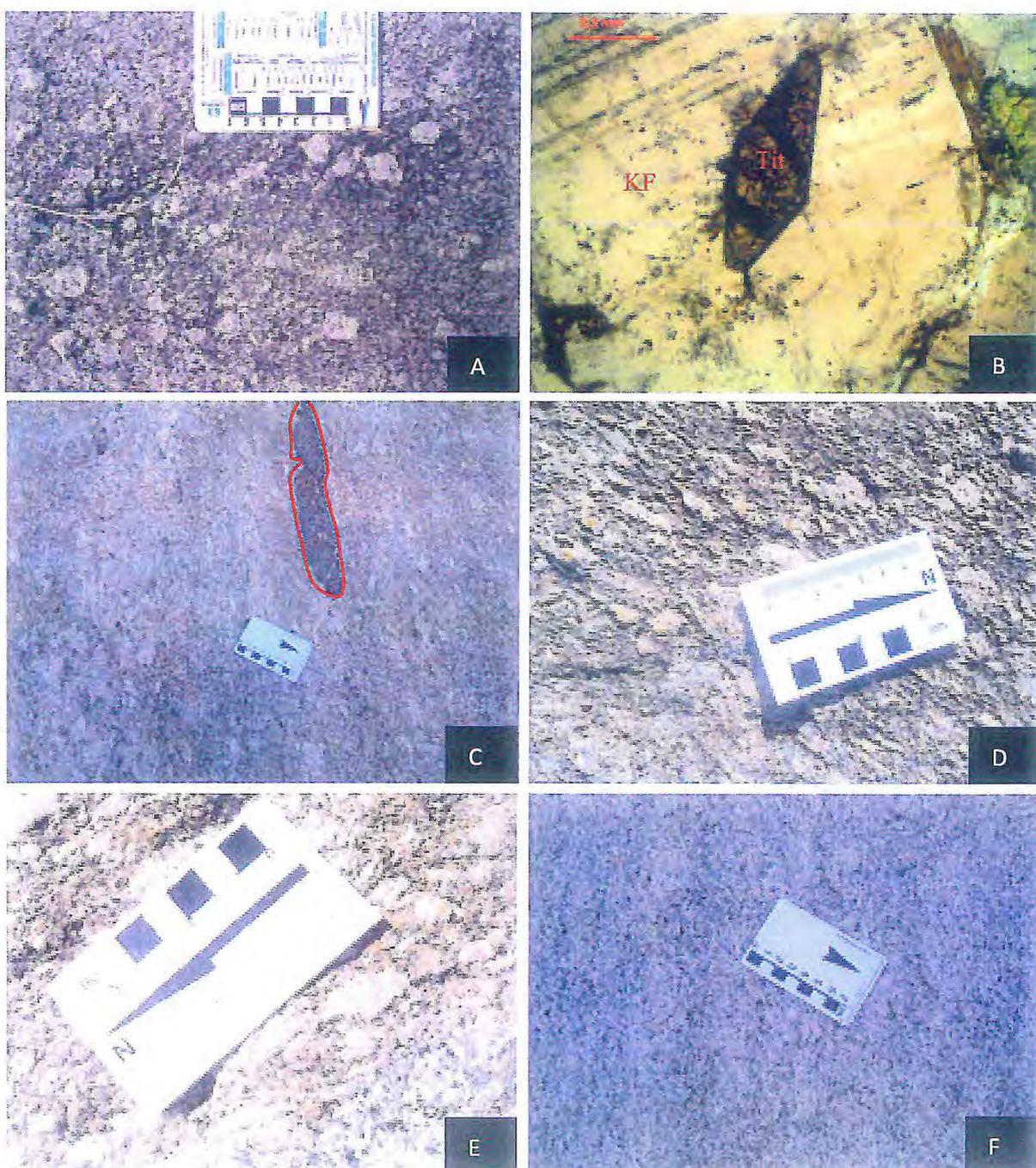
**Fotomicrografia B** – Titânita vista com os nicóis paralelos na lâmina da rocha do Fácies Muxurê Novo.

**Fotografia C** – Detalhe do afloramento mostrando o enclave microgranular do Fácies Muxurê Velho (em vermelho) inserido na rocha do Fácies Muxurê Novo. Coordenadas UTM: 467537mE/9415938mN.

**Fotografia D** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Boa Fé mostrando fluxo para NE. Coordenadas UTM: 468289mE/ 9420280mN.

**Fotografia E** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Boa Fé. Coordenadas UTM: 467207mE/ 9418364mN.

**Fotografia F** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Água Doce. Coordenadas UTM: 466961mE/ 9415808mN.



## PRANCHA 4.4

**Fotomicrografia A** – Lâmina delgada da rocha do Fácies Água Doce exibindo alanita no centro do epidoto, com hábito tabular e forma euédrica. Vista com nicóis cruzados.

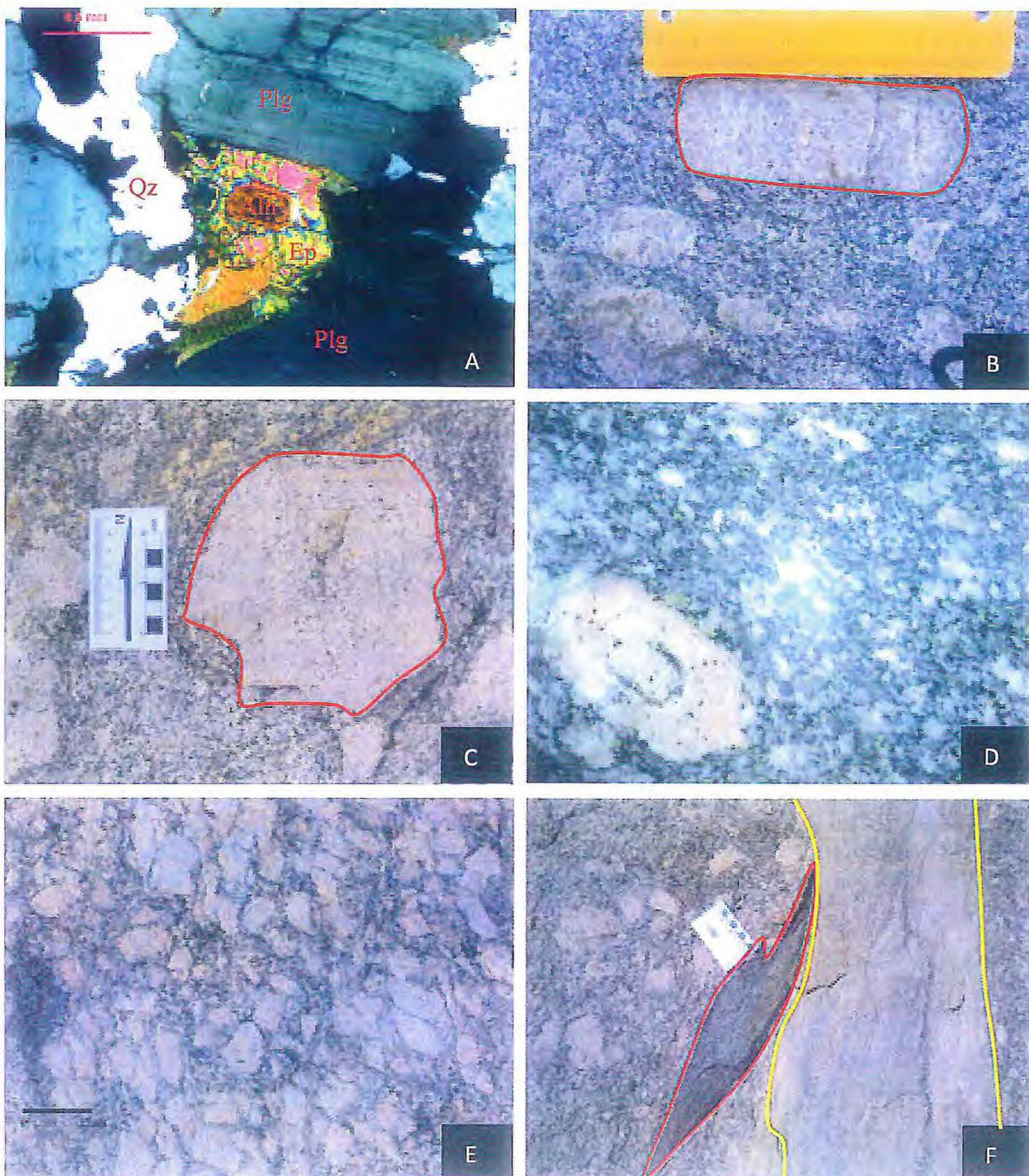
**Fotografia B** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Serra Branca exibindo fenocristal de K-feldspato de 16 cm (em vermelho). Coordenadas UTM: 464492mE/ 9416534mN.

**Fotografia C** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Serra Branca exibindo fenocristal de K-feldspato deformado (em vermelho). Coordenadas UTM: 464285mE/9416462mN.

**Fotografia D** – Detalhe da amostra Serra Branca exibindo pórfiro de K-feldspato com inclusões de biotita e anfibólio, zoneados da borda para o centro.

**Fotografia E** – Acumulação de fenocristais, causada pelo processo de “*filter pressing*”, no afloramento de rocha do Fácies Serra Branca. Coordenadas UTM: 465048mE/ 9417714mN.

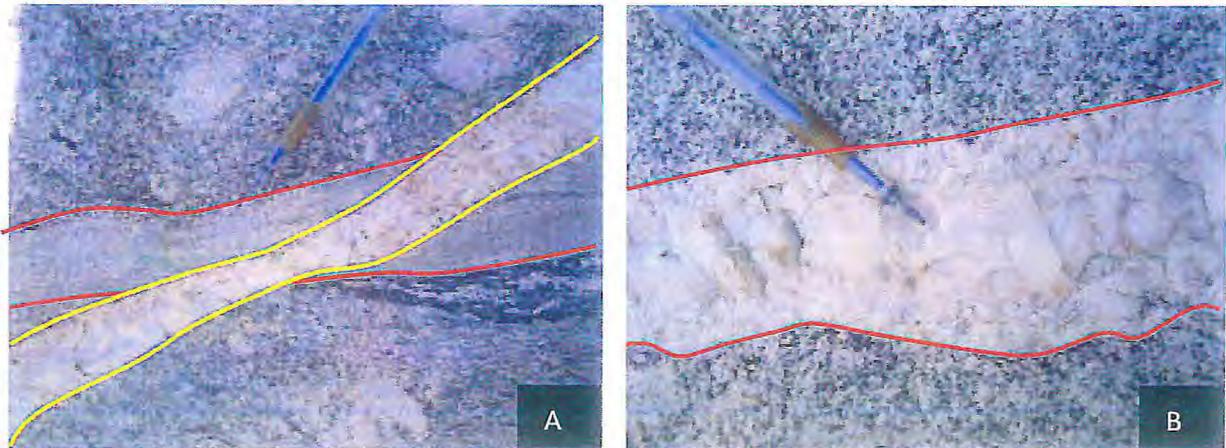
**Fotografia F** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Serra Branca, exibindo enclave pertencente ao Fácies Muxurê Velho (em vermelho) e dique do Fácies Uruquê (amarelo). Coordenadas UTM: 464932mE/9417356mN.



### PRANCHA 4.5

**Fotografia A** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Serra Branca cortado por dique pertencente ao Fácies Uruquê (em vermelho), ambos cortados por veio pegmatítico tardio (em amarelo). Coordenadas UTM: 464932mE/9417356mE.

**Fotografia B** – Detalhe do afloramento de rocha do Fácies Água Doce exibindo veio pegmatítico (em vermelho) de composição quartzo-feldspática cortando-o. Coordenadas UTM: 468308mE/9415960mN.



## **Capítulo 05**

# **CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA**

## CAPÍTULO 05 – CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

O Fácies Serra Branca foi escolhido para ser avaliado petrográfica e tecnologicamente, com o objetivo de avaliar seu possível uso como rocha ornamental, por possuir fenocristais bastante grandes (6 a 20cm), dando um aspecto diferenciado a rocha, sendo este seu principal atrativo visual.

O granitóide do Fácies Serra Branca, é constituído mineralogicamente por: quartzo (25,50%), K-feldspato (38,25%), plagioclásio (21,25%), biotita + anfibólio (14%), minerais acessórios (titanita + apatita + epidoto + minerais opacos; 1%).

Macroscopicamente as rochas que compõem este Fácies (Prancha 5.1 – Fotografia A) possuem textura porfírica com matriz fanerítica, coloração cinza-claro. Os fenocristais são todos de K-feldspato, estes exibindo formas retangulares, pentagonais, hexagonais, a quase esféricas, evidenciando uma rotação destes já no estado sólido, com tamanhos de 6 a 20 cm no seu eixo C. Os fenocristais exibem, por vezes, zoneamentos composicionais e inclusões de minerais de biotita, além de geminação do tipo carlsbad, podendo ser vistas em amostras macroscópicas e microscópicas. Eles se encontram distribuídos heterogeneamente na rocha, sendo por vezes encontrados aglomerados em forma de bolsões através do processo de “*filter pressing*”<sup>1</sup>.

A matriz possui granulação variando de 0,05 a 1,3 cm, sendo constituída por quartzo, plagioclásio, K-feldspato, biotita, anfibólio e minerais acessórios, sendo a proporção de plagioclásios superiores a de K-feldspatos. Na proximidade com a Zona de Cisalhamento as rochas do Fácies Serra Branca apresentam uma orientação desses minerais e um estiramento nos grãos de quartzo.

Microscopicamente a rocha exhibe textura inequigranular, hipidiomórfica, holocristalina. Em lâmina delgada, os cristais de K-feldspato presentes na matriz possuem tamanho de aproximadamente 4,0 mm, apresentam contatos côncavo-convexos com cristais de quartzo e outros feldspatos, contatos planos com a biotita e exibem geminação segundo as leis da albita e periclina ou somente carlsbad (Prancha 5.1 – Fotomicrografia B), identificados como cristais de microclina e ortoclásio, respectivamente. Os plagioclásios (Prancha 5.1 – Fotomicrografia C) apresentam geminação polissintética, periclina ou carlsbad e polissintética combinadas, possui média de tamanho dos grãos igual a 3,5 mm, grau de alteração incipiente a moderado, contatos com os outros minerais em sua maioria côncavo-convexos. São

---

<sup>1</sup> Ocorre quando a câmara ou reservatório magmático é submetido, durante a cristalização, a esforços compressivos, causando um aumento de pressão, o qual separa o líquido magmático dos cristais coexistentes.

encontrados cristais de anfibólio com tamanho médio igual a 3,5 mm, um número relativamente alto de fraturas intergrão, grau de alteração médio a alto, sendo maior nas bordas dos grãos, e contatos geralmente planos, por vezes serrilhados, com os outros minerais (Prancha 5.1 – Fotomicrografia D). Ocorre nesses três minerais uma quantidade relativamente alta de inclusões de quartzo e apatita, esta aparecendo em seção basal e transversal.

Os cristais de quartzo (Prancha 5.1 – Fotomicrografia E) possuem forma anédrica, por vezes subédrica, tamanho variando de 0,3 a 1,5 milímetro, grau de alteração e microfissuramento ausente a incipiente, contatos côncavo-convexo com os feldspatos, planos ou serrilhados com biotitas, planos com anfibólios e titanitas, lobulados ou côncavo-convexos com outros cristais de quartzo. A apatita aparece inclusa neles. Analisados no sistema ortoscópio os cristais de quartzo apresentam extinção ondulante.

As biotitas apresentam hábito lamelar característico, com tamanho variando de 0,5 a 1,3 mm, forma euédrica, grau de alteração incipiente a ausente, contatos com os demais grãos em sua maioria denteados, por vezes planos, e quantidade de microfissuras relativamente baixa. Em algumas porções são encontrados uma alta concentração de biotita e quartzo alterando para epidoto (Prancha 5.1 – Fotomicrografia F).

Os cristais de epidoto possuem formas subédricas ou anédricas, grau de alteração médio a alto, tamanho variando de 0,3 a 1,7 mm, hábito prismático, contatos, em sua maioria, planos, com os demais grãos. Eles são encontrados inseridos nos cristais de quartzo (Prancha 5.2 – Fotomicrografia A), K-feldspato e anfibólio.

As titanitas (Prancha 5.2 – Fotomicrografia B) encontradas apresentam hábito prismático, forma subédrica, com tamanho aproximado de 0,5 mm, grau de alteração média a alta e microfissuramento alto. Os contatos delas são em sua maioria planos com os demais grãos, ocorrendo por vezes contatos serrilhados. Ocorrem ainda minerais opacos inseridos nas titanitas (Prancha 5.2 – Fotomicrografia C).

De modo geral, muitos cristais apresentam microfraturas intragranulares, podendo ser explicadas como sendo fraturas sin-magmáticas, as quebras ocorreram quando a matriz não estava cristalizada. O grau de microfissuramento é de 3,17 microfissuras/mm<sup>2</sup>, caracterizando um alto grau, sendo 87,13% de microfissuras intragrão, estas são encontradas em maior quantidade nos cristais de K-feldspato e plagioclásio, e 12,87 % intergrão. Nos cristais de quartzo essas microfissuras são quase ausentes representando menos de 5% do total de microfissuras da rocha. Já referente ao grau de alteração, os cristais de epidoto, titanita, K-feldspato e plagioclásio apresentam alteração média a média-alta, enquanto os cristais de biotita e quartzo apresentam grau de alteração incipiente. Analisando-se os contatos de toda a

lâmina do Serra Branca, os contatos-convexos representam 35,5%, os denteados 49,45% e os planos 14,90%.

Na Tabela 5.1 estão dispostas, de forma reduzida, as principais características da amostra Serra Branca. Estas foram utilizadas para comparação com os resultados dos ensaios físico-mecânicos.

**Tabela 5.1** – Tabela resumindo as características petrográficas da amostra Serra Branca.

| Características Petrográficas |  | Serra Branca                            |
|-------------------------------|--|---|
| Mineralogia (%)               | Feldspato                                      | 38,25                                   |
|                               | quartzo  | 25,50                                   |
|                               | Plagioclásio                                   | 21,25                                   |
|                               | Biotita + Anfibólio                            | 14,0                                    |
|                               | Titânita + apatita + epidoto + minerais opacos | 1,0                                     |
| Granulação (mm)               | Variação                                       | 0,5 a 200,0                             |
|                               | Predominância                                  | 5,0                                     |
|                               | Matriz   | 0,5 a 13,0                              |
|                               | Fenocristal                                    | 60,0 a 200,0                            |
| Microfissuras                 | Total/mm <sup>2</sup>                          | 3,17                                    |
|                               | Intragrão (%)                                  | 87,13                                   |
|                               | Intergrão (%)                                  | 12,87                                   |
|                               | Comunicabilidade                               | Baixa                                   |
| Contatos (%)                  | Côncavo/Convexo                                | 35,65                                   |
|                               | Denteado                                       | 49,45                                   |
|                               | Plano  | 14,90                                   |
| Alteração Mineral             | Feldspato                                      | Moderada                                |
|                               | Plagioclásio                                   | Moderada                                |
|                               | Quartzo  | Incipiente                              |
|                               | Coloração                                      | Cinza claro                             |
|                               | Estrutura                                      | Anisotrópica                            |
|                               | Textura  | Porfirítica                             |
|                               | Granulação                                     | Média a Grossa                          |
|                               | Classificação Petrográfica                     | Sienogranito porfirítico inequigranular |

Fonte: Autores.

## PRANCHA 5.1

**Fotografia A** – Detalhe de rocha do Fácies Serra Branca apresentando textura porfíritica com matriz fanerítica. Fenocristal destacado em vermelho. Coordenadas UTM: 465559mE/9417534mN.

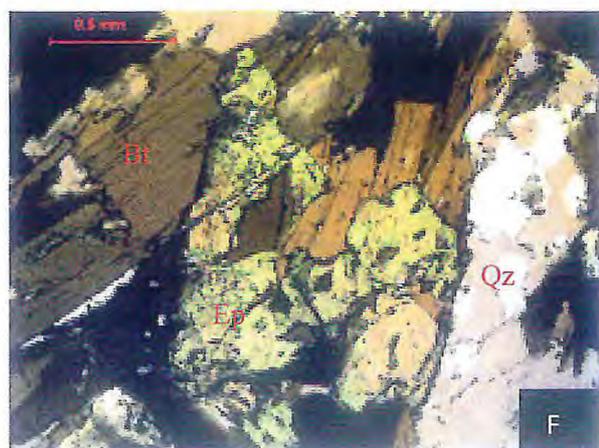
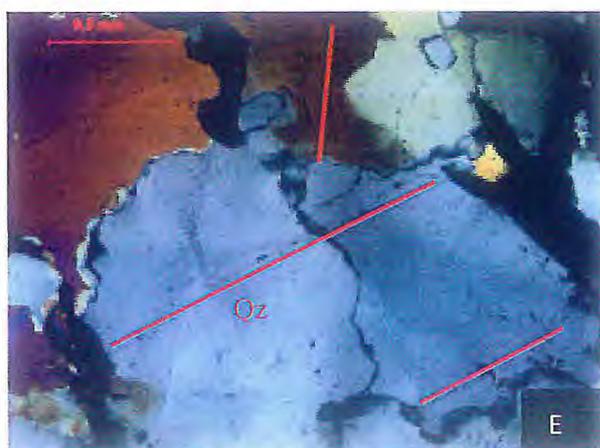
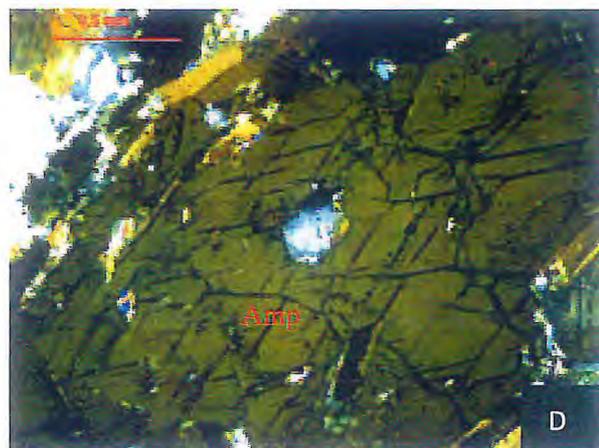
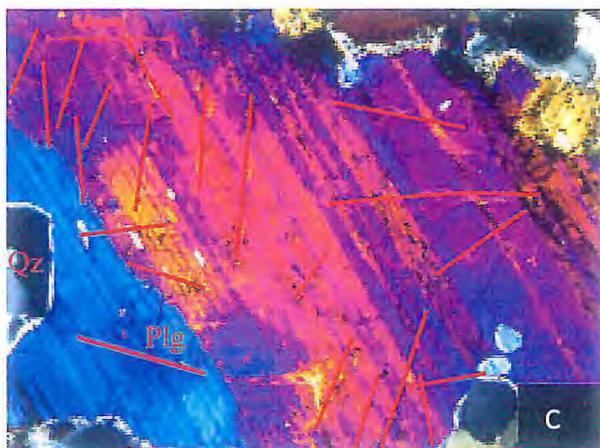
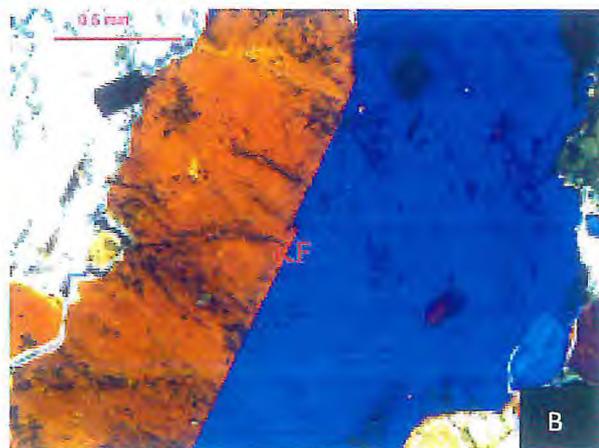
**Fotomicrografia B** – Cristal de K-feldspato apresentando geminação Carlsbad, vista com nicóis cruzados.

**Fotomicrografia C** – Plagioclásio apresentando geminações carlsbad e polissintética combinadas. Microfissuras marcadas em vermelho. Visto com nicóis cruzados.

**Fotomicrografia D** – Cristal de anfibólio de aproximadamente 3,5 mm, apresentando microfissuras intragranulares e inclusões de quartzo. Visto com nicóis cruzados.

**Fotomicrografia E** – Cristais de quartzo apresentando contatos lobulados e côncavo-convexos, vistos com nicóis cruzados. Microfissuras marcadas em vermelho.

**Fotomicrografia F** – Cristais de biotita intercalados com epidoto e quartzo.

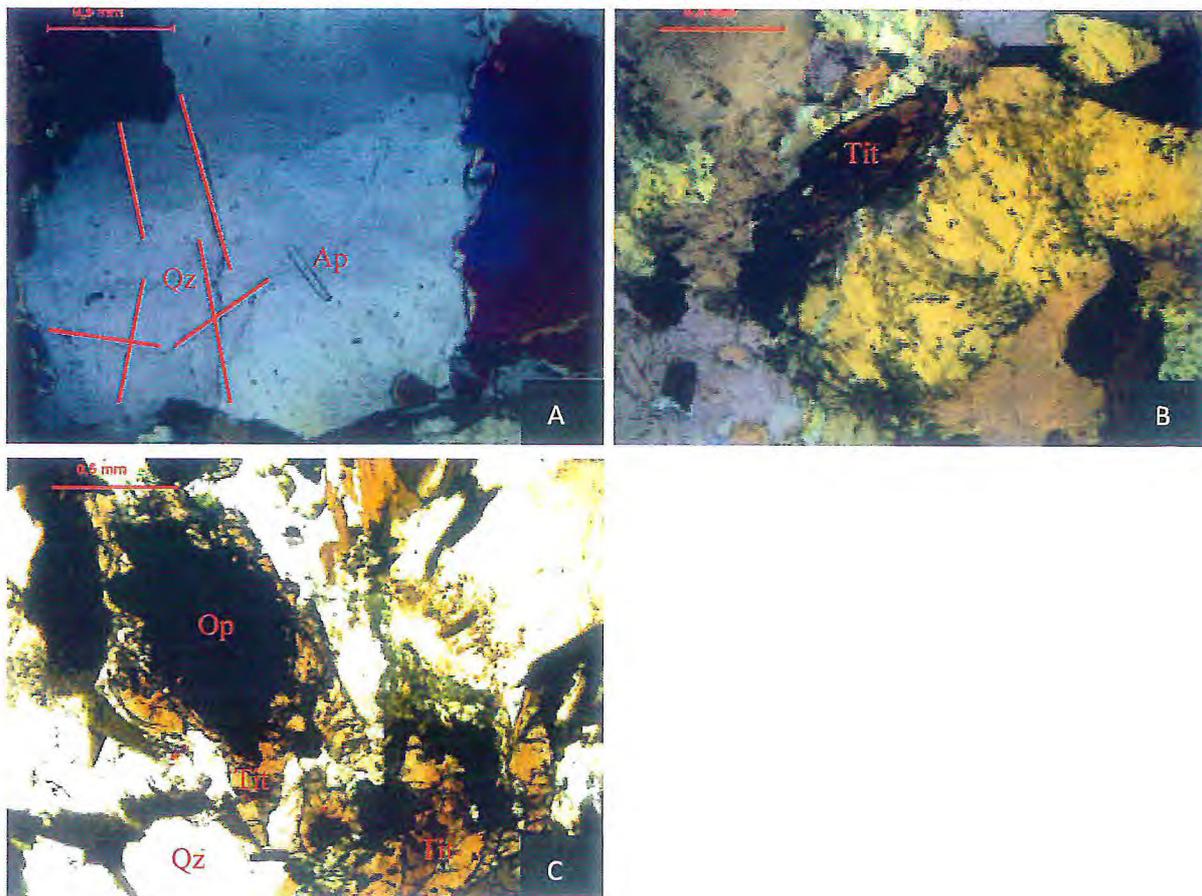


## PRANCHA 5.2

**Fotomicrografia A** – Apatita inclusa no quartzo. Microfissuras marcadas em vermelho. Vista com nicóis cruzados.

**Fotomicrografia B** – Titanita bordejada por feldspatos. Vista com nicóis paralelos.

**Fotomicrografia C** – Minerais opacos rodeados por titanita e quartzo. Vista com nicóis paralelos.



**Capítulo 06**  
CARACTERIZAÇÃO  
TECNOLÓGICA DO GRANITÓIDE  
DO FÁCIES SERRA BRANCA

## **CAPÍTULO 06 – CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO GRANITÓIDE DO FÁCIES SERRA BRANCA**

Amostras do granitóide do Fácies Serra Branca (Serra Branca), do Batólito Quixeramobim, foram submetidas a ensaios de caracterização tecnológica para determinação das suas propriedades físicas e mecânicas. Foram realizados os seguintes ensaios: Índices Físicos, Resistência a Compressão Uniaxial, Módulo de Ruptura (flexão por carregamento em três pontos), Determinação do Desgaste por Abrasão pelo método de AMSLER e Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais.

Todos os ensaios foram realizados obedecendo aos procedimentos normativos apresentados de acordo com normas específicas da ABNT e ASTM para rochas ornamentais, conforme descrito no Capítulo 2.

Os ensaios de caracterização tecnológica foram realizados nos laboratórios da Divisão de Materiais (DIMAT) da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), em Fortaleza – CE, no período de julho de 2012.

Os resultado dos ensaios de caracterização prestaram-se para comparações com os respectivos parâmetros da Norma ABNT NBR 15844/2010s, no sentido de analisar a viabilidade técnica do granitoide do Fácies Serra Branca para aplicação deste como rochas ornamentais.

### **6.2 ÍNDICES FÍSICOS**

Para realização dos ensaios de Índices Físicos (porosidade aparente, absorção d'água, densidade aparente) adotou-se os procedimentos sugeridos pela Norma ABNT NBR 15845/2010, tendo como intuito a determinação das propriedades acima citadas e correlacionando-as com as feições da rocha, como fissuras e fraturas, além de destinar seu uso a ambientes adequados.

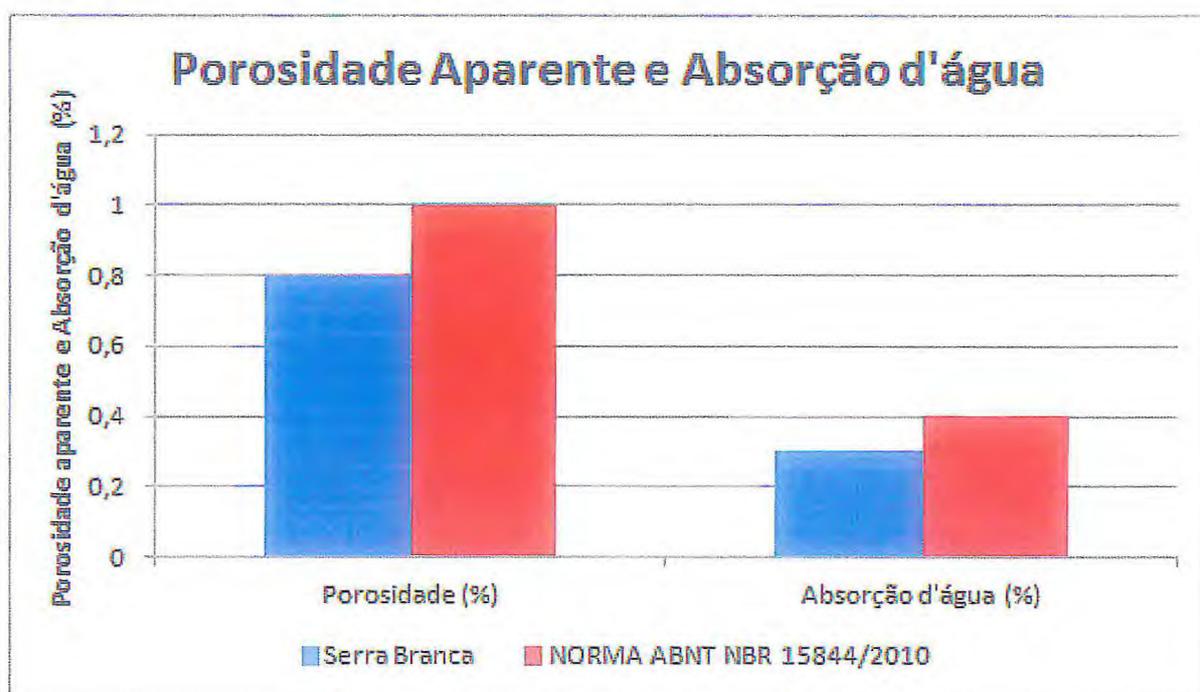
Os resultados destes ensaios foram comparados aos valores limites para rochas silicatadas determinados pelas Normas ABNT NBR 15844/2010 e ASTM (1992), conforme a tabela 6.1 a seguir. As comparações estão representadas nos gráficos 6.1 e 6.2.

**Tabela 6.1** – Valores limites estimados pelas Normas ASTM (1992) e ABNT NBR 15844/2010 comparativos aos resultados obtidos pela amostra Serra Branca.

| Ensaio                                  | Serra Branca | ASTM (1992)       | ABNT NBR 15844/2010 |
|---|--------------|-------------------|---------------------|
| Porosidade Aparente (%)                 | 0,80         | n.e. <sup>1</sup> | ≤ 1,00              |
| Absorção d'água (%)                     | 0,30         | 0,4               | ≤ 0,40              |
| Densidade Aparente (kg/m <sup>3</sup> ) | 2696,95      | 2560              | ≥ 2550              |

Fonte: Autores.

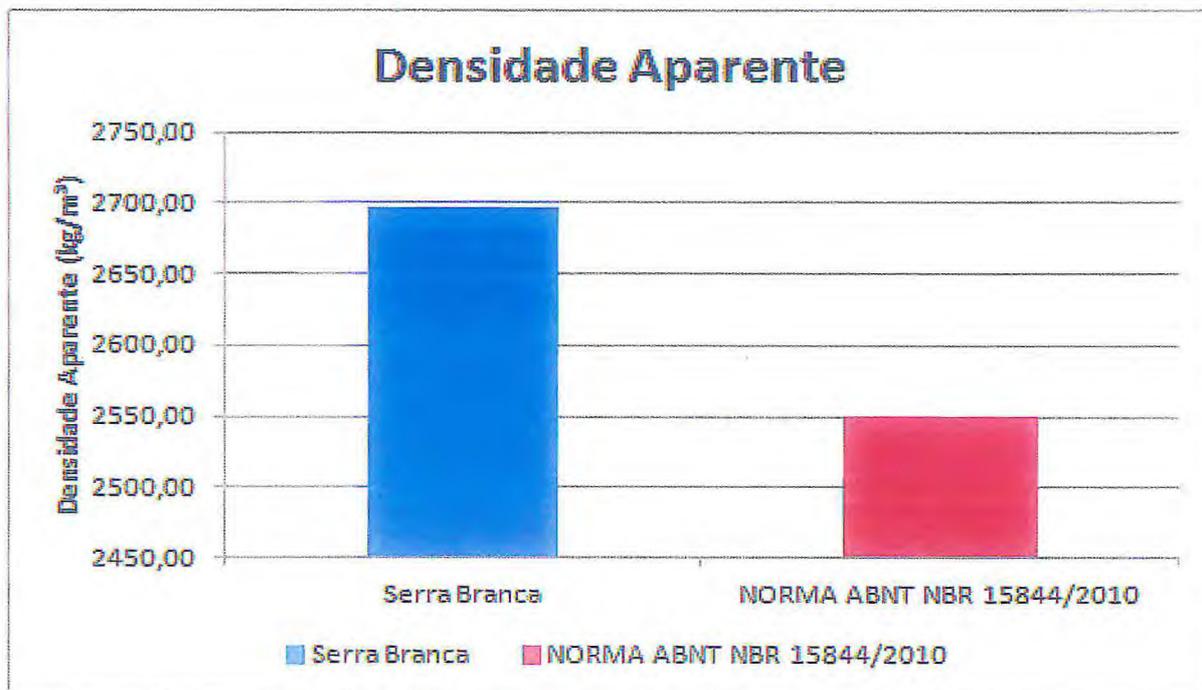
**Gráfico 6.1** – Resultado da Porosidade Aparente e Absorção d'água da amostra Serra Branca e comparativo com os valores limites estimados pela Norma ABNT NBR 15844/2010.



Fonte: Autores.

<sup>1</sup> Não especificado.

Gráfico 6.2 – Resultado da Densidade Aparente da amostra Serra Branca e comparativo com o valor mínimo estimado pela Norma ABNT NBR 15844/2010.



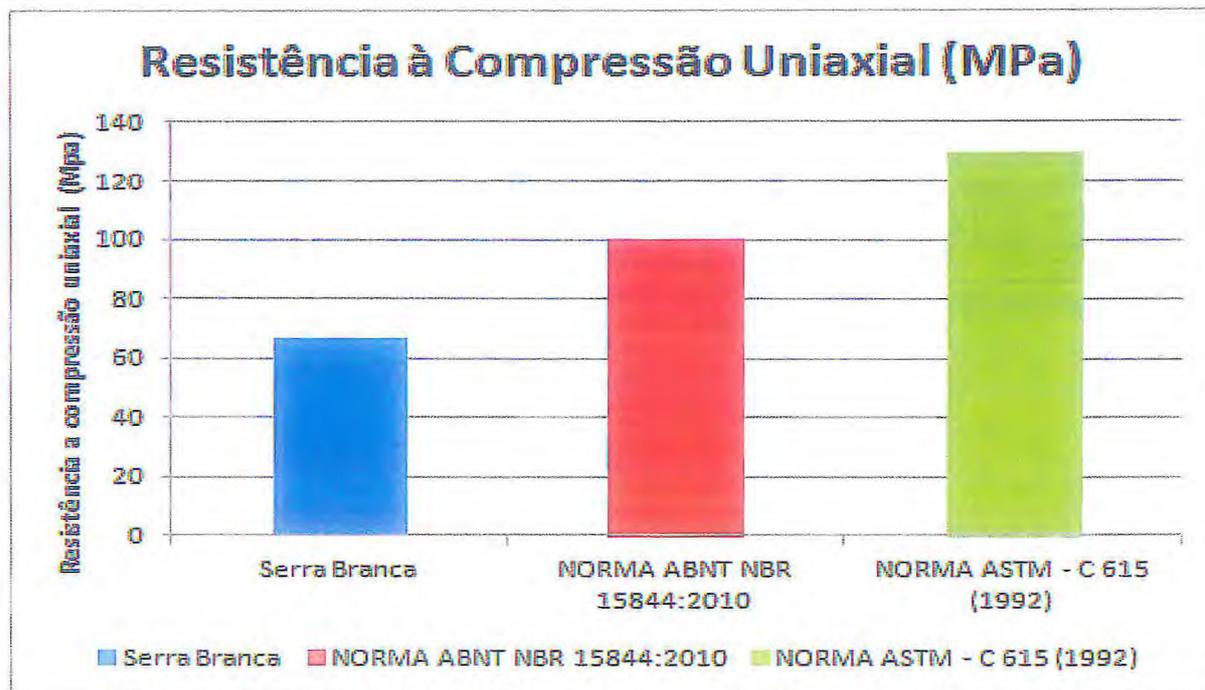
Fonte: Autores.

Os resultados oriundos destes ensaios mostraram que o valor médio obtido para densidade aparente ( $2696 \text{ kg/m}^3$ ) é superior aos sugeridos pela norma ABNT 15844/2010 e ASTM C-615 (1992), por outro lado, a porosidade aparente e absorção d'água exibem valores 0,80% e 0,30%, respectivamente, próximos aos limites sugerido pelas normas  $\leq 1,0$  e  $\leq 0,40$ , os quais resultam da quantidade de microfissuras existente na rocha ( $3,17 \text{ microfissuras/mm}^2$ ), pois estas geram uma quantidade maior de espaços vazios.

## 7.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

A Norma ASTM C - 615 (1992) e ABNT NBR 15844/2010 determinam valores limites para rochas silicatadas para o ensaio de Compressão Uniaxial  $\geq 130 \text{ MPa}$  e  $\geq 100 \text{ MPa}$ , respectivamente. Desta forma, foi elaborado um gráfico entre os valores obtidos no ensaio e comparados com os dados sugeridos pelas normas acima citadas (Gráfico 6.3).

Gráfico 6.3 – Resultado da Resistência à Compressão Uniaxial da amostra Serra Branca e comparativo com os valores mínimos determinados pela Norma ABNT NBR 15844/2010 e ASTM C - 615 (1992).



Fonte: Autores.

Os resultados obtidos neste ensaio (66,6 MPa) foram inferiores aos determinados pelas normas ABNT e ASTM, pois a rocha apresenta grau de microfissuramento e porosidade altos, além de apresentar uma granulação mineral bastante variada. A presença de fenocristais com até 20 cm com grande quantidade de microfissuras (3,17 microfissuras/mm<sup>2</sup>), reduz a resistência mecânica da rocha e pode inviabilizá-la em determinados sítios estruturais de obras de edificações.

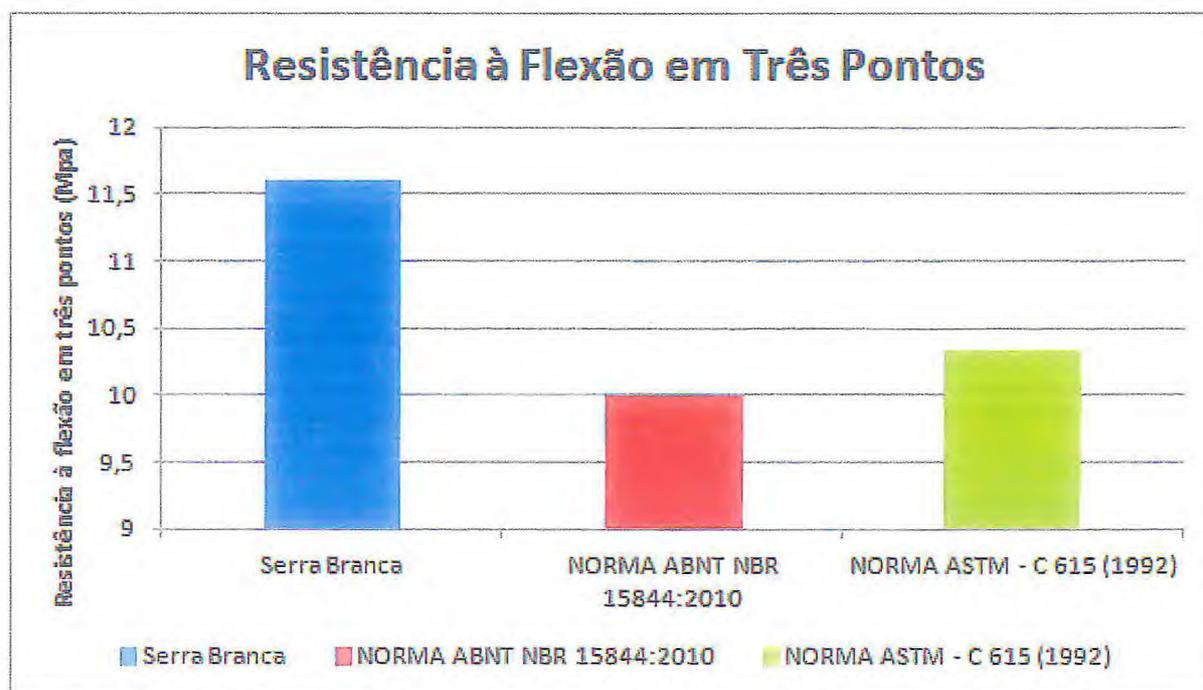
Outro fator que pode ter reduzido a resistência da rocha foi a confecção dos corpos-de-prova. Foram observadas diferenças significativas nos tamanhos das amostras, que variaram de 67,2 mm á 71,8 mm, exibindo alto valor de dispersão em torno da média, ou seja, um desvio padrão de 13,98%, como pode ser visto na tabela III.1 em anexo, nesta estão expressos os valores das medidas de cada corpo. Essa diferença nos tamanhos dos lados das amostras faz com que a força incida obliquamente nos corpos-de-prova, diminuindo assim a resistência da rocha.

#### 6.4 MÓDULO DE RUPTURA (FLEXÃO POR CARREGAMENTO EM TRÊS PONTOS)

Este procedimento foi realizado para analisar a capacidade que a rocha tem de resistir à flexão, avaliando o uso desta rocha em ambientes internos e externos, como em bancadas, pisos, fachadas, revestimentos e etc.

Os resultados obtidos foram comparados aos determinados pela Norma ABNT NBR 15844/2010, que estipula valor mínimo de 10,0 Mpa, e valor mínimo da Norma ASTM C - 615 (1992) que é de 10,34 MPa.

Gráfico 6.4 – Resultado da Resistência à flexão em três pontos da amostra Serra Branca e comparativo com os valores mínimos estipulados pela Norma ABNT NBR 15844:2010 e ASTM C - 615 (1992).



Fonte: Autores.

A amostra Serra Branca apresentou valor médio igual a 11,6 MPa, portanto superior aos valores mínimos das Normas. Este resultado pode estar relacionado ao fato da rocha apresentar maior quantidade de contatos entre grãos do tipo serrilhado e côncavo convexos, gerando um “embricamento” entre os grãos, o que confere maior resistência a esforços a rocha, e ao baixo grau de alteração dos minerais. A rocha “Serra Branca” apresenta características que permitem sua utilização em ambientes externos em fachadas sob forma de placas sujeitas a forças flexoras de edificações e/ou ação dos ventos, e internos para bancadas,

pisos, mas com alguns cuidados na espessura do material para evitar quebras próximas ao fenocristais de maior comprimento.

#### 6.4 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSÔNICAS LONGITUDINAIS

Para o ensaio de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais, os resultados foram comparados aos de Frazão & Farjallat (1995) que sugerem um limite aceitável com valores obtidos  $\geq 4000$  m/s para rochas ornamentais. A propagação das ondas longitudinais tem influencia diretamente da densidade, estado de alteração, microdescontinuidades, arranjo granulométrico e porosidade do material.

Foram realizadas medições nos corpos-de-prova dos ensaios de compressão uniaxial e nos corpos-de-prova de Módulo de Ruptura (flexão por carregamento em três pontos) com dimensões iguais a 7x7x7 cm e 20x10x5 cm, respectivamente. Os valores obtidos estão representados na tabela 6.2.

**Tabela 6.2** – Resultado da Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas da amostra Serra Branca comparativo com valores mínimos sugeridos por Frazão e Farjallat (1995)

| Ensaio  | Serra Branca | Frazão & Farjallat (1995) |
|---|--------------|---------------------------|
| Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas em corpo-de-prova para Compressão Uniaxial (m/s). | 4893,42      | $\geq 4000$               |
| Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas em corpo-de-prova para Flexão 3 pontos (m/s).     | 4222,92      | $\geq 4000$               |

Fonte: Autores.

A densidade exerce influência direta nesta propagação, visto que quanto maior a densidade aparente, maior será a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas na rocha.

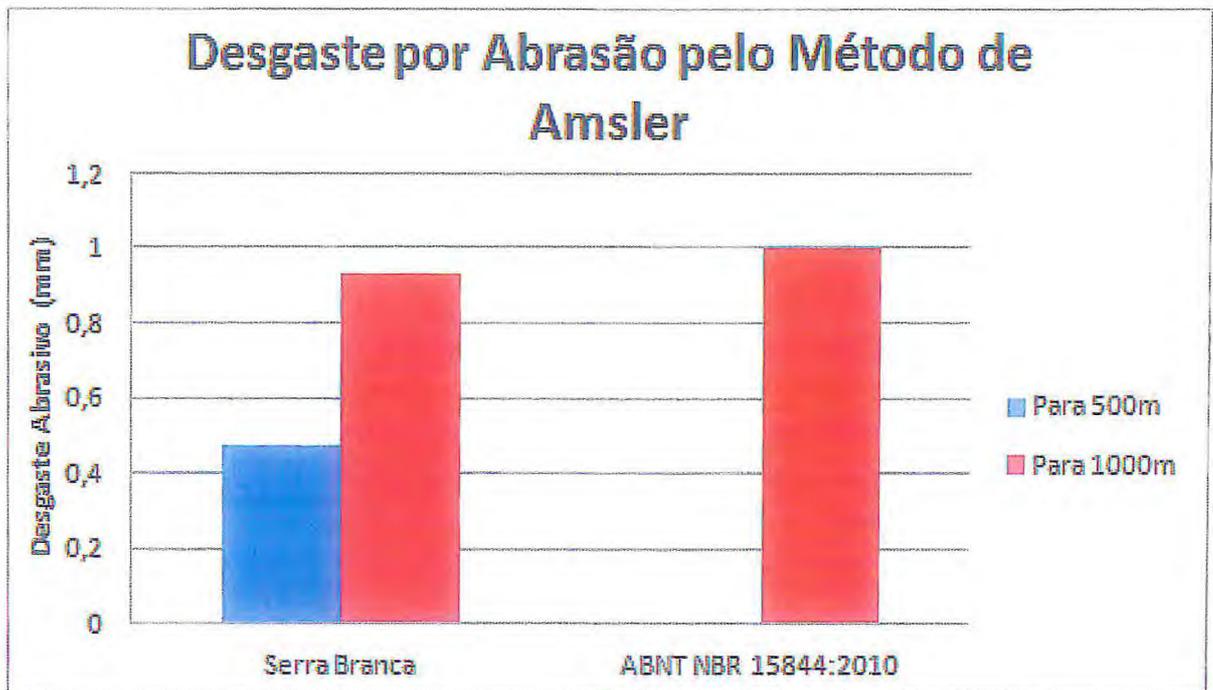
Os valores obtidos no ensaio para o Serra Branca exibiram bom desempenho, apesar desta rocha possuir uma granulação heterogênea. Segundo análise petrográfica o Serra Branca apresentou uma alta quantidade de microfissuras, porém uma pequena porcentagem destas fraturas é de natureza intergrão (12,87% microfissuras/mm<sup>2</sup>), havendo pouca

conectividade, o que sugere que essas microfissuras não sejam preenchidas, o que causaria uma desaceleração dos pulsos. Este resultado indica que a rocha é favorável para o uso ornamental de bancadas, chapas grandes, pisos e revestimentos.

### 6.5 DESGASTE ABRASIVO PELO MÉTODO DE AMSLER

Foram atribuídos para o desgaste abrasivo os valores limites para rochas silicatadas determinados pela Norma ABNT NBR 15844/2010, cujo desgaste máximo deve ser igual ou inferior a 1,0 mm para o percurso de 1000 m percorridos pela amostra. O ensaio resultou em valores de 0,47 mm de desgaste abrasivo para os primeiros 500m e 0,93 mm para 1000 m percorridos pela amostra, os quais são resultados inferiores aos dados comparativos da Norma.

Gráfico 6.5 – Resultado do ensaio Desgaste Abrasivo pelo método de AMSLER da amostra Serra Branca e comparativo com os valores limites determinados pela Norma ABNT NBR 15844/2010.



Fonte: Autores.

A resistência ao desgaste Abrasivo da rocha esta intimamente relacionada à dureza de cada cristal constituinte da rocha, sua compacidade, granulação e arranjo textural, para o qual influenciam principalmente no custo de polimento e acabamento desses materiais.

O Serra Branca é composto por uma matriz média a grossa com uma maior porcentagem de cristais de feldspato e quartzo, respectivamente. Onde o quartzo, que é um mineral mais resistente a abrasão por possuir dureza igual a 7 na escala de Mohs, tem influência significativa no resultado. No caso em apreço foram observados valores abaixo dos sugeridos pela norma. Além disso, a amostra é composta por fenocristais de feldspato potássico, que possui uma dureza igual a 6, o que influencia em uma maior resistência ao desgaste abrasivo

Os resultados obtidos se mostraram bem próximos aos comparativos pela norma fazendo com que haja possíveis restrições ao seu uso, apesar de serem satisfatório, pode ser sugerida restrição ao seu uso como piso em áreas de intenso tráfego.

**Capítulo 07**  
**CONCLUSÃO**

## CAPÍTULO 07 – CONCLUSÃO

A relação entre os dados petrográficos e estruturais, obtidos na realização dessa monografia, permitiu apresentar as seguintes conclusões sobre a geologia da área de estudo:

A área de estudo engloba o contexto magmático do Batólito Quixeramobim e metamórfico que marca a área próxima a Zona de Cisalhamento Quixeramobim. Na área de estudo são encontrados metatexitos, diatexitos, anfíbolitos, gnaisses, mármore e rochas calcissilicáticas pertencentes ao Complexo Ceará, mais especificamente a Unidade Quixeramobim e a Unidade Juatama, além das rochas magmáticas plutônicas pertencentes ao Batólito Quixeramobim.

O Batólito Quixeramobim está limitado a NW pela Zona de Cisalhamento Quixeramobim. Ele é composto por rochas graníticas a dioríticas, com diferentes padrões texturais e petrográficos, divididas em diversas fácies de acordo com os padrões singulares que apresentam. Na área de estudo foi possível registrar a presença das Fácies Muxurê Velho, Muxurê Novo, Boa Fé, Água Doce, Serra Branca, Uruquê e Mobilizados tardios, sendo possível delimitar os contatos entre as rochas das Fácies Muxurê Novo, Boa Fé, Água Doce e Serra Branca, e apresentar uma relação de contato entre todos os sete fácies.

Dentre estes, o Fácies Serra Branca foi escolhido, devido a seu aspecto visual, para serem realizadas análises do comportamento físico-mecânico, visando a utilização dos granitóides desse Fácies como material ornamental e de revestimento de ambiente externo e interno. As análises realizadas com esse cunho seguindo as Normas da ABNT, durante o desenvolvimento dessa monografia, permitiram chegar à seguinte caracterização:

A amostra Serra Branca é caracterizada como um sienogranito, apresentando textura inequigranular porfirítica (com fenocristais de K-feldspato de até 20 cm) e matriz fanerítica, coloração cinza-claro, constituído mineralogicamente por quartzo (25,50%), K-feldspato (38,25%), plagioclásio (21,25 %), biotita + anfíbólio (14 %), minerais acessórios (titanita + apatita + epidoto + minerais opacos; 1%). A análise petrográfica da amostra auxiliou na identificação dessa paragênese, assim como na identificação das relações de contatos entre os grãos de minerais constituintes da rocha, que são: côncavo-convexos representando 35,5%, denteados 49,45% e os planos 14,90%. Além da mineralogia e dos contatos, o grau de microfissuramento e de alteração da rocha também foram examinados durante a análise petrográfica. Todos esses parâmetros e as relações entre eles foram de suma importância para justificar os resultados obtidos nos ensaios físico-mecânicos.

O microfissuramento da amostra é de 3,17 microfissuras/mm<sup>2</sup>, caracterizando um alto grau, sendo 87,13% de microfissuras intragrão, estas são encontradas em maior quantidade nos cristais de K-feldspato e plagioclásio, e 12,87% intergrão. Nos cristais de quartzo essas microfissuras são quase ausentes representando menos de 5% do total de microfissuras da rocha. Já referente ao grau de alteração, os cristais de epidoto, titanita, K-feldspato e plagioclásio apresentam alteração média a média-alta, enquanto os cristais de biotita e quartzo apresentam grau de alteração incipiente.

Os ensaios realizados para medir os índices físicos da amostra Serra Branca analisaram os parâmetros de porosidade, absorção d'água e densidade aparente. A porosidade da rocha é de 0,8%, este é um valor próximo ao limite aceitável pela Norma ABNT NBR 15844/2010, que é de até 1,0%. O ensaio para medir a absorção d'água da amostra apresentou resultado de 0,3%, também próximo ao valor sugerido pela Norma, que é de no máximo 0,4%. Já a densidade aparente da rocha mostrou valores de 2696,95 (kg/m<sup>3</sup>), que também atende ao valor requisitado pela Norma ( $\geq 2550$ ). Esses valores são reflexo da quantidade de microfissuras existente na rocha, o que resulta em maiores quantidades de espaços vazios, causando assim um aumento na porcentagem da porosidade aparente e absorção d'água, e diminuição na densidade aparente da rocha.

O resultado médio obtido para o ensaios de compressão uniaxial foi de 66,6 MPa. Este valor é inferior ao sugerido pela Norma ABNT NBR 15844/2010, que são valores iguais ou superiores a 100 Mpa. Esse valor é resultado da heterogeneidade da rocha relacionada a composição mineralógica e principalmente aos tamanhos dos grãos, além de um elevado grau de microfissuramento. Outro fator que pode reduzir a resistência na rocha foi a forma da confecção dos corpos-de-prova, onde foram observadas diferenças significativas nos tamanhos das amostras. Com isso se faz necessário realizar mais ensaios de compressão uniaxial para avaliar melhor a utilização deste material em determinados ambientes estruturais.

O valor médio obtido no ensaio para medir a resistência a flexão por carregamento em três pontos foi de 11,6 MPa, superior ao exigido pela Norma ABNT NBR 15844/2010, que estipula um valor mínimo de 10,0 MPa. Apesar de possuir grãos com tamanhos diversos e microfissuramento alto, a relação de contatos entre os grãos (côncavo-convexos 35,5% e denteados 49,45%) garantiu um bom funcionamento mecânico da amostra Serra Branca.

Os resultados médios do ensaio de Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais foram comparados com os valores sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), respectivamente, 4893,42 m/s e  $\geq 4000$  m/s, esses resultados referentes aos

corpos-de-prova de dimensões iguais a 7x7x7 cm. Para os corpos de prova de 20x10x5 cm os valores obtidos foram comparados aos sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) são, respectivamente, 4222,92 m/s e  $\geq 4000$  m/s. A densidade aparente é diretamente proporcional a velocidade de propagação das ondas que passam pela amostra, já a presença de água na amostra é inversamente proporcional a essa velocidade. Mesmo apresentando uma granulação heterogênea e um alto grau de microfissuras, a amostra apresentou um resultado positivo para o ensaio. Acredita-se que a quantidade de microfissuras não tenha prejudicado tanto os resultados, pois uma pequena porcentagem das fraturas é de natureza intergrão (12,87%), havendo pouca conectividade, o que sugere que essas fraturas não sejam preenchidas por água, o que causaria uma desaceleração dos pulsos.

Com relação à resistência ao desgaste abrasivo, a amostra apresentou valores favoráveis segundo a Norma ABNT NBR 15844/2010, que aceita como resultado a resistência ao desgaste máximo igual ou menor que 1,0 mm para 1000 m percorridos pela amostra. O resultado final obtido foi de 0,93 mm para os 1000 m percorridos.

A amostra Serra Branca mostrou resultados favoráveis nas análises dos índices físicos, resistência à flexão por carregamento em três pontos, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais e desgaste abrasivo. Sendo reprovada apenas no ensaio de resistência a compressão uniaxial. Esses resultados a tornam adequada para o uso ornamental de bancadas, pisos, revestimento exteriores sob forma de placas sujeitas às forças flexoras de edificações e/ou ação dos ventos e aplicações semelhantes, porém, não favorável para o uso em partes estruturais de edificações. Vale ressaltar que os resultados obtidos para a resistência ao desgaste abrasivo são bastante próximos aos sugeridos pela norma, sugerindo assim certa restrição ao seu uso como piso em áreas de intenso tráfego.

## **Capítulo 08**

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**CAPÍTULO 08 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845**: Análise petrográfica – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845**: Densidade aparente, porosidade aparente e absorção d'água – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845**: Resistência a compressão uniaxial – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845**: Módulo de ruptura (Flexão por carregamento em três pontos) – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12042**: Materiais Inorgânicos – Determinação do desgaste por abrasão. Rio de Janeiro, 1992.

ALMEIDA, F.F.M. de; HASUY, Y.; BRITO NEVES; B.B. FUCK, R.A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Science Reviews**, v.17, p. 1-29. 1981.

Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 8 ago. 2012.

ALMEIDA, A. R.; **Petrologia e Aspectos Tectônicos do Complexo Granítico de Quixadá-Quixeramobim, CE**. 1995. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1995.

ALMEIDA, A. R.; ULBRICH, H. H. G. J. O PAPEL DA MISTURA DE MAGMAS NA GÊNESE DO MAGMATISMO GRANÍTICO CÁLCIO-ALCALINO QUIXERAMOBIM-CE. **Revista de Geologia**, v. 14, p. 49-80. 2001.

Disponível em: <<http://www.revistadegeologia.ufc.br>>. Acesso em: 8 ago. 2012.

ALMEIDA, A. R.; PARENTE, C. V.; ARTHAUD, M. H. 2008. **Itatira- SB.24-V-B-V, escala 1:100.000: nota explicativa integrada com Quixeramobim e Boa Viagem - Ceará:** UFC/CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM/Serviço Geológico do Brasil.

ARTHAUD, M. H.; VASCONCELOS, A. M.; NOGUEIRA, J.A.; OLIVEIRA, F. V. C.; PARENTE, C. V.; MONIE, P.; LIEGEOIS, J. P.; CABY, R & FETTER, A. 1998. **International Conferences on Pre-Cambrian and Craton Tectonics.** Ouro Preto. International Basement Tectonics Association, 1998, 84 – 85 p.

ARTHAUD, M.H. **Geologia e tectônica no Domínio Ceará Central.** 2005. Qualificação ao Doutorado em Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília (UNB), 2005, 270 p.

ARTHAUD, M.H. **Evolução Neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): Da Sedimentação à Colisão Continental Brasileira.** 2007. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

BRITO NEVES, B.B. de. **O Mapa geológico do Nordeste-Oriental do Brasil,** Escala 1:1.000.000. São Paulo: USP, 1983. 177 p. (*Uvre Docência*) - IG, USP, 1983.

BRITO NEVES, B.B., CORDANI, U.C. Tectonic Evolution of South America during the late Proterozoic. **Precambrian Research**, v. 53 (1): 23-40. Oct 1991.

Disponível em: < [http:// http://www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 8 ago. 2012.

BRITO NEVES, B. B. *et al.* **Tectonic history of the Borborema Province, NW Brazil.** In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro: SGB, 2000. p. 151-182.

CABY, R. 1989. Precambrian terranes of Benin-Nigeria and Northeast Brazil and the late Proterozoic south Atlantic fit. In: DALLMEYER, R. D. ed. *Terranes in the circum-Atlantic Paleozoic orogens.* *Geol. Soc. Am., Spec. Paper* 230: p. 145-158.

- CABY, R.; SIAL, A.; ARTHAUD, M. & VAUCHEZ, A. **Crustal evolution and Ike Brasiliano orogeny in Northeast Brazil**. In: DALLMEYER, R.D. & LECORCHÉ, J.P. *The West African Crogens and Qrcum Atlantic correlatives*, Springer-Verlag. p. 373-397, 1991.
- CASTRO DORADO, A. **Petrografia básica, texturas, clacificação y nomenclatura de rocas**. Madri. 1988.
- CASTRO, N. A.; BASEI, M. A. S.; SATO, K. **Nd data from Central Ceara Domain: archean relicts, paleoproterozoic record and neoproterozoic crustal reworking**. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4., 2003, Salvador. **Short Papers**. Salvador: CBPM/IRD, 2003. p. 161-163.
- CAVALCANTE, J. C.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, F. E. M. 2003. **Mapa geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000**. MME/CPRM/DNPM. 2003.
- FETTER, A. H.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, T. J. S.; NOGUEIRA NETO, J. A. & ARTHAUD, M. H. **U/Pb and Sm/Nd Geochronological Constraints 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**. São Paulo, v. 30 (1): 102–106. 1999.
- FRAZÃO, E.B & FARJALLAT, J.E.S., 1995; **Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento**. In: Congresso Internacional da Pedra Natural, 1, Lisboa. Lisboa: 1995, p.47-58.
- GÓES, D. L.; FERNANDES H. **Geologia da região de Quixeramobim–CE**. Relatório (Graduação). 1981.
- GOMES, J. R. C. *et al.* **Projeto Radam Brasil, Folhas SB. 24/25-Jaguaribe/Natal (Geologia/Mapeamento Regional)**. Rio de Janeiro, 1981. v 23, p. 27-176.
- HIBBARD, M.J. **Petrography to petrogenesis**. USA. 1995. 596p.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. 2011. **Perfil Básico Municipal – Quixeramobim**. Governo do Estado do Ceará. Fortaleza – CE.

NAVARRO, F. C.; **Granitos ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento físico-mecânico**. In: Congresso Urugua Yo de Geologia, 2, 1998, Punta Del Este. Actas... Punta Del Este: Socirdad Uruguaya de Geologia, p.103-107. 1998.

NAVARRO, F. C. **Influência da Petrografia sobre a Anisotropia à Tensão de Compressão e Dilatação Térmica de Rochas Ornamentais**. 2006. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista: Rio Claro. 2006.

NOGUEIRA, J. F. **Estrutura, geocronologia e alojamento dos batólitos de Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu - Ceará Central**. 2004. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

PARENTE, C. V. & ARTHAUD, M. H. O Sistema Orós-Jaguaribe no ceará – NE do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 25 (4): 297-306, dez 1995.  
Disponível em: < <http://www.sbgeo.org.br> >. Acesso em: 8 ago. 2012.

RODRIGUES, E.P.; COUTINHO, J.M.V.; CHIODI FILHO, C., Petrografia microscópica: uma visão do passado, presente e futuro da rocha ornamental. **Rochas de qualidade**. São Paulo: N. 127, p. 80-84. 1996.

RODRIGUES, E.P.; CHIODI FILHO, C.; COUTINHO, J.J.M.. Importância da petrografia para a previsão do comportamento e da durabilidade de rochas ornamentais. **Rochas e Equipamentos**. Lisboa, v. 47, 2 p. 1997.

SANTOS, E.J. dos; COUTINHO, M.G.; COSTA, M.P. da; RAMALHO, R.A. **A Região de Dobramentos Nordeste e a Bacia do Parnaíba incluindo o Cráton de São Luis e as Bacias Marginais**. In: SCHBBENHAUS, C.; CAMPOS, D. de A.; DERZE. G.R.;ASMUS, H.E. *teologia cb Brasil*. MME/DNPM. Brasília. 131-189. 1984.

SOUSA, M. J. N. Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do Estado do Ceará. **Revista de Geologia, Fortaleza**, v. 1 (1): 73-91, jun 1988.

STRECKEISEN, A. L. **Classification and Nomenclature of Plutonic Rocks. Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks.** Geologische Rundschau. Internationale Zeitschrift für Geologie. Stuttgart. Vol.63, 1974 p. 773-785.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. 1973. Governo Federal. Recife – PE.

TORQUATO, J. R. F. *et al.* Granitóides do Ceará: Região de Quixadá-Solonópole. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.2, n.1/2, 145p. 1989.

TROMPETTE R. Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma).Pan-African - Brasileiro aggregation of South America and Africa. **A. A. Balkema**, Rotterdam, 350 pp. 1994.

VAN SCHMUS.; BRITO NEVES, B. B, W. R., SANTOS, E. J, CAMPOS NETO, M. C., and KOZUCH, M. O evento Cariris Velhos na Província Borborema: Integração de dados, implicações e perspectivas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, p. 279-296. 1995

Disponível em: <<http://www.sbgeo.org.br>>. Acesso em: 8 ago. 2012.

## ANEXO I

Tabela I.1 – Tabela de pontos realizados em campo, relacionando coordenadas e o tipo litológico em cada um deles.

| Pontos | Coordenadas |         | Tipo Litológico       |
|--------|-------------|---------|-----------------------|
|        | X (m)       | Y (m)   |                       |
| RGD-1  | 466180      | 9416592 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-2  | 466147      | 9416628 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-3  | 466023      | 9416672 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-4  | 465559      | 9417534 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-5  | 465048      | 9417714 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-6  | 465525      | 9418698 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-7  | 465348      | 9418792 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-8  | 464924      | 9418682 | Gnaisses migmatizados |
| RGD-9  | 464233      | 9418136 | Gnaisses migmatizados |
| RGD-10 | 467379      | 9419034 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-11 | 467596      | 9419062 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-12 | 467641      | 9418960 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-13 | 467942      | 9419218 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-14 | 468410      | 9419126 | Fácies Água Doce      |
| RGD-15 | 468676      | 9419108 | Fácies Água Doce      |
| RGD-16 | 468621      | 9419546 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-17 | 468444      | 9419576 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-18 | 468498      | 9420118 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-19 | 468445      | 9420318 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-20 | 468289      | 9420280 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-21 | 468236      | 9420396 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-22 | 468132      | 9420440 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-23 | 468034      | 9420466 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-24 | 467988      | 9420502 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-25 | 467904      | 9420390 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-26 | 467912      | 9420812 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-27 | 467745      | 9420948 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-28 | 467736      | 9421034 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-29 | 467743      | 9421134 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-30 | 466391      | 9416784 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-31 | 466430      | 9417020 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-32 | 466572      | 9417006 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-33 | 466612      | 9417142 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-34 | 466648      | 9417144 | Fácies Boa Fé         |
| RGD-35 | 466539      | 9417598 | Fácies Muxurê Novo    |
| RGD-36 | 466711      | 9417668 | Fácies Muxurê Novo    |
| RGD-37 | 466418      | 9417664 | Fácies Muxurê Novo    |
| RGD-38 | 466364      | 9417834 | Fácies Boa Fé         |

|        |        |         |                       |
|--------|--------|---------|-----------------------|
| RGD-39 | 466346 | 9418030 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-40 | 466387 | 9418126 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-41 | 466269 | 9418180 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-42 | 466212 | 9417808 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-43 | 466169 | 9418026 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-44 | 466092 | 9418172 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-45 | 466057 | 9418398 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-46 | 465970 | 9418444 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-47 | 465791 | 9418482 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-48 | 465606 | 9418536 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-49 | 467504 | 9420164 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-50 | 467619 | 9421054 | Fácies Serra Branca   |
| RGD-51 | 467610 | 9421766 | Gnaisses migmatizados |
| RGD-52 | 467620 | 9422644 | Gnaisses migmatizados |
| RGD-53 | 463784 | 9419568 | Quartzito             |
| RGD-54 | 463937 | 9419950 | Migmatito             |
| RGD-55 | 464611 | 9420058 | Granito Tardio        |
| RGD-56 | 464942 | 9420190 | Gnaisses              |
| RGD-57 | 465351 | 9420356 | Gnaisses migmatizados |
| RGD-58 | 465993 | 9420502 | Quartzito             |
| RGD-59 | 466040 | 9420520 | Quartzito             |
| RGD-60 | 466172 | 9420488 | Gnaisses migmatizados |
| RGD-61 | 466104 | 9421464 | Gnaisses migmatizados |
| RGD-62 | 466060 | 9422354 | Gnaisses migmatizados |
| RGD-63 | 466458 | 9423226 | Migmatito             |
| RGD-64 | 466196 | 9422800 | Gnaisses              |
| MJM-1  | 466700 | 9419142 | Fácies Serra Branca   |
| MJM-2  | 467098 | 9419368 | Fácies Serra Branca   |
| MJM-3  | 466278 | 9419420 | Fácies Serra Branca   |
| MJM-4  | 466021 | 9419686 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-5  | 466288 | 9419844 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-6  | 466421 | 9419862 | Fácies Serra Branca   |
| MJM-7  | 465915 | 9420154 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-8  | 465847 | 9419720 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-9  | 465550 | 9419148 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-10 | 465528 | 9418906 | Fácies Serra Branca   |
| MJM-11 | 465161 | 9418742 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-12 | 464843 | 9418692 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-13 | 463893 | 9417800 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-14 | 463713 | 9417604 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-15 | 463581 | 9417550 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-16 | 463367 | 9417660 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-17 | 462172 | 9415590 | Fácies Serra Branca   |
| MJM-18 | 461587 | 9414332 | Fácies Serra Branca   |
| MJM-19 | 463147 | 9412526 | Fácies Água Doce      |

|        |        |         |                     |
|--------|--------|---------|---------------------|
| MJM-20 | 463514 | 9413118 | Fácies Água Doce    |
| MJM-21 | 463992 | 9415174 | Fácies Serra Branca |
| MJM-22 | 466517 | 9416846 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-23 | 466755 | 9416812 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-24 | 466896 | 9416866 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-25 | 467236 | 9417146 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-26 | 467529 | 9417038 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-27 | 468271 | 9417040 | Fácies Muxurê Novo  |
| MJM-28 | 466846 | 9417268 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-29 | 466796 | 9417794 | Fácies Muxurê Novo  |
| MJM-30 | 466630 | 9417884 | Fácies Muxurê Novo  |
| MJM-31 | 467149 | 9418886 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-32 | 467144 | 9418566 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-33 | 467053 | 9418480 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-34 | 467122 | 9418374 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-35 | 467207 | 9418364 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-36 | 467240 | 9418288 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-37 | 467279 | 9418150 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-38 | 467455 | 9417950 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-39 | 467707 | 9418072 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-40 | 467989 | 9418018 | Fácies Muxurê Novo  |
| MJM-41 | 468156 | 9417916 | Fácies Água Doce    |
| MJM-42 | 468362 | 9417856 | Fácies Água Doce    |
| MJM-43 | 468287 | 9418534 | Fácies Água Doce    |
| MJM-44 | 468863 | 9418254 | Fácies Água Doce    |
| MJM-45 | 467891 | 9418404 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-46 | 467563 | 9418636 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-47 | 467333 | 9418820 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-48 | 464932 | 9417356 | Fácies Serra Branca |
| MJM-49 | 464788 | 9417060 | Fácies Serra Branca |
| MJM-50 | 464492 | 9416534 | Fácies Serra Branca |
| MJM-51 | 464285 | 9416462 | Fácies Serra Branca |
| MJM-52 | 464018 | 9416572 | Fácies Serra Branca |
| MJM-53 | 463862 | 9416642 | Fácies Serra Branca |
| MJM-54 | 463764 | 9416788 | Fácies Serra Branca |
| MJM-55 | 463525 | 9416860 | Fácies Serra Branca |
| MJM-56 | 463699 | 9415940 | Fácies Serra Branca |
| MJM-57 | 463357 | 9416046 | Fácies Serra Branca |
| MJM-58 | 463586 | 9416004 | Fácies Serra Branca |
| MJM-59 | 464033 | 9416008 | Fácies Serra Branca |
| MJM-60 | 464478 | 9415936 | Fácies Serra Branca |
| MJM-61 | 464656 | 9415850 | Fácies Serra Branca |
| MJM-62 | 464956 | 9415906 | Fácies Serra Branca |
| MJM-63 | 465353 | 9416370 | Fácies Serra Branca |
| MJM-64 | 465249 | 9416734 | Fácies Serra Branca |

|         |        |         |                       |
|---------|--------|---------|-----------------------|
| MJM-65  | 465926 | 9417368 | Fácies Serra Branca   |
| MJM-66  | 466107 | 9417206 | Fácies Boa Fé         |
| MJM-67  | 466394 | 9416024 | Fácies Água Doce      |
| MJM-68  | 466833 | 9415670 | Fácies Água Doce      |
| MJM-69  | 466961 | 9415808 | Fácies Água Doce      |
| MJM-70  | 467141 | 9416182 | Fácies Boa Fé         |
| MJM-71  | 466950 | 9416225 | Fácies Boa Fé         |
| MJM-72  | 466830 | 9416112 | Fácies Boa Fé         |
| MJM-73  | 467366 | 9416042 | Fácies Boa Fé         |
| MJM-74  | 467537 | 9415938 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-75  | 467765 | 9415992 | Fácies Água Doce      |
| MJM-76  | 467894 | 9415908 | Fácies Água Doce      |
| MJM-77  | 468092 | 9415886 | Fácies Água Doce      |
| MJM-78  | 468308 | 9415960 | Fácies Água Doce      |
| MJM-79  | 468167 | 9416368 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-80  | 468607 | 9416964 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-81  | 469011 | 9416950 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-82  | 469061 | 9416894 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-83  | 469150 | 9416746 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-84  | 469398 | 9416756 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-85  | 469603 | 9416790 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-86  | 469771 | 9416610 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-87  | 470189 | 9416498 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-88  | 466674 | 9416592 | Fácies Boa Fé         |
| MJM-89  | 466904 | 9416780 | Fácies Boa Fé         |
| MJM-90  | 467204 | 9416762 | Fácies Boa Fé         |
| MJM-91  | 467535 | 9416716 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-92  | 467758 | 9416732 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-93  | 468114 | 9416554 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-94  | 468425 | 9416248 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-95  | 468754 | 9416720 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-96  | 469138 | 9416698 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-97  | 468591 | 9416120 | Fácies Água Doce      |
| MJM-98  | 468701 | 9416080 | Fácies Água Doce      |
| MJM-99  | 468830 | 9416166 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-100 | 468690 | 9416278 | Fácies Água Doce      |
| MJM-101 | 468591 | 9416382 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-102 | 468403 | 9416554 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-103 | 468598 | 9416956 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-104 | 468976 | 9417128 | Fácies Muxurê Novo    |
| MJM-105 | 469585 | 9422828 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-106 | 469676 | 9422738 | Fácies Boa Fé         |
| MJM-107 | 469574 | 9422580 | Fácies Boa Fé         |
| MJM-108 | 469705 | 9422166 | Fácies Boa Fé         |
| MJM-109 | 469655 | 9421846 | Fácies Boa Fé         |

|         |        |         |                     |
|---------|--------|---------|---------------------|
| MJM-110 | 469423 | 9421054 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-111 | 469382 | 9420766 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-112 | 469559 | 9420882 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-113 | 469592 | 9420952 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-114 | 469623 | 9420860 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-115 | 469732 | 9420802 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-116 | 469632 | 9420674 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-117 | 469570 | 9420424 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-118 | 469707 | 9420268 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-119 | 469616 | 9420134 | Granito Tardio      |
| MJM-120 | 469945 | 9420148 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-121 | 470102 | 9420118 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-122 | 470279 | 9420110 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-123 | 469366 | 9420420 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-124 | 469287 | 9420072 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-125 | 469376 | 9419972 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-126 | 469235 | 9419554 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-127 | 469014 | 9419062 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-128 | 468906 | 9418958 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-129 | 468965 | 9419528 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-130 | 469891 | 9422512 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-131 | 470535 | 9422144 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-132 | 470101 | 9422300 | Fácies Boa Fé       |
| MJM-133 | 469574 | 9423132 | Fácies Serra Branca |
| MJM-134 | 469411 | 9423034 | Fácies Serra Branca |
| MJM-135 | 469532 | 9423398 | Fácies Serra Branca |
| MJM-136 | 469369 | 9423686 | Fácies Serra Branca |
| MJM-137 | 468972 | 9423756 | Fácies Muxerê Novo  |
| MJM-138 | 468836 | 9423876 | Granito Tardio      |
| MJM-139 | 468557 | 9423976 | Gnaisses            |
| MJM-140 | 467666 | 9423326 | Gnaisses            |
| MJM-141 | 467755 | 9421944 | Gnaisses            |
| MJM-142 | 467868 | 9421920 | Fácies Serra Branca |
| MJM-143 | 468456 | 9421602 | Fácies Serra Branca |
| MJM-144 | 466646 | 9423638 | Gnaisses            |
| MJM-145 | 464298 | 9419582 | Quartzito           |
| MJM-146 | 464207 | 9420198 | Quartzito           |
| MJM-147 | 464036 | 9420436 | Quartzito           |
| MJM-148 | 464147 | 9420642 | Migmatito           |
| MJM-149 | 464372 | 9420986 | Quartzito           |
| MJM-150 | 464495 | 9421154 | Gnaisses            |
| MJM-151 | 464866 | 9421616 | Gnaisses            |
| MJM-152 | 464844 | 9421700 | Gnaisses            |
| MJM-153 | 464263 | 9422010 | Gnaisses            |
| MJM-154 | 464226 | 9422210 | Micaxistos          |

|         |        |         |                       |
|---------|--------|---------|-----------------------|
| MJM-155 | 464369 | 9423018 | Quartzito             |
| MJM-156 | 464357 | 9423270 | Gnaisses              |
| MJM-157 | 463983 | 9423160 | Micaxistos            |
| MJM-158 | 464670 | 9423350 | Micaxistos            |
| MJM-159 | 464941 | 9423410 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-160 | 465704 | 9423652 | Gnaisses migmatizados |
| MJM-161 | 465597 | 9423386 | Gnaisses              |
| MJM-162 | 465573 | 9423288 | Gnaisses              |
| MJM-163 | 465497 | 9423110 | Gnaisses              |
| MJM-164 | 465265 | 9422872 | Gnaisses              |
| MJM-165 | 465115 | 9422498 | Gnaisses              |
| MJM-166 | 464949 | 9422096 | Gnaisses              |

## ANEXO II

Tabela II.3 – Tabela mostrando os valores das medidas realizadas no ensaio de Índices Físicos.

| Exemplar | Peso Seco | Peso Saturado | Peso Submerso |
|----------|-----------|---------------|---------------|
| 1        | 348,93    | 350,05        | 220,19        |
| 2        | 342,62    | 343,67        | 214,73        |
| 3        | 363,72    | 364,81        | 231,1         |
| 4        | 367,19    | 368,48        | 233,01        |
| 5        | 359,91    | 360,81        | 228,23        |
| 6        | 350,53    | 351,53        | 221,5         |
| 7        | 346,3     | 347,41        | 218,79        |
| 8        | 349,27    | 350,31        | 219,9         |
| 9        | 347,18    | 348           | 219,56        |
| 10       | 355,97    | 357           | 225,67        |

Tabela II.4 – Tabela mostrando os resultados calculados para Densidade Aparente, Porosidade e Absorção d'água, a partir dos dados da Tabela II.1

| Amostra           | Densidade Aparente (Kg/M <sup>3</sup> ) | Porosidade (%) | Absorção (%) |
|-------------------|---|----------------|--------------|
| 1                 | 2686,97                                 | 0,86           | 0,32         |
| 2                 | 2657,20                                 | 0,81           | 0,31         |
| 3                 | 2720,22                                 | 0,82           | 0,30         |
| 4                 | 2710,49                                 | 0,95           | 0,35         |
| 5                 | 2714,66                                 | 0,68           | 0,25         |
| 6                 | 2695,76                                 | 0,77           | 0,29         |
| 7                 | 2692,43                                 | 0,86           | 0,32         |
| 8                 | 2678,25                                 | 0,80           | 0,30         |
| 9                 | 2703,05                                 | 0,64           | 0,24         |
| 10                | 2710,50                                 | 0,78           | 0,29         |
| Média             | 2696,95                                 | 0,80           | 0,30         |
| Desvio Padrão     | 19,17801569                             | 0,090321237    | 0,033760715  |
| Coef. De Variação | 0,007110993                             | 0,113250753    | 0,114148249  |

## ANEXO III

Tabela III.1 – Tabela mostrando os valores das medidas realizadas no ensaio de Compressão Uniaxial.

| Amostra | Aresta A (mm) |      |      |      | Aresta B (mm) |      |      |      | Aresta C (mm) |      |      |      | Carga de Ruptura (kN) |
|---------|---------------|------|------|------|---------------|------|------|------|---------------|------|------|------|-----------------------|
|         |               |      |      |      |               |      |      |      |               |      |      |      |                       |
| 1       | 71,7          | 71,1 | 71,2 | 71,5 | 69,5          | 71,4 | 69,2 | 71,3 | 71,1          | 71,1 | 71,5 | 71,6 | 261,91                |
| 2       | 68,6          | 71,3 | 69,4 | 71,9 | 68,7          | 71,7 | 67,2 | 71,4 | 71,3          | 71,6 | 72,4 | 71,8 | 319,35                |
| 3       | 71,3          | 69,2 | 71,1 | 69,0 | 69,4          | 69,0 | 69,9 | 69,0 | 69,4          | 69,1 | 69,0 | 69,1 | 272,70                |
| 4       | 69,3          | 69,3 | 69,1 | 68,8 | 72,1          | 68,1 | 72,4 | 69,9 | 69,2          | 68,9 | 68,8 | 69,3 | 399,09                |
| 5       | 71,1          | 68,2 | 71,3 | 66,9 | 69,1          | 67,1 | 69,3 | 67,7 | 68,0          | 67,6 | 66,3 | 67,2 | 366,76                |

Tabela III.2 – Tabela mostrando os resultados calculados para Resistência a Compressão Uniaxial a partir dos valores da Tabela III.1

| Amostra               | Dimensões Médias |       |       | Resistência (MPa) |
|-----------------------|------------------|-------|-------|-------------------|
|                       | A(mm)            | B(mm) | C(mm) |                   |
| 1                     | 71,4             | 70,4  | 71,3  | 51,4              |
| 2                     | 70,3             | 69,8  | 71,8  | 63,3              |
| 3                     | 70,2             | 69,3  | 69,2  | 56,2              |
| 4                     | 69,1             | 70,6  | 69,1  | 83,6              |
| 5                     | 69,4             | 68,3  | 67,3  | 78,6              |
| <b>Média</b>          |                  |       |       | 66,6              |
| <b>Desvio Padrão</b>  |                  |       |       | 13,98             |
| <b>Coef. Variação</b> |                  |       |       | 0,21              |

## ANEXO IV

**Tabela IV.I** – Tabela mostrando os valores das medidas realizadas no ensaio de Módulo de Ruptura (flexão por carregamento em três pontos).

| Amostra | Largura (mm) |       |       |       | Altura (mm) |       |       |       | Comprimento (mm) |        |        |        | Carga de Ruptura(kgf) |
|---------|--------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|------------------|--------|--------|--------|-----------------------|
|         |              |       |       |       |             |       |       |       |                  |        |        |        |                       |
| 1       | 98,00        | 97,60 | 97,20 | 97,20 | 51,40       | 51,80 | 51,90 | 51,30 | 199,90           | 199,40 | 199,40 | 199,50 | 1161                  |
| 2       | 98,10        | 97,60 | 97,20 | 96,60 | 53,80       | 53,80 | 53,80 | 53,80 | 198,00           | 197,50 | 198,60 | 199,90 | 1289                  |
| 3       | 97,40        | 97,30 | 97,60 | 97,40 | 52,80       | 52,80 | 52,50 | 52,90 | 200,00           | 199,10 | 199,40 | 199,30 | 1228                  |
| 4       | 100,00       | 98,20 | 98,40 | 98,60 | 51,20       | 52,20 | 50,90 | 50,70 | 199,90           | 199,60 | 199,70 | 199,60 | 1413                  |
| 5       | 97,10        | 97,10 | 97,40 | 96,20 | 53,60       | 53,80 | 53,60 | 53,80 | 199,20           | 199,80 | 198,70 | 198,00 | 783                   |

**Tabela IV.2** – Tabela mostrando os resultados calculados para Resistência a flexão por carregamento em três pontos a partir dos valores da Tabela III.1

| Amostra | Dimensões Médias |        |             | Resistência (MPa) |
|---------|------------------|--------|-------------|-------------------|
|         | Largura          | Altura | Comprimento |                   |
| 1       | 97,5             | 51,6   | 199,6       | 11,47             |
| 2       | 97,4             | 53,8   | 198,5       | 12,73             |
| 3       | 97,4             | 52,8   | 199,5       | 12,13             |
| 4       | 98,8             | 51,3   | 199,7       | 13,96             |
| 5       | 97,0             | 53,7   | 198,9       | 7,73              |
|         | Média            |        |             | 11,6              |
|         | Desvio Padrão    |        |             | 2,35              |
|         | Coef. Variação   |        |             | 0,20              |

## ANEXO V

**Tabela V.1** – Tabela mostrando os resultados das medidas realizadas no ensaio de Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas para os corpos-de-prova de 20x10x5.

| Amostra               | Distância (mm) | Distância (m) | Tempo (μs) | Tempo (s) | Velocidade (m/s) |
|-----------------------|----------------|---------------|------------|-----------|------------------|
| 1                     | 19,98          | 0,1998        | 48,8       | 0,0000488 | 4094,26          |
| 2                     | 19,80          | 0,198         | 45,8       | 0,0000458 | 4323,14          |
| 3                     | 19,95          | 0,1995        | 46,4       | 0,0000464 | 4299,57          |
| 4                     | 20,00          | 0,2           | 45,5       | 0,0000455 | 4395,60          |
| 5                     | 19,97          | 0,1997        | 49,9       | 0,0000499 | 4002,00          |
| <b>Média</b>          |                |               |            |           | 4222,92          |
| <b>Desvio Padrão</b>  |                |               |            |           | 166,66           |
| <b>Coef. Variação</b> |                |               |            |           | 0,04             |

**Tabela V.2** – Tabela mostrando os resultados das medidas realizadas no ensaio de Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas para os corpos-de-prova de 7x7x7.

| Amostra               | Distância (mm) | Distância (m) | Tempo (μs) | Tempo (s) | Velocidade (m/s) |
|-----------------------|----------------|---------------|------------|-----------|------------------|
| 1                     | 7,15           | 0,0715        | 13,7       | 0,0000137 | 5218,98          |
| 2                     | 7,15           | 0,0715        | 16,3       | 0,0000163 | 4386,50          |
| 3                     | 6,92           | 0,0692        | 13,9       | 0,0000139 | 4978,42          |
| 4                     | 6,88           | 0,0688        | 13,7       | 0,0000137 | 5021,90          |
| 5                     | 6,66           | 0,0666        | 13,7       | 0,0000137 | 4861,31          |
| <b>Média</b>          |                |               |            |           | 4893,42          |
| <b>Desvio Padrão</b>  |                |               |            |           | 311,33           |
| <b>Coef. Variação</b> |                |               |            |           | 0,06             |

## ANEXO VI

**Tabela VI.1** – Tabela mostrando os valores das medidas realizadas no ensaio de Desgaste Abrasivo pelo Método de AMSLER.

| Amostra | Inicial         | Após 500 m |                 | Após 1000 m |                 |       |
|---------|-----------------|------------|-----------------|-------------|-----------------|-------|
|         | Individual (mm) | Média      | Individual (mm) | Média       | Individual (mm) | Média |
| 1       | 7,72            | 7,24       | 7,06            | 6,73        | 6,79            | 6,28  |
|         | 7,10            |            | 6,52            |             | 5,97            |       |
|         | 7,26            |            | 6,90            |             | 6,29            |       |
|         | 6,86            |            | 6,42            |             | 6,08            |       |
| 2       | 7,00            | 7,11       | 6,63            | 6,68        | 6,18            | 6,22  |
|         | 7,09            |            | 6,78            |             | 6,29            |       |
|         | 7,23            |            | 6,74            |             | 6,27            |       |
|         | 7,13            |            | 6,55            |             | 6,12            |       |

**Tabela VI.2** – Tabela mostrando os resultados calculados para o Desgaste a partir dos valores da Tabela III.1

| Amostra | 500 m           |       |              | 1000 m     |       |              |
|---------|-----------------|-------|--------------|------------|-------|--------------|
|         | Individual (mm) | Média | M.Geral (mm) | Individual | Média | M.Geral (mm) |
| 1       | 0,66            | 0,51  | 0,47         | 0,93       | 0,95  | 0,93         |
|         | 0,58            |       |              | 1,13       |       |              |
|         | 0,36            |       |              | 0,97       |       |              |
|         | 0,44            |       |              | 0,78       |       |              |
| 2       | 0,37            | 0,44  |              | 0,82       | 0,90  |              |
|         | 0,31            |       |              | 0,80       |       |              |
|         | 0,49            |       |              | 0,96       |       |              |
|         | 0,58            |       |              | 1,01       |       |              |

## LEGENDA

### Convenções cartográficas

|   |                |
|---|----------------|
|  | Drenagens      |
|  | Lâmina d'água  |
|  | Linha Férrea   |
|  | Vias de acesso |
|  | CE-060         |

### Convenções geológicas

|   |                             |
|---|-----------------------------|
|  | Lineação de Fluxo Magmático |
|  | Área de Estudo              |
|  | Zona de Cisalhamento        |
|  | Contato Inferido            |
|  | Foliação                    |

### Litoestratigrafia

|   |   |
|---|---|
|    | <b>Fácies Água Doce:</b> Granodioritos, com coloração cinza-claro, textura fanerítica equigranular.   |
|    | <b>Fácies Serra Branca:</b> Sienogranitos e monzogranitos, coloração cinza-claro a cinza-escuro, com textura porfírica e matriz fanerítica (com granulação grossa, variando de 0,5 a 1 cm, aproximadamente), caracterizado pela presença de fenocristais de K-feldspatos variando de 3 a 20cm de comprimento no seu eixo maior (C). |
|    | <b>Fácies Boa Fé:</b> Granodioritos e monzogranitos, com coloração cinza-claro, textura porfírica com matriz fanerítica de granulação média. Os pórfiros são K-feldspatos, estes possuem dimensões variando em torno de 2 cm no eixo C, enquanto no eixo A e B Chegam a no máximo 1 cm.   |
|  | <b>Fácies Muxurê Novo:</b> Sienogranitos e monzogranitos, com coloração cinza, textura porfírica com matriz fanerítica de granulação média a grossa. Os pórfiros são essencialmente cristais de K-feldspato, com tamanho variando de 2 a 6 cm em todos os eixos, apresentando-se geralmente com formato quadrado.                   |
|  | <b>Unidade Juatama:</b> Metatexitos e diatexitos, com bandas centimétricas, apresentando estruturas estromatíticas, flebóticas, dobrada ou "schlieren". Além de rochas calcissilicáticas e anfíbolitos inseridos nos migmatitos.  |
|  | <b>Quartzitos:</b> Quartzitos puros e muscovita quartzitos, com estrutura maciça ou, por vezes, bandada. Apresentam coloração variando entre branco, amarelo, avermelhado.  |
|  | <b>Unidade Quixeramobim:</b> Micaxistos, muscovita-feldspato gnaíse, biotita gnaíses, muscovita-biotita gnaíse, granada-biotita gnaíse. Além de mármore, quartzitos e anfíbolitos inseridos nos xistos e gnaíses.   |



Universidade Federal do Ceará  
Centro de Ciências  
Departamento de Geologia

Graduandos  
Daniela Rocha Godoy  
Helder Moraes Silva Duarte

Orientador  
Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

Coorientador  
Msc. Francisco Diones Oliveira Silva

Mapa Geológico da Porção NW  
do Batólito Quixeramobim

Agosto - 2012  
Fortaleza, CE

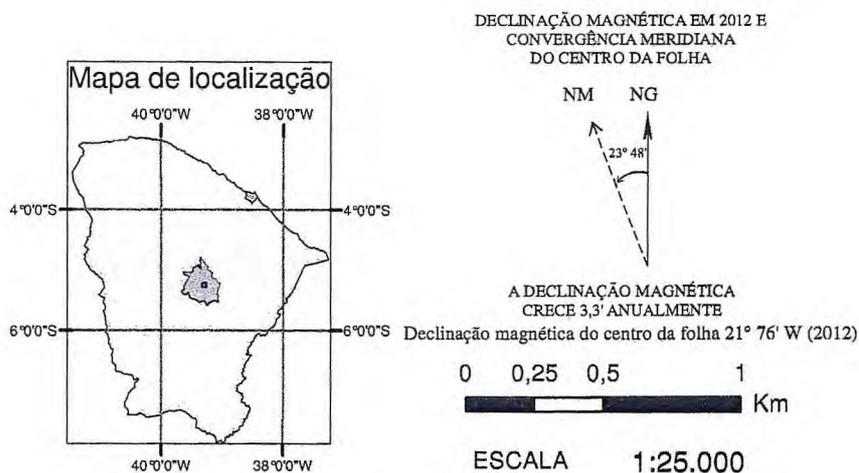
# Legenda

## Convenções cartográficas

-  Área de Estudo
-  Casas
-  Via de acesso
-  CE-060
-  Linha Férrea
-  Drenagem
-  Açude

## Convenções geológica

- Granito Tardio
- ◊ Fácies Serra Branca
- ◊ Fácies Água Doce
- ◊ Fácies Boa Fé
- ◊ Fácies Muxurê Novo
- △ Quartzito
- △ Micaxistos
- Gnaisses
- Gnaisses migmatizados
- Migmatito



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 39° W Gr.  
acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente.  
Datum horizontal: WGS84



Universidade Federal do Ceará  
Centro de Ciências  
Departamento de Geologia

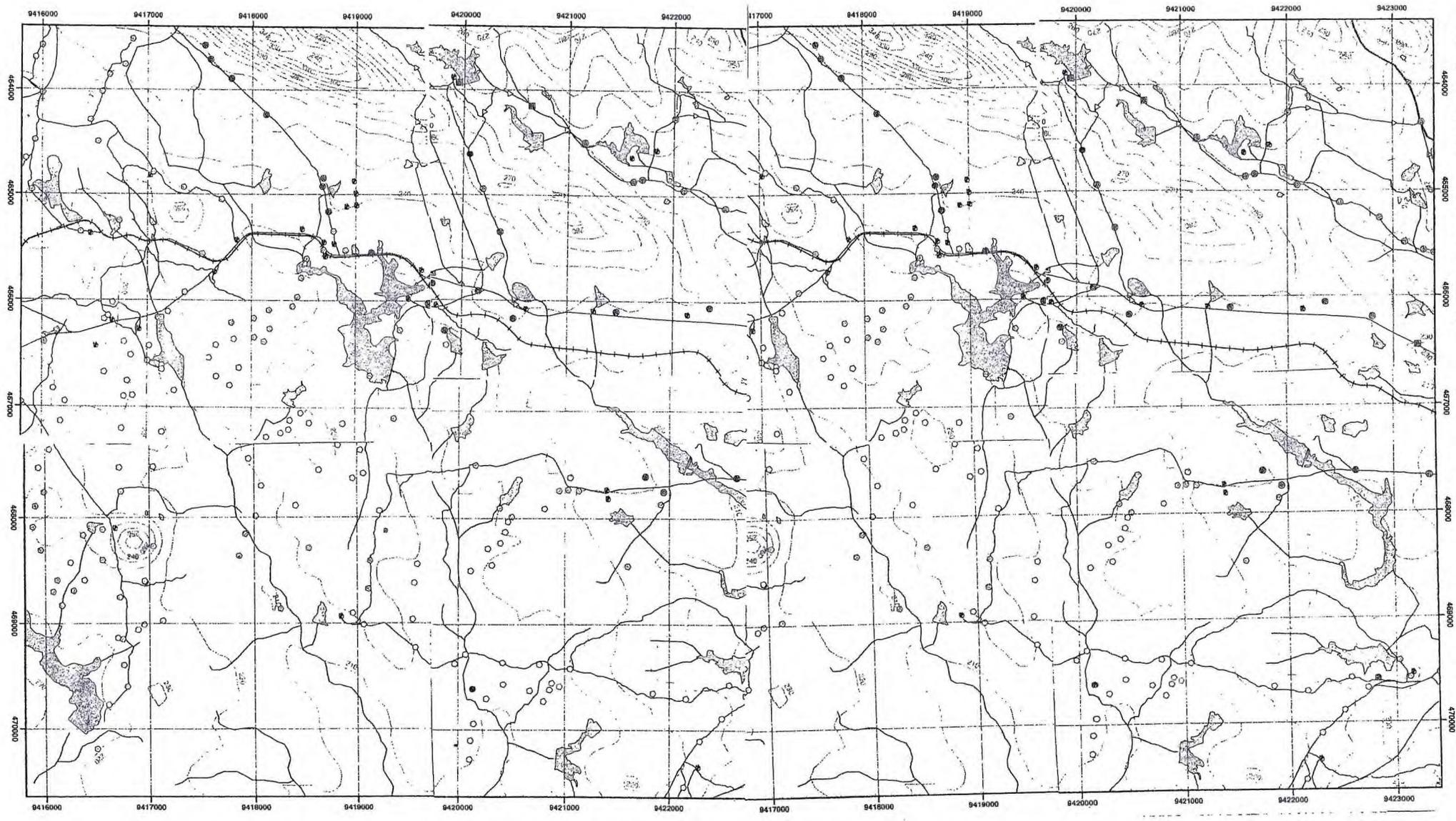
Graduandos  
Daniela Rocha Godoy  
Helder Moraes Silva Duarte

Orientador  
Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

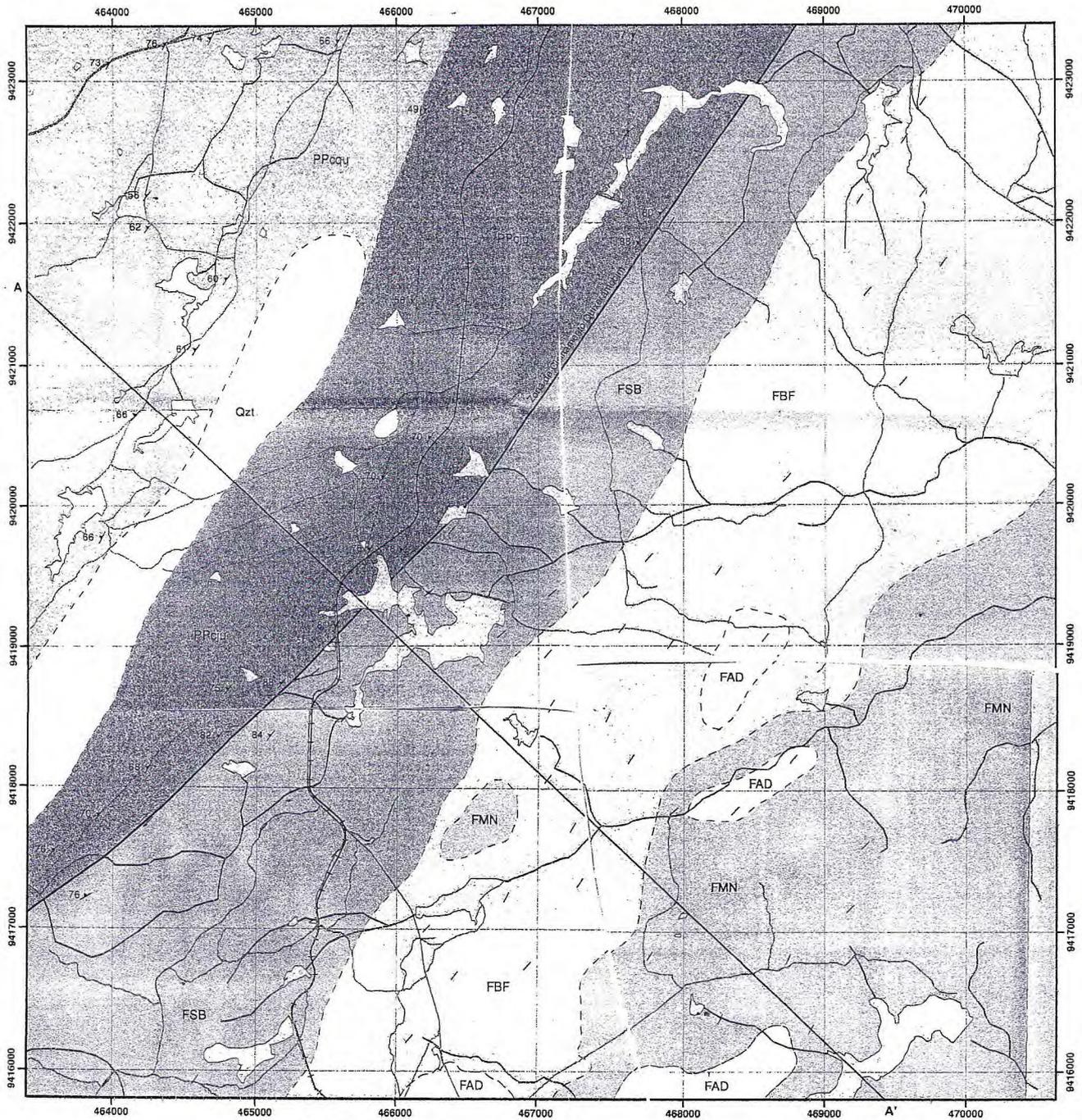
Co-orientador  
Msc. Francisco Diones Oliveira Silva

Mapa Geológico da Porção NW  
do Batólito Quixeramobim

**Mapa de Pontos da Porção NW do Batólito Quixeramobim**



# Mapa Geológico da Porção NW do Batólito Quixeramobim



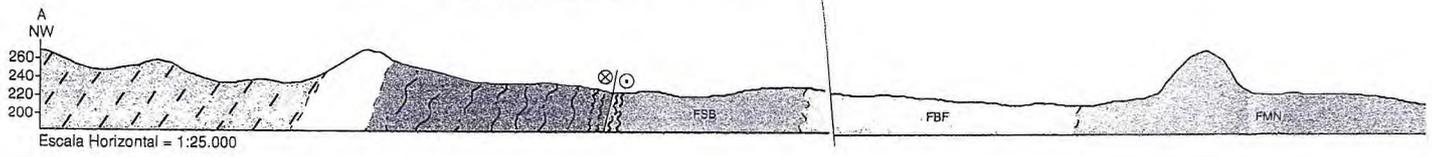
Escala: 1:25.000

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 39° W Gr.  
 acréscidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente.  
 Datum horizontal: WGS84



DECLINAÇÃO  
 CONV.  
 DO

DEC  
 CRB  
 Declinação magnética



Escala Horizontal = 1:25.000