



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**“CARACTERIZAÇÃO GEO-TECNOLÓGICA DE
MACIÇOS GRANÍTICOS DA REGIÃO NORDESTE DO
ESTADO DO AMAZONAS COM APLICAÇÃO ÀS
ROCHAS ORNAMENTAIS”**

Mestranda: Elayne Cristina Andrade de Sousa Maas

Orientador: Prof. Dr. Valmir da Silva Souza

Manaus – Amazonas – Brasil

2008

*Dedico primeiramente à **Deus**
Pai, aos meus pais e ao meu divino
esposo Marcus Vinícius Rodrigues Maas.*

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Federal do Amazonas e ao Departamento de Geologia pelo mestrado e recursos financeiros de apoio à pesquisa.

À empresa Muralha pela confecção em parte dos corpos de prova para a realização dos testes.

À universidade Federal do Ceará e ao Nutec – Núcleo de Tecnologia, pelos ensaios e testes realizados, e a todos que contribuíram no desenvolvimento.

Ao Professor e orientador Valmir Souza pela compreensão, paciência, incentivo e carinho durante a pesquisa.

À Petrobras (unidade de Manaus) pelo uso da câmera fotográfica digital acoplada ao microscópio petrográfico.

Ao meu amado Marcus Maas pelo total companheirismo, amizade e força em todos momentos.

À amiga Benícia Almeida, Ângela Almeida, Gilmar, Andrew, Cristóvão, Marcelo e Carlos pela colaboração além da amizade.

Ao secretário da Pós-graduação Marcos pelos favores e ajuda em ofícios e documentações.

Aos meus pais, embora longe, por sempre me ligarem para dar incentivo e tranquilidade.

Ao professor Cláudio Millioti por várias dúvidas petrográficas tiradas.

À Deus por ter me iluminado sempre desde o começo.

**É graça divina começar bem.
Graça maior persistir na caminhada certa.
“Mas graça das graças é não desistir nunca”.**

Dom Hélder Câmara

Capítulo 1 – Introdução

Figura 1.1 – Localização das áreas estudadas. As áreas em vermelho denominadas 1 e 2 são, respectivamente, as áreas de Presidente Figueiredo e Moura. Notar a facilidade de acesso às áreas por rodovia (BR-174) e hidrovía (Rio Negro).....	05
Figura 1.2 – Imagem SARS (SIPAM) da região a norte de Presidente Figueiredo mostrando o padrão de relevo dos maciços graníticos São Gabriel e Abonari.....	06

Capítulo 2 - Síntese do Conhecimento Geológico Regional

Figura 2.1 – Contexto Geotectônico e Geocronológico.....	13
Figura 2.2 – Mapa Geológico das áreas de Presidente Figueiredo (1) e Moura (2). Fonte: Ferreira <i>et al</i> (2006) (CPRM).....	14
Figura 2.3 – Mapa geológico da Região de Presidente Figueiredo com os pontos visitados no campo. Modificado de Ferreira <i>et al</i> (2006).....	15
Figura 2.4 – Mapa geológico simplificado da região de Moura.....	17

Capítulo 3 – Petrografia

Figura 3.1 – Exibição dos cinco tipos graníticos (placas polidas).....	19
Figura 3.2 – Distribuição composicional modal e nomenclatura de acordo com o diagrama de Streckeisen (1976).....	20
Figura 3.3 – a) Panorama da forma de ocorrência do stock granítico do Castanhal Clássico. b) Blocos rolados e matações do granito Castanhal Clássico.....	24
Figura 3.4 – Aspecto microtextural na objetiva 3,2x – a) sessão prismática do microclínio zonado e alterado de tamanho 2,5mm (NC), b) Feldspato alcalino (2,1mm) exibindo textura rapaquivi (ND; LN); c) microclínio (1,5mm) sericitizado com hornblenda, biotitas, opacos disseminados (NC); d) Plagioclásio (2,2mm – na borda da lâmina) saussuritizado (NC; LN); e) Sessão basal da hornblenda euedral (1,2mm) na trama quartzo feldspática (NC); f) Hornblenda (1,3mm) com biotita/clorita entre quartzo e feldspatos (NC).....	27
Figura 3.5 – a) Afloramento em forma de <i>boulders</i> – graníticos na Pedra do Gavião. b) Afloramento em forma de lajedos de rochas graníticas.....	28
Figura 3.6 – a) Quebra de blocos graníticos. b) Britas trituradas para destinação da construção civil.....	29
Figura 3.7 - Aspecto microtextural na objetiva 3,2x – a) Microclínio exibindo textura pertítica de tamanho 3mm (NC); b) Quartzo (2,8mm) microfissurado (NC; LN); c)Plagioclásio (3,8mm) com maclamento definido microfissurado (NC; LN); d)Biotita (3mm) alterada na trama quartzo feldspática e epidoto (NC); e) Biotita (1,3mm – à esquerda) com clorita na borda e opaco, e hornblenda (0,8mm – à direita) entre quartzo e feldspatos (NC); f) Idem foto anterior com aumento de 10x. A biotita é formada pela alteração da hornblenda (NC; A=10x).....	32
Figura 3.8 – a) Batólito do Abonari – forma de relevo. b) Pedreira de brita do km 203.....	33
Figura 3.9 – Xenólitos presentes na rocha do batólito Abonari.....	34
Figura 3.10 - Aspecto microtextural na objetiva 3,2x – a) Feldspato alcalino de tamanho 2,7 mm apresentando-se fortemente pertitizado (à direita) contornado por quartzo (NC); b) Feldspato alcalino (5,1mm) com fratura preenchida por quartzo e, nos interstícios do quartzo observa-se clorita (NC; LN); c)Quartzo exibindo textura poligonal (ND; LN); d) clorita nos interstícios da hornblenda na trama quartzo-feldspática (NC); e) Sessão basal da hornblenda (1,3mm) ao lado da biotita (1,2mm) exibindo microfissura intergrão de um cristal para o outro entre quartzo e feldspato (NC); f) Idem foto anterior (ND).....	37
Figura 3.11 – Matações aflorantes e subterrados.....	38
Figura 3.12 - Aspecto microtextural na objetiva 3,2x – a) Microclínio sericitizado de tamanho 2,4mm apresentando geminação Tartan (NC); b) Cristal de feldspato (1,6mm) zonado e sericitizado (NC); c)Quartzo exibindo microfissura intergrãos com o feldspato (NC; LN); d) Biotita fortemente alterada com bordas corroídas entre quartzo e feldspato (NC); e) Microclínio (2,4mm) pouco alterado ao lado de um cristal de plagioclásio (1,8mm) fortemente saussuritizado(NC); f) Plagioclásio (1,8mm) com parte central saussuritizado na trama quartzo feldspática (NC; LN)	42

Figura 3.13 – Matações e blocos rolados aflorantes e subterrados.....	43
Figura 3.14 – Aspecto microtextural na objetiva 3,2x – a) Feldspato alcalino de tamanho 0,8mm com microfissura intergrão e intragrão fazendo contatos serrilhado com quartzo (NC); b) Idem foto anterior (ND); c) Textura básica apresentando-se de fina à média e exibindo microclínio (0,5mm) ao centro pouco alterado em relação aos demais feldspatos. Observa-se também que os contatos no geral são intensamente serrilhados (NC; LN); d) Plagioclásio (1 mm) com suas maclas alteradas (saussuritizadas) com presença de micas branca (NC; LN);	46
Tabela 3.1 – Resultado das análises petrográficas. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.....	21

Capítulo 4 – Caracterização Tecnológica

Figura 4.1 – Imersão dos corpos de prova para obtenção do peso saturado ou massa B.....	48
Figura 4.2 – Balança para medição do corpo de prova submerso ou massa C.....	48
Figura 4.3 – Comparação da densidade aparente das amostras no estado seco e saturado em água destilada.....	51
Figura 4.4 – Relação da Porosidade e Absorção Aparente com o grau de Microfissuramento.....	53
Figura 4.5 – Bloco A – Força da resistência à compressão uniaxial na direção perpendicular aos planos de anisotropia. Bloco B – Força da resistência paralela aos planos de anisotropia.....	54
Figura 4.6 – Prensa.....	55
Figura 4.7 – Bloco fraturado (após o teste).....	55
Figura 4.8 – Relação dos resultados de compressão uniaxial com o pulso ultra-sônico dos granitos estudados.....	57
Figura 4.9 – Corpo de prova antes do teste.....	60
Figura 4.10 – Corpo de prova após o teste (rompido).....	60
Figura 4.11 – Relação dos resultados de resistência à flexão com a velocidade de pulsos ultra-sônico de 3 (três) dos 5 (cinco) granitos estudados. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.....	61
Figura 4.12 – Medidas tiradas dos corpos de prova no relógio medidor.....	63
Figura 4.13 – Máquina Amler.....	63
Figura 4.14 – Desgaste abrasivo de 2 corpos de prova.....	63
Figura 4.15 – Relação dos resultados de desgaste amsler com o teor de quartzo nos granitos estudados. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.....	64
Figura 4.16 – Equipamento utilizado para medir a velocidade ultra-sônica das rochas.....	67

Tabela 4.1 – Valores médios da porosidade (P); Densidade Aparente Seca (g/cm ³) – DASC; Densidade Aparente Saturada (g/cm ³) – DAST; absorção (A); n.e – não especificado.....	50
Tabela 4.2 – Total e porcentagem das microfissuras. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.....	50
Tabela 4.3 – Resultado dos ensaios de resistência à compressão e velocidade de ondas ultra-sônica.....	56
Tabela 4.4 – Resultado dos ensaios de resistência à flexão e velocidade de ondas ultra-sônica. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.....	61
Tabela 4.5 – Resultado do ensaio de Desgaste Amsler e Quantidade de Quartzo em cada amostra. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.....	65
Tabela 4.6 – Resultado dos ensaios de porosidade, resistência à flexão, velocidade de ondas ultra-sônica e resistência à compressão. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.....	68

Capítulo 5 - Conclusões

Tabela 5.1 – Legenda: ASTM – American Society for Testing and Materials, CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança, n.e – não especificado.....	74
---	----

Os municípios de Barcelos e Presidente Figueiredo do Estado do Amazonas estão localizados em áreas compostas por maciços graníticos que apresentam qualidade, beleza e características tecnológicas favoráveis para serem explorados como rocha ornamental.

O granito Vermelho Moura (Moura – Barcelos), pertencente ao Granito Pedra do Gavião, apresenta composição sienogranítica de cor vermelho acinzentado e textura média-grossa. Já os granitos Castanhal Clássico, Terra Preta Nobre e Rosa Esperança, pertencentes à suíte intrusiva Água Branca (Presidente Figueiredo), apresenta os seguintes tipos faciológicos: álcali quartzo granito, sienogranito e álcali granito, diferenciados pelas colorações, aspectos texturais e composicionais. O granito Abonari Vermelho Real da suíte intrusiva Mapuera também encontra-se em Presidente Figueiredo e, classifica-se em álcali granito, de cor vermelho acinzentado e textura média-grossa.

Os ensaios tecnológicos caracterizam os maciços de acordo com os seguintes padrões:

a) Castanhal Clássico – porosidade = 0,29%, densidade seca/saturada = 2,71 – 2,72 g/cm³, Absorção = 0,10%, resistência à compressão = 209,9 Mpa, desgaste abrasivo = 0,68 mm; b) Vermelho Moura – porosidade = 0,68%, densidade seca/saturada = 2,65 – 2,66 g/cm³, Absorção = 0,25%, resistência à compressão = 120,5 Mpa, resistência à flexão = 10,5 , desgaste abrasivo = 0,5 mm, velocidade de ondas ultra sônicas = 5474 m/s; c) Abonari Real – porosidade = 0,46%, densidade seca/saturada = 2,64 – 2,65 g/cm³, Absorção = 0,18%, resistência à compressão = 164,9 Mpa, resistência à flexão = 15,8 , desgaste abrasivo = 0,65 mm, velocidade de ondas ultra sônicas = 6123 m/s; d) Terra Preta Nobre – porosidade = 0,35%, densidade seca/saturada = 2,67 – 2,68 g/cm³, Absorção = 0,13%, resistência à compressão = 151,6 Mpa, resistência à flexão = 22,3 , desgaste abrasivo = 0,46 mm, velocidade de ondas ultra sônicas = 6594 m/s; e) Rosa Esperança - porosidade = 0,87%, densidade seca/saturada = 2,62 – 2,63 g/cm³, Absorção = 0,35%, resistência à compressão = 253,8 Mpa, desgaste abrasivo = 0,33 mm.

Os testes de índices físicos exibiram que o Castanhal Clássico e Terra Preta Nobre são os mais resistentes em função de suas altas densidades. A resistência à compressão destacou os granitos: Castanhal Clássico e Rosa Esperança. A resistência à flexão, embora realizado somente em 3 litótipos, enfatizou o Terra Preta Nobre. O ensaio de desgaste abrasivo elevou o Rosa Esperança como o melhor em função de seu alto teor de quartzo. O granito Vermelho Moura, de acordo com seus valores, foi o que exibiu menor competência físico-mecânica aos testes em relação aos demais litótipos, mas sobretudo dentro dos valores limítrofes das normas. A velocidade de ondas ultra-sônicas confirma os resultados dos testes.

Os parâmetros mostrados de todos os granitos estão em perfeita consonância com os parâmetros tecnológicos estabelecidos pelas normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, os quais nos permitem qualificá-los como detentores de boa qualidade para rocha ornamental.

The municipalities of Barcelos and Presidente Figueiredo (State of Amazonas) are located in areas where occur granite massifs that have quality, beauty and technological characteristics favourable to be explored as ornamental stones. The Vermelho Moura granite (Moura – Barcelos area), belonging to the Gavião granite (Jauaperi Complex), is a reddish grey, medium to coarse grained syenogranite. The Castanhal Clássico, Terra Preta Nobre and Rosa Esperança granites, belonging to the Água Branca intrusive suite (Presidente Figueiredo area), show the following faciological types : alkali quartz granite, syenogranite and alkali granite, differentiated by color, textural and compositional aspects. The Abonari Real granite (also occurs in Presidente Figueiredo area) although it belongs to the Mapuera intrusive suite, it is a reddish gray, medium to coarse grained alkali granite.

The technological tests characterize the massifs according to the following standards: a) Castanhal Clássico - porosity = 0.29%, density (dry/saturated) = 2.71 - 2.72 g/cm³, absorption = 0.10%, resistance to compression = 209.9 Mpa, abrasive wear = 0.68 mm b) Vermelho Moura - porosity = 0.68%, density (dry/saturated) = 2.65 - 2.66 g/cm³, absorption = 0.25%, resistance to compression = 120.5 Mpa, resistance to flexure = 10.5, abrasive wear = 0.5 mm, ultrasonic waves speed = 5474 m/s, c) Abonari Real - porosity = 0.46%, density (dry/saturated) = 2.64 - 2.65 g/cm³, absorption = 0.18%, resistance to compression = 164.9 Mpa, resistance to flexure = 15.8, abrasive wear = 0.65 mm, ultrasonic waves speed = 6123 m/s, d) Terra Preta Nobre - porosity = 0.35%, density (dry/saturated) = 2.67 - 2.68 g/cm³, absorption = 0.13%, resistance to compression = 151.6 Mpa, resistance to flexure = 22.3, abrasive wear = 0.46 mm and ultrasonic waves speed = 6594 m/s, e) Rosa Esperança - porosity = 0.87%, density (dry/saturated) = 2.62 - 2.63 g/cm³, absorption = 0.35%, resistance to compression = 253.8 Mpa, abrasive wear = 0.33 mm.

The indices of the physical tests showed that the Terra Preta Nobre and Castanhal Clássico granites are the most resilient in light of their high densities. The resistance to compression highlighted the Castanhal Clássico and Rosa Esperança granites. The resistance to flexure tests, although performed only on 3 lithotypes, emphasized the Terra Preta Nobre granite. The abrasive wearing test raised the Rosa Esperança granite as the best due to its high content of quartz. The Vermelho Moura granite, according to its values, exhibited lesser physical-mechanical competence to the tests in relation to the other lithotypes, but especially within the range boundaries of the rules. The speeds of ultrasonic waves confirm the tests results.

The parameters shown by all granites are in line with the parameters set by the technological standards of ABNT - Brazilian Association of Technical Standards, which enable us to qualify them as holders of good quality for ornamental stones.

Sumário

Dedicatória.....	I
Agradecimentos.....	II
Epígrafe.....	III
Lista de figuras e tabelas.....	IV
Resumo.....	VI
Abstract.....	VII

Índice

Capítulo 1 - Introdução

1.1 - Princípios elementares.....	01
1.2 – Apresentação.....	01
1.3 – Objetivo	04
1.4 – Localização e Acesso.....	04
1.5 – Método de Trabalho.....	07
1.6 – Aspectos Fisiográficos.....	08

Capítulo 2 - Síntese do Conhecimento Geológico Regional

2.1 – Contexto Geotectônico e Geocronológico.....	11
2.2 – Unidades Litoestratigráficas.....	11

Capítulo 3 – Petrografia

3.0 – Introdução.....	18
3.1 – Análise Petrográfica.....	20
3.1.1 – Castanhal Clássico (Hornblenda-Biotita Álcali Quarto Sienito - Suíte Intrusiva Água Branca).....	23
3.1.2 – Vermelho Moura (Biotita-hornblenda sienogranito).....	28
3.1.3 – Abonari Vermelho Real (Biotita-hornblenda álcali-granito – Suíte Intrusiva Mapuera).....	33
3.1.4 – Granito Terra Preta Nobre (Biotita Sienogranito – Suíte Intrusiva Água Branca).....	38
3.1.5 – Rosa Esperança (Biotita Álcali-granito – Suíte Intrusiva Água Branca).....	43

Capítulo 4 – Caracterização Tecnológica

4.0 – Ensaio de Caracterização Tecnológica.....	47
4.1 – Índices Físicos.....	47
4.2 – Resistência à Compressão Uniaxial Simples	53
4.3 – Resistência à Flexão.....	59
4.4 – Desgaste Amsler.....	62
4.5 – Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas.....	66

Capítulo 5 – Conclusões	71
-------------------------------	----

Bibliografia	75
--------------------	----

Capítulo 1 Introdução

1.1 Princípios elementares

Desde o período Paleolítico ou Idade da Pedra Lascada, até os dias atuais a utilização de rochas tem sido ampla e diversificada.

Na época chamada de “Idade da Pedra”, a qual é dividida nos períodos Paleolítico (Idade da Pedra Lascada) e Neolítico (Idade da Pedra Polida), os homens confeccionavam armas, instrumentos e ferramentas a partir de pedaços de ossos e pedras. Nossos antepassados, há cerca de 4000 anos AC modelavam suas armas em sílex, um tipo de rocha retirada de minas, cortada e polida com rara habilidade. O polimento se fazia com areia, até adquirir formas mais úteis e harmoniosas. O período Neolítico foi marcado pelo início da construção de casas de barro, junco ou madeira empregando instrumentos feitos de recursos pétreos, além de tumbas mortuárias e objetos religiosos esculpidos em pedras.

Ainda hoje, em alguns lugares do mundo, como em regiões da Austrália e Nova Zelândia, há tribos que mal estão saindo do modo de vida da Idade da Pedra.

1.2 Apresentação

Durante as últimas décadas o setor de rochas ornamentais e revestimento no Brasil tem experimentado um crescimento espetacular baseado fundamentalmente na demanda do mercado internacional. Com efeito, só a partir de 1991, passou a merecer estatística própria no Sumário Mineral do DNPM, e atualmente ocupa o 2º lugar na pauta de exportação de produtos minerais. Esse setor movimentava cerca de US\$ 2,1 bilhões/ano, incluindo-se a comercialização nos mercados interno e externo, as transações com máquinas, equipamentos,

insumos, materiais de consumo e serviços, gerando ao redor de 105 mil empregos diretos, em aproximadamente 10.000 empresas (Chiodi Filho, 2001). Tais aspectos, revelam o enorme potencial do setor na geração de divisas e postos de trabalho.

Rochas Ornamentais e de revestimento são aquelas cujas características estéticas principais para a classificação e suas utilizações são a cor e a textura. Quando em uso, essas rochas são submetidas a várias situações tais como: atrito/desgaste, impacto, ação das intempéries, ataque por produtos de limpeza, líquidos agressivos, etc. Assim, por esses motivos, as rochas devem ser submetidas a caracterização tecnológica, que nada mais é do que o conhecimento das características físicas, físico-mecânicas e petrográficas, indicativas do melhor emprego e aproveitamento ornamental.

A popularidade da palavra “granito”, de uso generalizado na comercialização de rochas ornamentais, engloba tanto rochas ígneas, quanto metamórficas diversificadas, as quais também diferem em suas propriedades físicas e mecânicas em função dos minerais presentes, relações texturais, grau de alteração, etc. Muito embora os parâmetros tecnológicos dos tipos rochosos possam diferir bastante, os limites aceitáveis e adequados a cada uso são comuns, no caso de rochas ígneas e metamórficas. Assim, um melhor desempenho na quantificação dos parâmetros tecnológicos se torna cada vez mais significativo, em resposta às exigências de um mercado altamente competitivo. As caracterizações tecnológicas desses materiais devem ser efetuadas em estágios iniciais da pesquisa mineral, possibilitando que se tenha nessa fase, conhecimento acerca do tipo de aplicação para o qual os produtos se destinam (Vidal *et al.*, 1999). Logo, estudos aplicados ao melhoramento dos padrões tecnológicos de avaliação do material rochoso, fomentando seu beneficiamento para comercialização ao nível de mercado interno e externo, são extremamente pertinentes. Desta forma, o comportamento das rochas ornamentais frente aos inúmeros esforços e solicitações às quais estão geralmente expostas,

está condicionado às suas características mineralógicas, estruturais, texturais, físico-mecânicas e geoquímicas (Nogueira Neto *et al.*, 2002).

No Brasil a caracterização tecnológica de materiais com aplicação ao setor de rochas ornamentais e de revestimento é realizada através de testes, análises e ensaios que seguem rigorosamente os procedimentos normalizados pela entidade nacional ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Já no mercado internacional temos entidades que mais se destacam como: American Society for Testing and Materials – ASTM, Deutsch Institut für Normung – DIN, Association Française de Normalization – AFNOR, Enti Nazionali in Unificazione Normazione di Italia - UNI e Asociación Española de Normalización y Certificación – AENOR.

No estado do Amazonas, região norte do Brasil, o mercado dessas rochas está baseado apenas em importações de outros estados, principalmente do Espírito Santo, Bahia, Ceará além de países como Itália, Espanha e Portugal. Nos estados vizinhos, Roraima, Rondônia e Pará, esse setor é produtor mas, apenas de pequeno porte, ou seja, com atuação relativamente não satisfatória. Entretanto, o Estado do Amazonas apresenta características geológicas favoráveis à presença de maciços graníticos com características ornamentais, distribuídos, principalmente, nos municípios de Presidente Figueiredo, São Gabriel da Cachoeira e Barcelos (Araújo Neto e Moreira 1978; Almeida *et al.* 2002).

O município de Presidente Figueiredo (onde está localizada maior parte da área do estudo) já se destaca como importante centro produtor de brita (granito triturado) para o setor de construção civil de Manaus. Esse município também se destaca devido a sua proximidade (à norte de Manaus), fácil acesso e boas condições de infra-estrutura. Entretanto, até pela falta de recursos financeiros, experiência ou de assessoria técnica qualificada do empresariado local, em geral essas pedreiras produtoras de brita são subutilizadas, pois estão instaladas sobre maciços graníticos com características geológicas ideais para o setor de ornamentação e

revestimento. Sobretudo, uma frente de lavra de rochas ornamentais apresenta uma perda de material em torno de 50%, material este que poderia ser perfeitamente utilizado como brita, dinamizando a lavra, diminuindo o volume do pátio de rejeito, amenizando o impacto visual do ambiente, aumentando receita e gerando emprego.

1.3 Objetivo

Esta dissertação tem como objetivo a caracterização tecnológica em rochas de alguns maciços graníticos aflorantes nos municípios de Presidente Figueiredo e Barcelos (Moura), visando seu potencial para aplicação como rocha ornamental.

1.4 Localização e Acesso

Os maciços graníticos estudados estão localizados nos municípios de Presidente Figueiredo e Barcelos (figura 1.1). No município de Presidente Figueiredo foram estudados três maciços graníticos, cujo acesso é realizado através da BR – 174 e do ramal do Canoas. Tais maciços, com destaque para os corpos batolíticos São Gabriel e Abonari, possuem expressões de topografia que chegam a atingir cerca de 120 a 140 metros (Fig. 1.2). Já no município de Barcelos, o maciço granítico selecionado está localizado no distrito de Moura, situado na margem direita do Rio Negro, cujo acesso só é possível por hidrovia através de barcos regionais.

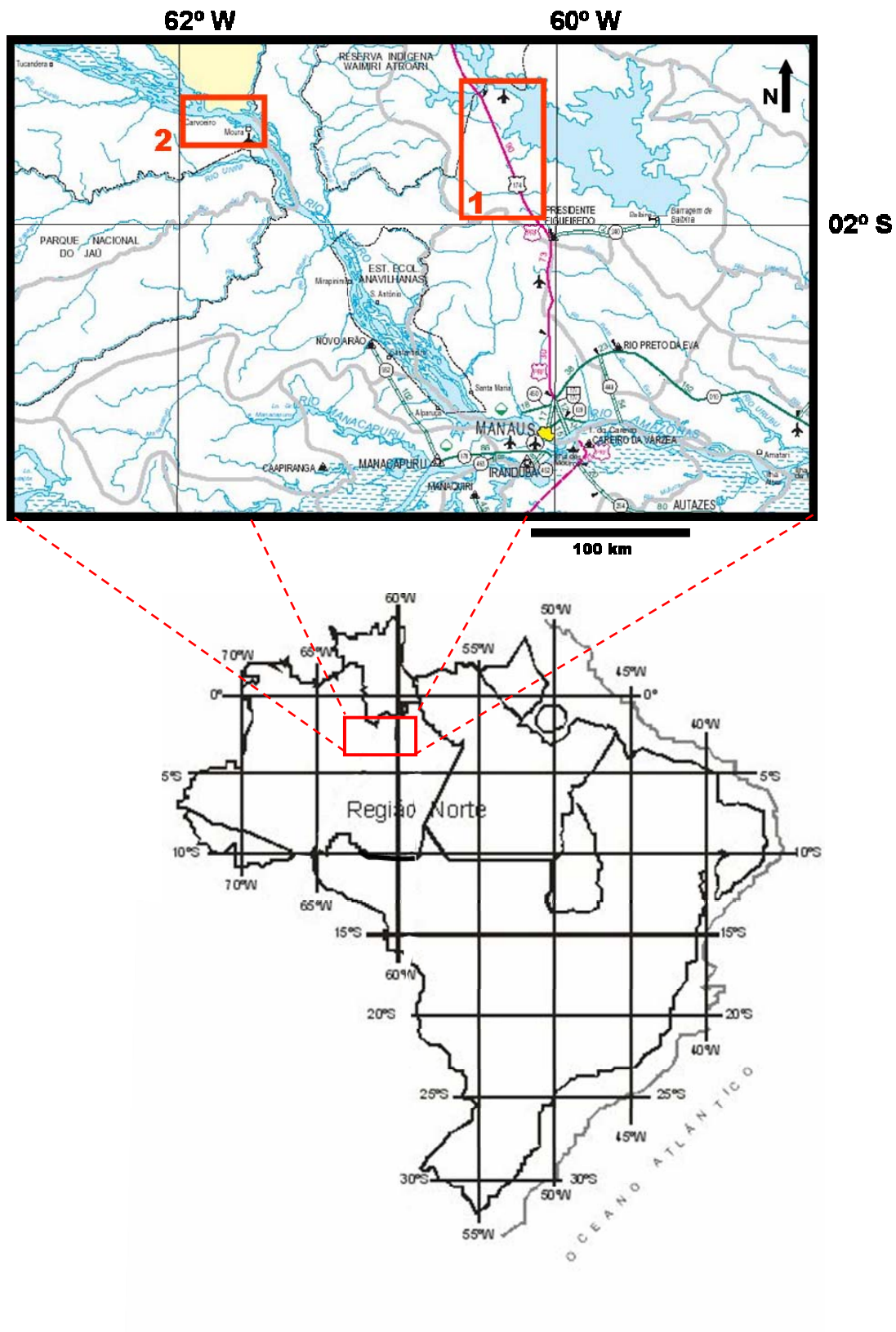


Figura 1.1 – Localização das áreas estudadas. As áreas em vermelho denominadas 1 e 2 são, respectivamente, as áreas de Presidente Figueiredo e Moura. Notar a facilidade de acesso às áreas por rodovia (BR-174) e hidrovia (Rio Negro).

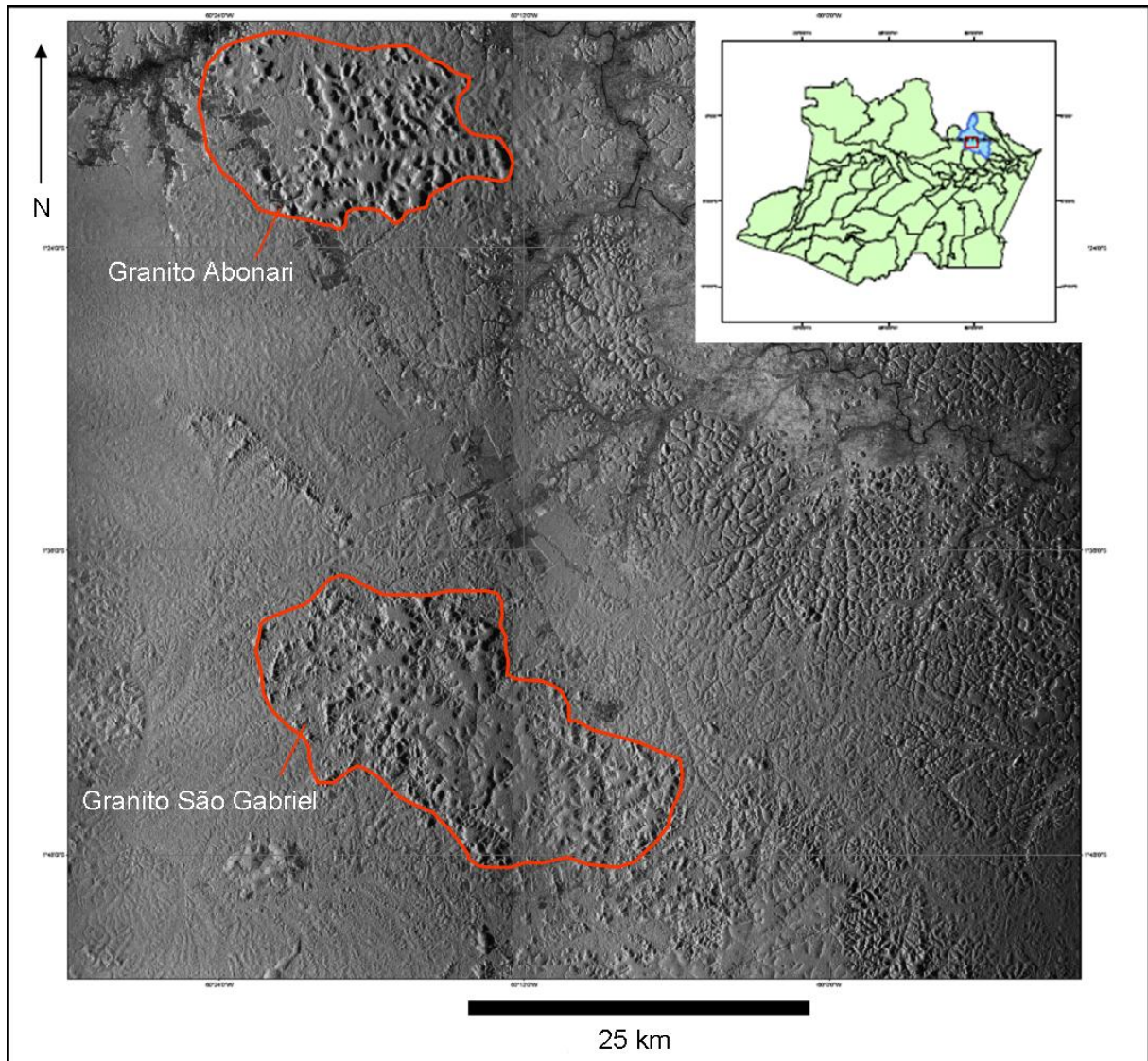


Figura 1.2 – Imagem SAR (SIPAM) da região a norte de Presidente Figueiredo mostrando o padrão de relevo dos maciços graníticos São Gabriel e Abonari.

1.5 Método de Trabalho

Esta pesquisa foi estruturada em quatro etapas básicas: pré-campo, campo, laboratório e elaboração da presente dissertação.

Etapa pré-campo:

- Revisão bibliográfica: Uma busca elementar de informações bibliográficas, tais como, relatórios técnicos, artigos, livros, dissertações, teses, dentre outros, objetivando adquirir elementos sobre o conhecimento geológico sobre a região.
- Interpretação de imagens de sensoriamento remoto (LANDSAT 5/TM, JERS, Modelos Digitais de Terreno - MDT e SAR/SIPAM) extraídas do Laboratório de Sensoriamento Remoto (LSR) da UFAM. A partir destas imagens foram elaborados mapas preliminares com o intuito de delimitar as ocorrências dos maciços graníticos assim como as características geomorfológicas da área estudada.

Etapa de campo:

Reconhecimento geológico regional, e da área estudada, seguindo as técnicas usuais, bem como o reconhecimento litológico estrutural, coleta de amostras de rochas e o georeferenciamento dos afloramentos de ocorrência dos maciços graníticos com auxílio do receptor GPS (sistema de posicionamento global).

Etapa laboratorial:

- Análise petrográfica: análise microscópica de lâminas delgadas das amostras de rocha, com objetivo de caracterizar as associações minerais presentes e relações texturais. Nesta fase devem-se observar os parâmetros exigidos pelas normas da Associação Brasileira de Normas técnicas – ABNT. Esta etapa é de grande importância pois possibilitará, através do reconhecimento dos

constituintes minerais, um cálculo das implicações de suas propriedades físicas no comportamento posterior das amostras processadas.

- **Análise Tecnológica :**

As amostras coletadas foram confeccionadas para compor os corpos de prova à serem submetidos aos ensaios técnicos. Nesta etapa os corpos de prova passaram pelos seguintes testes: índices físicos (massa específica aparente, porosidade e absorção d'água), resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão, desgaste Amsler e velocidade de ondas ultra-sônica. Todos esses testes serão abordados detalhadamente no capítulo 4 com o intuito de uma compreensão melhor no desenvolvimento de cada um.

Etapa conclusiva:

Nesta etapa serão apresentados os parâmetros comparativos dos resultados obtidos, expostos através de tabelas, diagramas e ilustrações.

1.6 Aspectos Fisiográficos

a) Relevo

A área de Presidente Figueiredo está inserida na borda norte da Bacia do Amazonas, onde as rochas paleozóicas assentam-se discordantemente sobre o embasamento Pré-cambriano. No domínio das rochas paleozóicas o relevo é do tipo residual entalhado pela drenagem, apresentando vales amplos e interflúvios tabulares, com as cotas em torno de 60 a 80 metros. No domínio do embasamento o relevo é dissecado com colinas arredondadas e de

altitude entre 70 e 120 metros. A área de Moura está na planície do Rio Negro, região caracterizada por um relevo plano com as cotas em torno de 20 a 40 metros.

b) Hidrografia

Na região de Moura, o principal rio é o Negro que se apresenta com uma largura de até 3,4 km e totalmente navegável até Manaus. Na região de Presidente Figueiredo a rede de drenagem è formada principalmente pelo Rio Uatumã e pelos igarapés Canastra, Elevação, Canoas, Pitinga e Imbaúba nos terrenos Pré-Cambrianos e pelos Igarapés Urubuí, Santa Cruz e Patauazal nas unidades Paleozóicas.

c) Vegetação

Ambas as regiões estão inseridas no que Bohrer & Gonçalves 1991 *in* Andrade (1997) definiram como Floresta Ombrófila Densa caracterizada por árvores de grande porte, típicas da Floresta Amazônica. Porém é notável o desmatamento ao longo da BR-174 na região de Presidente Figueiredo, onde a floresta é removida para a formação de pastagens para a agropecuária.

d) Clima

Segundo Koppen *in* Nimer, (1991), o clima na Amazônia é do tipo tropical quente e úmido (tipo A). Este mesmo autor ainda individualizou três subtipos climáticos na região: Af, com chuvas abundantes o ano todo; Am, com uma curta estação seca (de dois a três meses de duração, normalmente entre Agosto e Outubro) e pluviosidade anual superior a 2000 mm; e o

Aw que apresenta pluviosidade anual inferior a 2000 mm. Em ambas as regiões de Moura e Presidente Figueiredo o clima é do tipo Am..

2.1 Contexto Geotectônico e Geocronológico

O município de Presidente Figueiredo e a localidade de Moura (Município de Barcelos) estão inseridos no contexto da província geocronológica Ventuari-Tapajós (1,95-1,80 Ga) definida por Tassinari & Macambira (1999), cujos limites geográficos são aproximadamente equivalentes à província Tapajós-Parima (2,1-1,87 Ga) definida por Santos *et al.* (2000) (figura 2.1). Tais províncias representam sucessivos arcos-magmáticos que foram acrescentados a um protocráton por meio de processos acrescionários e colisionais no intervalo de 2,0 a 1,4 Ga (Tassinari *et al.* 2000 e Tassinari & Macambira 2004).

2.2 Unidades Litoestratigráficas

A região sudeste do município de Presidente Figueiredo, principal local objeto desta pesquisa, abrange rochas gnáissicas, graníticas e vulcânicas representantes das unidades paleoproterozóicas Complexo Jauaperi, Suíte Intrusiva Água Branca, Grupo Iricoumé e Suíte Intrusiva Mapuera (figura 2.2). Entretanto, nessa região a pesquisa foi enfocada apenas para os granitos das suítes intrusivas Água Branca e Mapuera (figura 2.3).

Em geral, essas unidades estão distribuídas desde o sul-sudeste de Roraima até noroeste do Pará, formando, em geral, um relevo dissecado com colinas de altitude entre 70 e 120 m. O Complexo Jauaperi reúne ortognaisses, migmatitos, metagranitos, anfíbolitos e charnoquitos, cujos estudos geocronológicos U-Pb demonstram idades entre 1.86 e 1.88 Ga (Reis *et al.* 2006). A Suíte Intrusiva Água Branca reúne granitos a granodioritos de cor cinza claro, textura equigranular a porfirítica média a grossa, portadores de hornblenda e/ou biotita,

além de dioritos a quartzo-dioritos, apresentando composição meta a peraluminosa e idade de 1.89 Ga (Oliveira *et al.* 1996, Faria *et al.* 2000, Almeida & Macambira 2003, Valério 2006, Almeida 2006).

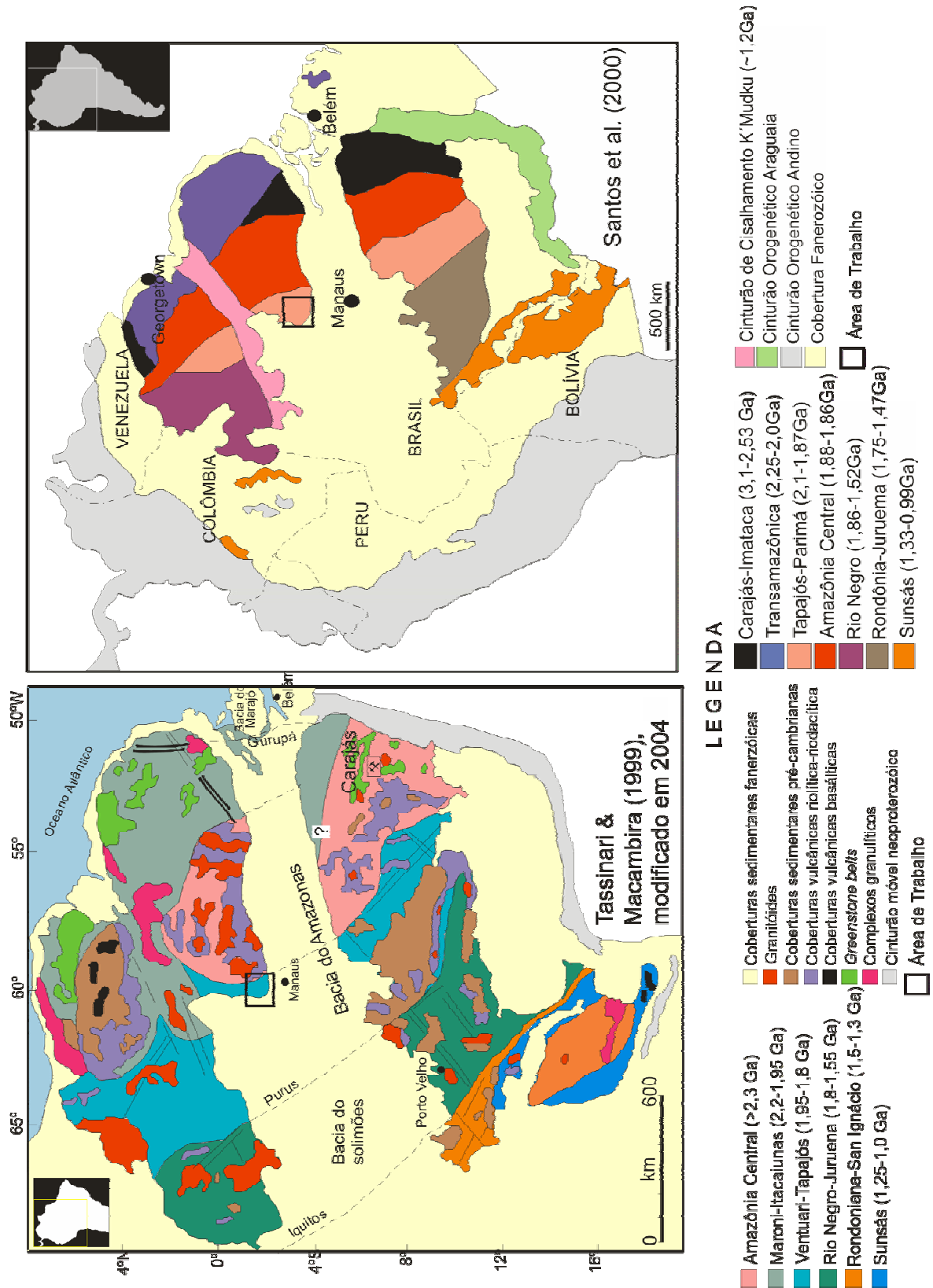


Figura 2.1 – Contexto Geotectônico e Geocronológico

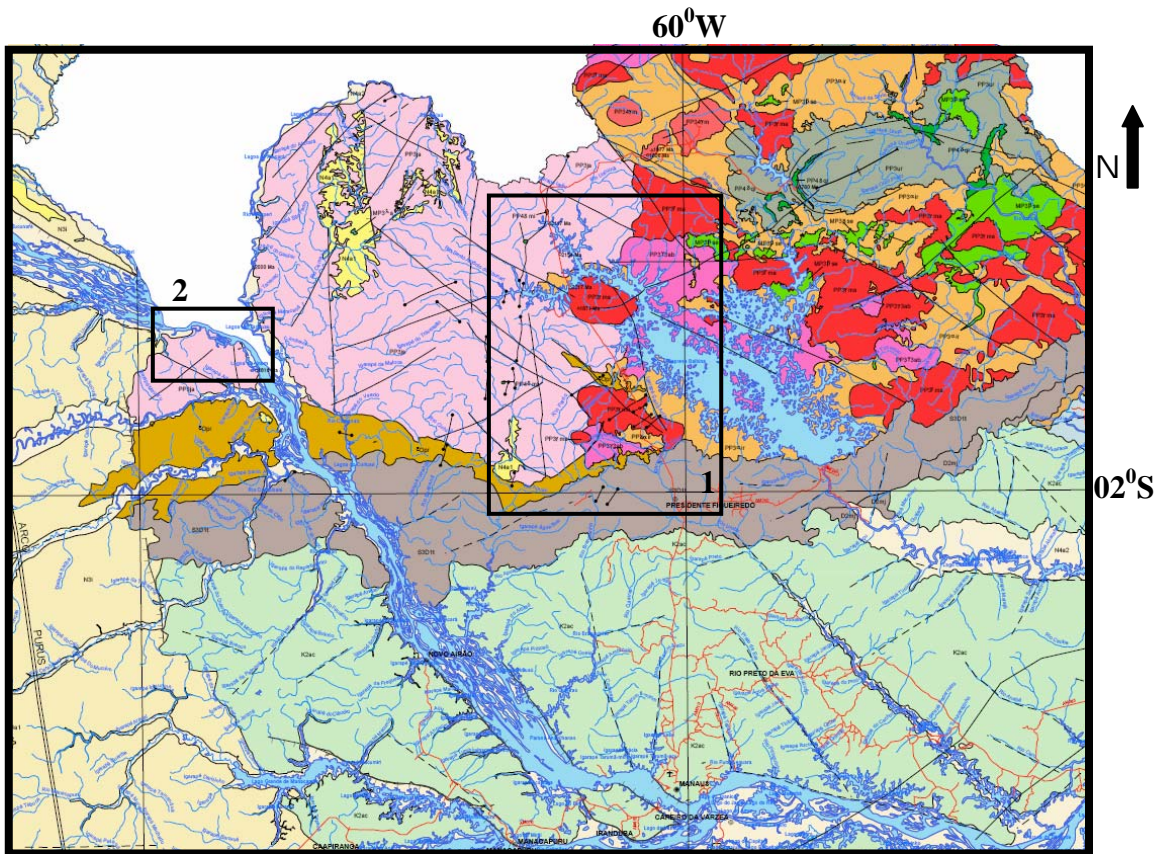


Figura 2.2 – Mapa Geológico das áreas de Presidente Figueiredo (1) e Moura (2). Fonte: Ferreira *et al* (2006) (CPRM).

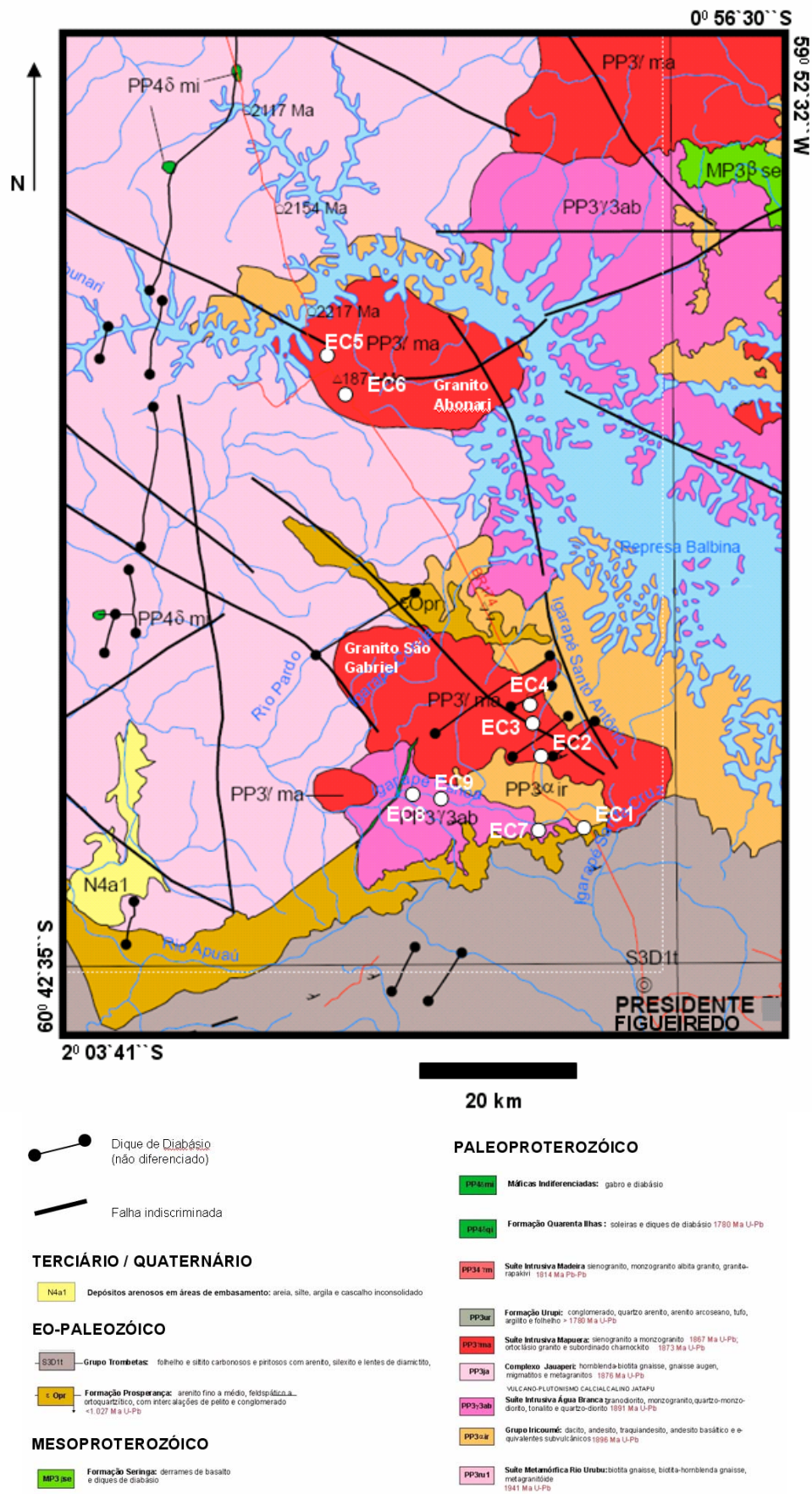


Figura 2.3 – Mapa geológico da Região de Presidente Figueiredo com os pontos visitados no campo. Modificado de Ferreira *et al* (2006) (CPRM).

O Grupo Iricoumé é constituído por depósitos de fluxos piroclásticos intercalados com derrames vulcânicos ácidos a intermediários de natureza subalcalina e idade entre 1.89 e 1.88 Ga (Araújo Neto & Moreira 1976, Veiga Jr. *et al.* 1979, Costi *et al.* 2000, Santos *et al.* 2002, Valério 2006, Ferron 2006). Já a Suíte Intrusiva Mapuera, reúne batólitos e *stocks* compostos de monzo a sienogranitos, quartzo sienitos, monzonitos e granófiros de cor rósea a acinzentada, com textura equigranular a porfirítica média a grossa, assinatura geoquímica meta a peraluminosa e idade ao redor de 1.88 Ga (Geomineração 1972, Araújo Neto & Moreira 1976, Veiga Jr. 1979, Costi *et al.* 1984, Jorge-João *et al.* 1984, Valério 2006, Ferron 2006).

Já na localidade Vila de Moura ocorre o granito Pedra do Gavião (figura 2.4), objeto desta pesquisa, o qual aflora sob a forma de *boulder* e pequenos lajedos, encaixado em uma associação de rochas metamórficas (Souza *et al.* 2006). Um dos primeiros levantamentos geológicos nessa região foi realizado por Santos *et al.* (1974), no qual propuseram a Vila de Moura como seção-tipo para a seqüência de rochas metamórficas constituídas por migmatitos, gnaisses, granitos, charnoquitos e restritas ocorrências de matabasitos, anfibolitos e dioritos, denominando-as de Grupo Moura, cuja idade foi considerada da ordem de 2,2 Ga. Entretanto, devido à incompatibilidade estratigráfica para a utilização do termo “Grupo Moura”, Araújo Neto & Moreira (1976) utilizaram a designação de Grupo Anauá e mantiveram a localidade Vila de Moura como seção para a seqüência definida por Santos *et al.* (1974).

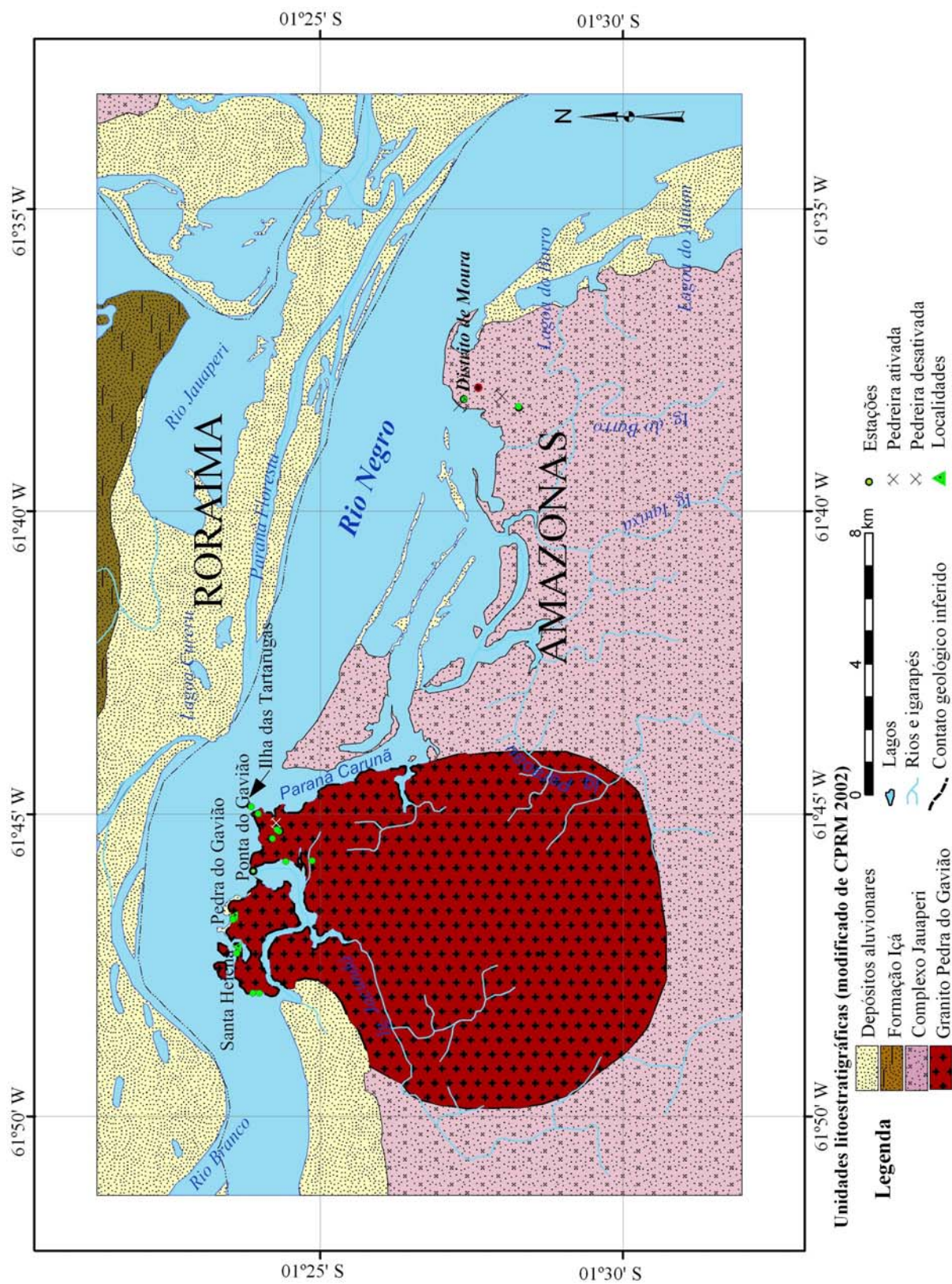


Figura 2.4 – Mapa geológico simplificado da região de Moura

Capítulo 3
Petrografia**3.0 – Introdução**

Neste capítulo serão abordados os aspectos petrográficos dos diferentes maciços graníticos das suítes intrusivas Água Branca e Mapuera e do granito Pedra do Gavião, os quais receberam as seguintes denominações de caráter comercial: Castanhal Clássico, Abonari Real, Terra Preta Nobre e Rosa Esperança, na região de Presidente Figueiredo, e Vermelho Moura, na localidade homônima (figura 3.1).

A caracterização petrográfica constitui a primeira etapa da fase laboratorial de caracterização tecnológica dos granitos como rochas ornamentais. Logo, do ponto de vista acadêmico, essa etapa é o principal instrumento para se adquirir dados como o tipo e a gênese da rocha, composição mineralógica, relações texturais, microfissuras e o seu grau de intensidade, minerais alterados, alteráveis, solúveis e rúpteis. A pesquisa petrográfica, portanto, permite uma avaliação inicial de suas propriedades físicas, que interferem no comportamento dos materiais pétreos destinados posteriormente ao uso.

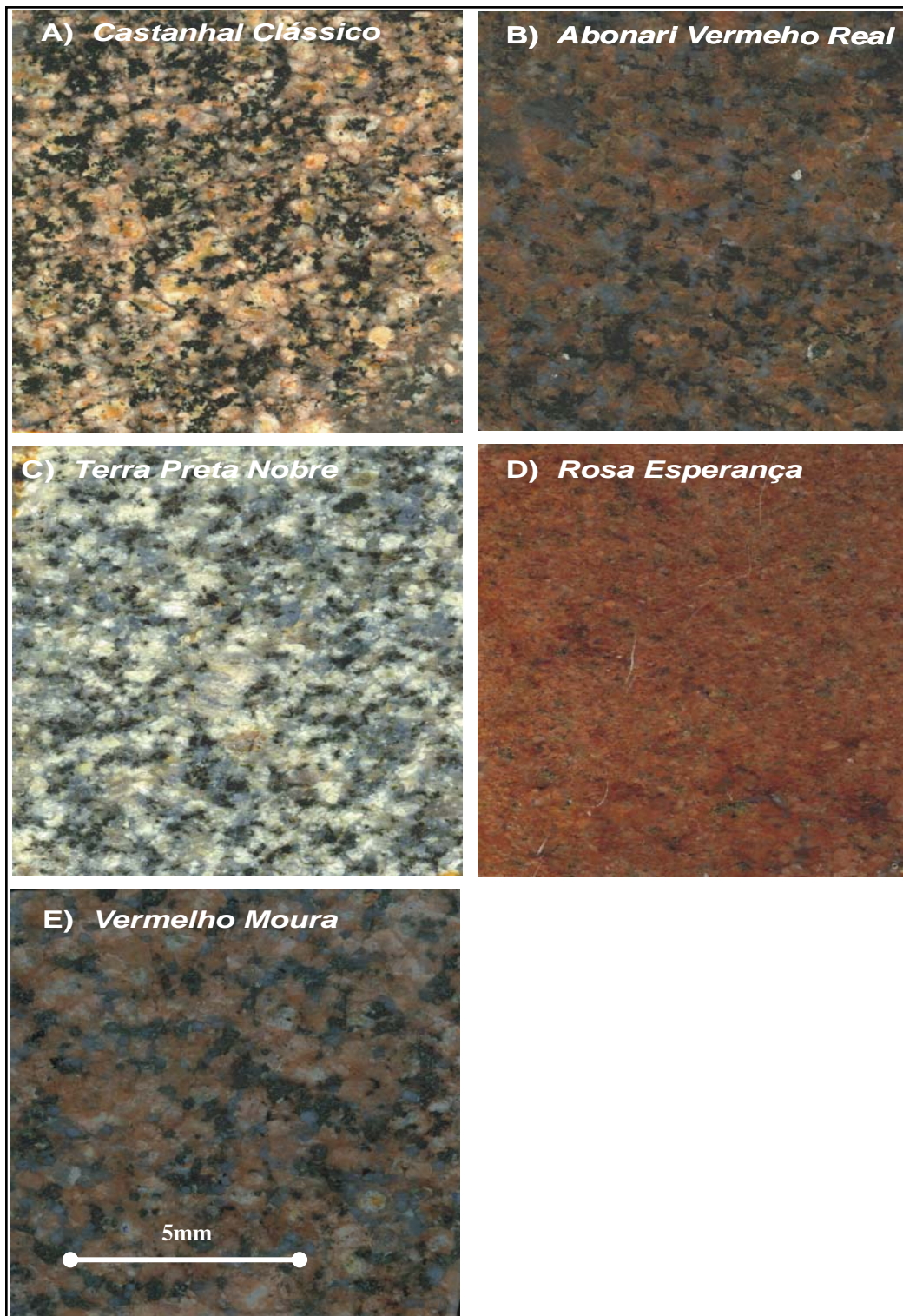


Figura 3.1 – Exibição dos cinco tipos graníticos (placas polidas).

3.1 – Análise Petrográfica

As rochas graníticas aqui estudadas foram classificadas mineralogicamente de acordo com o diagrama modal QAP de Streckeisen (1976), distribuídas nos seguintes campos (figura 3.2): sienogranito, álcali granito e álcali-quartzo-sienito. Entretanto, esses maciços graníticos se distinguem não só pela composição mineral, mas também nos aspectos textural e de cor.

Na classificação petrográfica foram contados cerca de 1000 pontos em cada lâmina petrográfica, aplicando um contador milimétrico manual, num total de 10 lâminas delgadas, sendo 2 (duas) para cada granito.

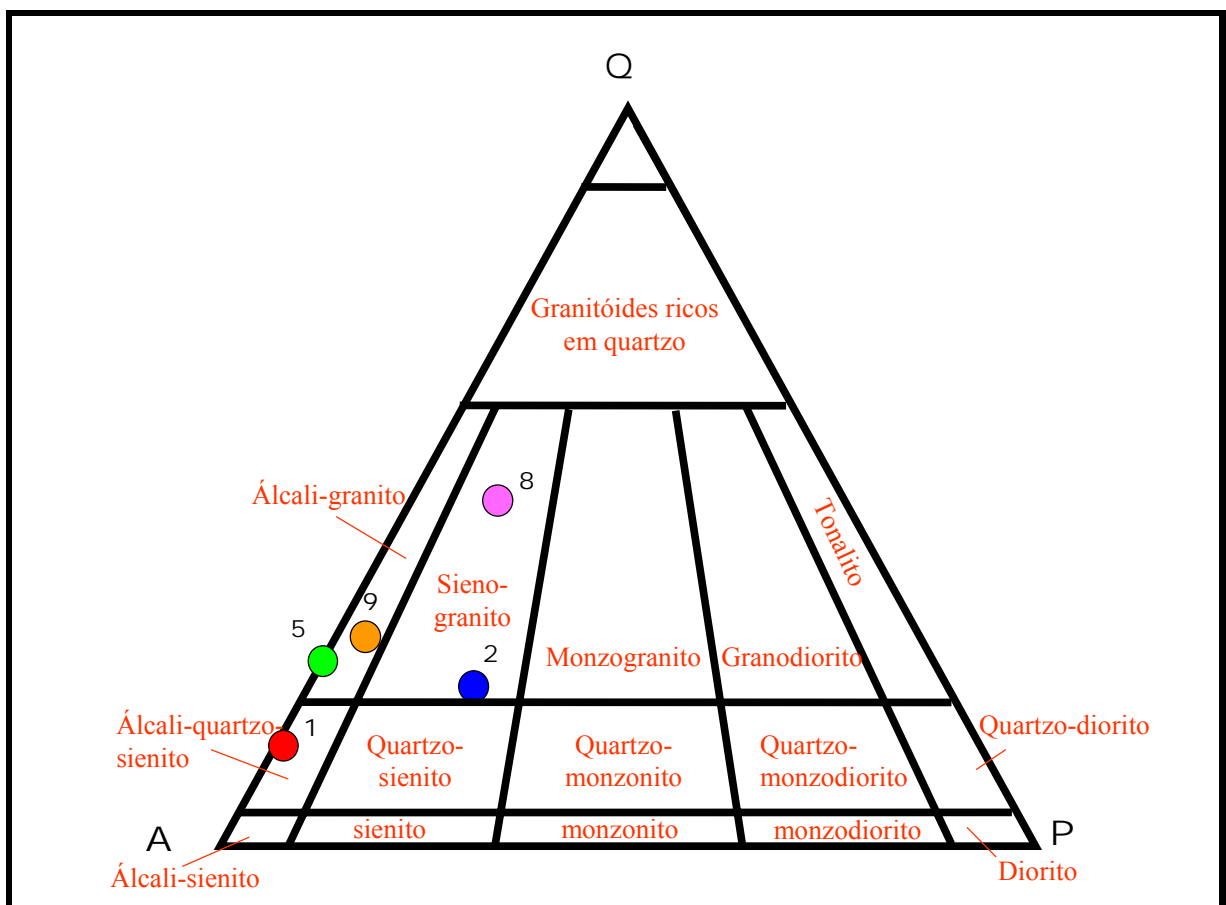


Figura 3.2 – Distribuição composicional modal e nomenclatura de acordo com o diagrama de Streckeisen (1976). Legenda: ● CC – Castanhal Clássico, ● VM – Vermelho Moura, ● AR – Abonari Vermelho Real, ● TPN – Terra Preta Nobre, ● RE – Rosa Esperança.

A tabela 3.1 resume os resultados obtidos para análise petrográfica.

Tabela 3.1 – Resultado das análises petrográficas. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.

Parâmetros		VM	AR	TPN	RE
------------	--	----	----	-----	----

Petrográficos		CC				
Cor – estado seco		Rosa acinzentado	Vermelho acinzentado	Vermelho acinzentado	Cinza esverdeado	Rosa avermelhado
Estrutura		Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica
Granulação		Médio-grossa	Médio-grossa	Médio-grossa	Média-grossa	Médio-fina
Textura		Inequigranular Hipidiomórfica	Inequigranular Hipidiomórfica	Inequigranular Hipidiomórfica	Inequigranular Hipidiomórfica	Inequigranular Hipidiomórfica
Natureza da rocha		Ígnea	Ígnea	Ígnea	Ígnea	Ígnea
Classificação da rocha		Hornblenda Biotita Álcali Quarto Sienito	Biotita Hornblenda Sienogranito	Biotita Hornblenda Álcali Granito	Biotita Sienogranito	Biotita Álcali Granito
Composição Mineralógica (%)	KF- Feldspato Alcalino	72,20	54,00	66,02	35,16	64,23
	Quartzo	12,06	20,32	23,56	35,16	28,17
	Plagioclásio	1,60	17,24	0,37	11,74	4,45
	Biotita	7,30	1,43	4,08	13,55	1,52
	Hornblenda	4,24	6,03	4,22	-	-
	Opacos	0,80	0,16	0,82	1,52	0,11
	Acessórios: titanita, epidoto, zircão, apatita e clorita	1,80	0,82	0,93	2,87	1,52
Minerais Máficos (%)		14,14	8,44	10,05	17,94	3,15
Grau de Alteração	K- feldspato	Médio	Forte	Médio	Forte	Forte
	Plagioclásio	Médio/Forte	Médio/Forte	Médio	Forte	Forte
	Biotita	Forte	Médio/Forte	Forte	Forte	Médio
Contato (%)	Côncavo / Convexo	40-50	25-35	25-35	30-40	35-45
	Serrilhado	20-30	45-55	45-55	45-55	45-55
	Plano	10-20	10-20	15-25	15-20	10-20
Micro-fissuras	Total /mm ²	0,12	0,15	0,17	0,083	0,08
	Intragrão (%)	83,3	80	94,1	92,77	87,5
	Intergrão (%)	16,7	20	5,9	7,23	12,5

Os resultados das análises petrográficas serão comparados no próximo capítulo com os dados de caracterização tecnológica, o qual trata do objetivo principal desta pesquisa.

A metodologia para o desenvolvimento do exame petrográfico dos granitos envolveu estudo macroscópico e microscópico. No estudo macroscópico foi utilizada uma lupa manual com o objetivo de analisar a mineralogia, textura e cor das amostras de mão e, microscopicamente foi utilizado o aparelho de microscópio binocular de marca Zeiss Germany (Axiotron) pertencente à Pós-Graduação do Departamento de Geologia (Degeo – UFAM).

Na caracterização petrográfica são analisados os aspectos mineralógicos, texturais e estruturais visto que, além da necessidade do estudo segue a exigência da norma NBR 12768 – ABNT (1992). Segundo Rodrigues (1997 *in* Navarro 1998) deve-se dar atenção especial aos contatos entre os grãos (entrelaçamento mineral), grau de alteração mineral (sobretudo à classe dos feldspatos) e estado microfissural pois, alguns aspectos petrográficos estabelecem classificações específicas e necessitam seguir os seguintes parâmetros:

a) Intervalos de granulação:

- fina: diâmetro médio dos cristais inferior a 1mm;
- média – fina: diâmetro médio entre 1 e 3mm;
- média: diâmetro médio entre 3 e 7mm;
- média – grossa: diâmetro médio entre 7 e 10mm;
- grossa: diâmetro médio superior a 10mm.

b) Relação de contatos:

- contato côncavo-convexo;
- contato serrilhado;
- contato plano.

Os tipos de contato foram quantificados em porcentagem em cada espécie de mineral presente (tabela 3.1).

c) Grau de alteração mineral:

- grau de alteração fraco → < 20%
- grau de alteração médio → 20 – 50%
- grau de alteração forte → 50 – 80%
- grau de alteração muito forte → > 80%.

De acordo com a intensidade de alteração, observou-se os feldspatos em função de suas modificações dada especialmente pela saussuritização dos plagioclásios e pelas alterações das biotitas (tabela 3.1).

d) Estado microfissural: foi determinado o número de microfissuras por área (mm²) em minerais através da contagem do número médio de fraturas presentes nos diferentes grãos que apresentam tamanhos próximos ou iguais à granulação média da rocha.

3.1.1 – Castanhal Clássico (Hornblenda-Biotita Álcali Quarto Sienito - Suíte Intrusiva Água Branca)

No campo estas rochas ocorrem numa área de relevo levemente acidentado com as colinas definidas pelos corpos intrusivos (figura 3.3a). Os afloramentos são caracterizados por blocos rolados e matacões que variam de 0,5 a 2m aproximadamente (figura 3.3b). Macroscopicamente são rochas de granulação média a grossa, de cor rosa acinzentado e textura inequigranular onde dominam os cristais subedrais de feldspato alcalino em meio a cristais de hornblenda, biotita e quartzo intersticial. Microscopicamente é um granito leucocrático de textura predominantemente inequigranular hipidiomórfica a xenomórfica, granulação variando de 1 a 11mm e mineralogia composta por microclínio, plagioclásio,

quartzo, hornblenda e biotita como minerais essenciais e apatita, titanita, epidoto, zircão e clorita como minerais acessórios.



Figura 3.3 – a) Panorama da forma de ocorrência do *stock* granítico do Castanhal Clássico. b) Blocos rolados e matações do granito Castanhal Clássico.

- *Relação de contatos entre grãos*

O relacionamento entre grãos minerais constituintes da rocha apresenta o seu valor quantitativo em percentual como produto do seu bom entrelaçamento e/ou engrenamento mineral. Os contatos côncavo-convexos apresentaram cerca de 40-50%, os serrilhados 20-30% e os planos 10-20% respectivamente. Esses valores sobretudo referem-se à trama “quartzo-feldspática” pois, como os minerais máficos são minoria na equivalência mineralógica a sua contribuição é mínima, embora suas bordas e contorno irregulares sejam do tipo serrilhados.

- *Microfissuramento*

As microfissuras presentes na lâmina delgada correspondem a aproximadamente 0,12 mm² no qual sugere um valor muito pequeno de microfissuramento e conseqüentemente um

bom comportamento estrutural. Elas estão distribuídas em: intragão (intragranular) com 83,3% e intergrão (intergranular) com 16,7% respectivamente.

O tamanho das microfissuras, no geral, é de até 2mm de comprimento, atribuindo-se especificamente às das intragrãos e o restante de 2 a 4mm com tamanho relativamente médio, atribuindo-se à intergrãos. Esses valores correspondem basicamente aos quartzos e feldspatos. Localmente foram observadas algumas fissuras preenchidas por mica branca e sericita, tendo ocorrido possivelmente durante o processo de sericitização do feldspato alcalino. Contudo observou-se que as microfissuras exibem baixa comunicabilidade nos grãos e não apresentam orientação definida.

- Composição mineralógica e alteração mineral

O Castanhal Clássico apresenta composição de álcali-quartzo sienito com a seguinte proporção mineral: 72,20% de feldspato potássio, 12,06% de quartzo, 1,60% de plagioclásio, 7,30% biotita, 4,24% de hornblenda, 0,80% de opacos e 1,80% de minerais acessórios (titanita, epidoto, zircão, apatita e clorita).

O **microclínio** exibe tamanho variado de 1 a 11mm, com hábito subedral, e é, no geral, caracterizado por geminação simples em xadrez (tipo Tartan), muitas vezes pertitizados, tipo fios e manchas concentrados nas partes centrais do cristal e localmente zonado (figura 3.4a). Há presença também de textura rapaquiri onde se observa o feldspato alcalino circundado por plagioclásio sódico (figura 3.4b). A sua alteração normalmente é dada pelo processo da sericitização classificada de média a intensidade, desenvolvendo algumas vezes lamelas de mica branca (figura 3.4c). Os cristais de microclínio correspondem aos maiores grãos da rocha e são freqüentes as inclusões de minerais com quartzo, biotita (figura 3.4c) e plagioclásio.

O **quartzo** é anedral a subedral, com tamanho médio na ordem de 4mm, exhibe extinção ondulante, ocorre moderadamente fraturado e está distribuído de modo intersticial em relação aos feldspatos.

O **plagioclásio** (oligoclásio) mostra-se com geminação polissintética e, no geral apresenta cristais sob forma subédricos com tamanho variando de 2 mm e 4 mm. Sua composição foi determinada pelo método de Michel-Levy, cujo teor em sódio é de An₁₈₋₂₀. É comum se observar o processo de saussuritização nos plagioclásios, contendo ainda por vezes inclusões de biotita e quartzo (figura 3.4d).

A **biotita** ocorre sob a forma de lamelas com dimensões de 0,4 a 4 mm, exibindo cor variando de marrom a castanho esverdeado e birrefringência moderada, em alguns casos exibem planos de clivagem preenchidos por opacos. Normalmente encontra-se associada a hornblenda (figura 3.4f) e/ou o microclínio (figura 3.4c). O seu grau de alteração foi classificado como forte.

O anfibólio encontrado foi a **hornblenda** com tamanhos de 1 a 3mm, ocorrendo em geral de forma eudral a subedral (figura 3.4e), cor variando de verde claro a verde escuro, pleocroísmo forte, com pouca visualização de duas direções de clivagem (quando não observada na seção basal). Os cristais de hornblenda preferencialmente fazem contatos com a biotita e feldspato alcalino (figura 3.4f).

Cristais de apatita, opacos (com coroas de óxido de Ti - exsolução), titanita e zircão ocorrem como **minerais acessórios**, além de epidoto e clorita que formam a paragênese mineral de alteração hidrotermal.

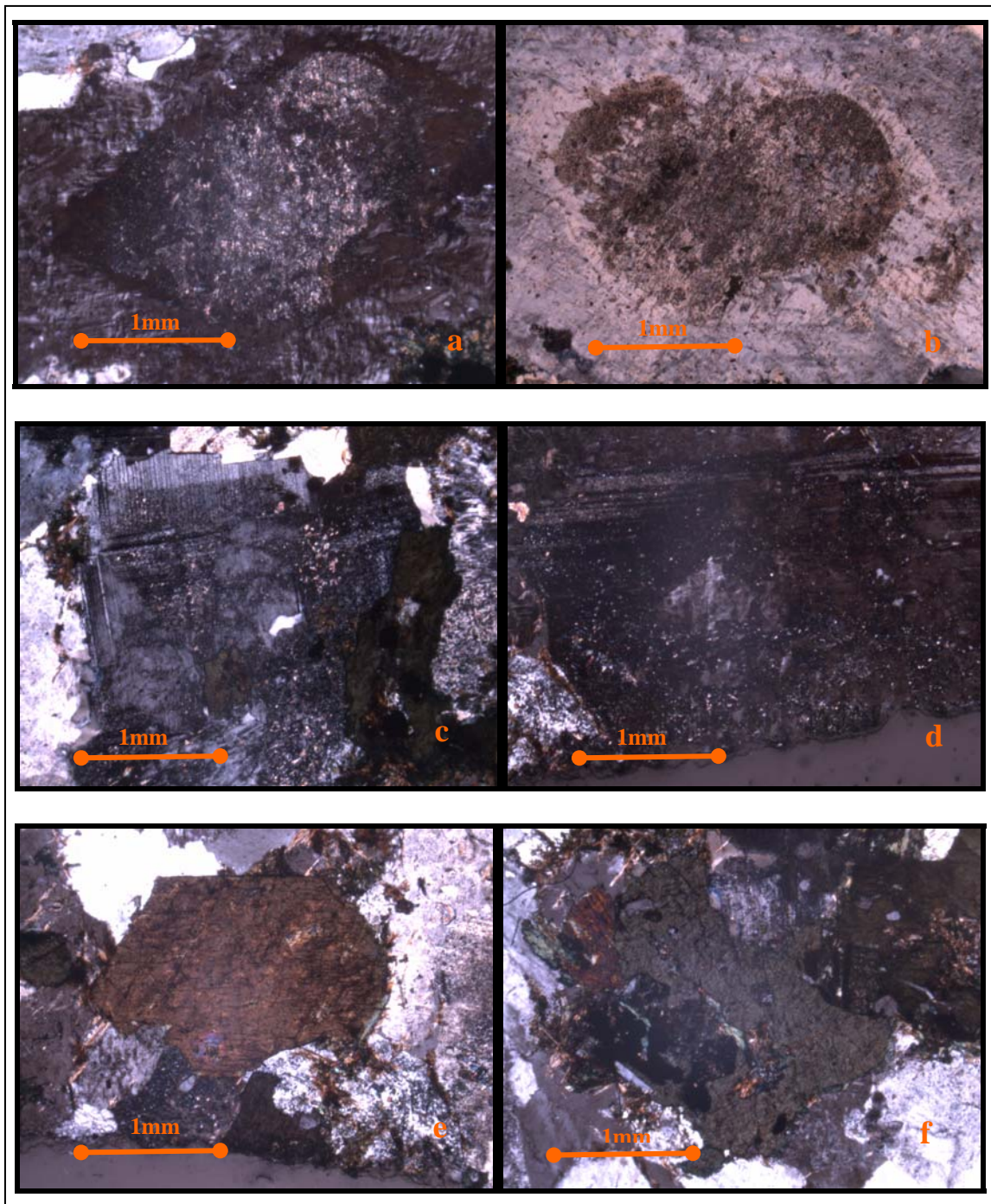


Figura 3.4 – Aspecto microtextural na objetiva 3,2x – a) sessão prismática do microclínio zonado e alterado de tamanho 2,5mm (NC), b) Feldspato alcalino (2,1mm) exibindo textura rapakivi (ND; LN); c) microclínio (1,5mm) sericitizado com hornblenda, biotitas, opacos disseminados (NC); d) Plagioclásio (2,2mm – na borda da lâmina) saussuritizado (NC; LN); e) Sessão basal da hornblenda euedral (1,2mm) na trama quartzo feldspática (NC); f) Hornblenda (1,3mm) com biotita/clorita entre quartzo e feldspatos (NC).

Legenda: NC – Nicol cruzado; ND – Nicol descruzado; LN – Luz natural

3.1.2 – Vermelho Moura (Biotita-hornblenda sienogranito)

O granito Pedra de Gavião é uma intrusão elíptica de 16 km de eixo maior e 11 km de eixo menor alongada na direção NS. Este corpo localiza-se a na margem direita do Rio Negro a 15 km a montante do Distrito de Moura (Figura 2.4). De acordo com Souza (2006), nesta área os afloramentos são encontrados na forma de *boulders* ou como lajedos extensos na planície de inundação do Rio Negro (figura 3.5).

Macroscopicamente é uma rocha fanerítica leucocrática de coloração vermelho acinzentado, granulação média a grossa, textura predominantemente inequigranular hipidiomórfica e mineralogia essencial composta por feldspato alcalino, quartzo, plagioclásio, anfibólio e biotita. Microscopicamente apresenta textura hipidiomorfa a xenomórfica inequigranular, com cristais variando de 1 a 7mm que é constituída além dos minerais essenciais por, opacos e acessórios (titanita, epidoto, zircão, apatita).

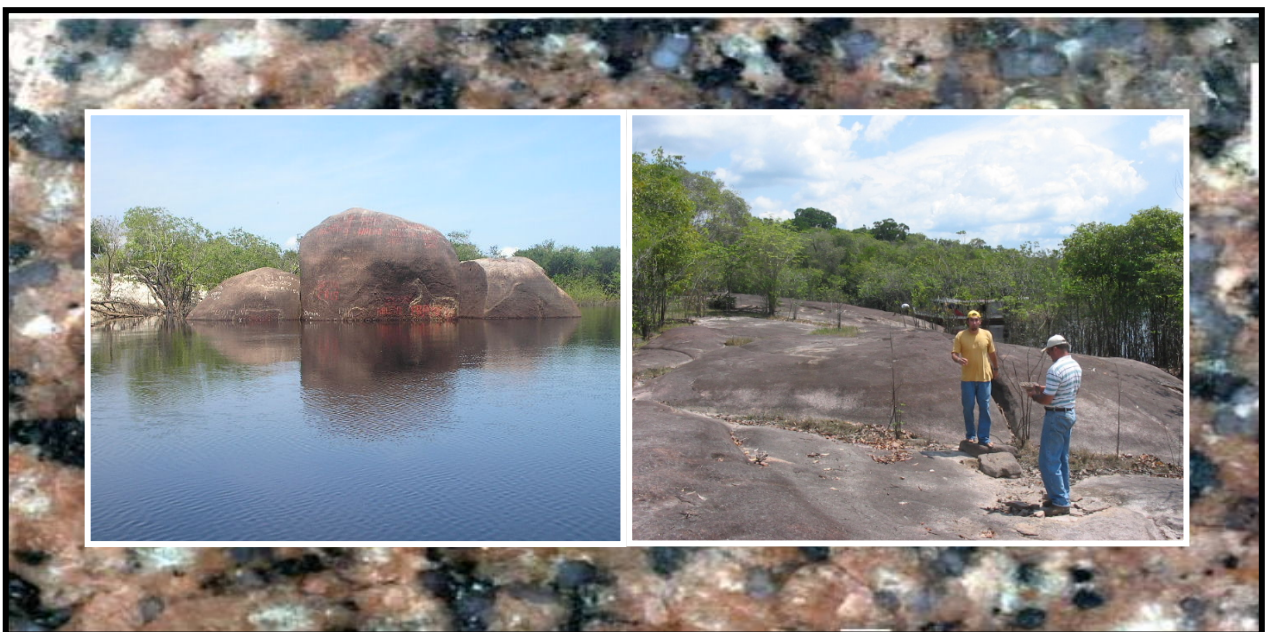


Figura 3.5 – a) Afloramento em forma de *boulders* – graníticos da Pedra do Gavião. b) Afloramento em forma de lajedos de rochas graníticas.

As amostras para caracterização tecnológica foram coletadas em uma pedreira de brita na região da Ponta do Gavião. (figura 3.6a e b).



Figura 3.6 – a) Quebra de blocos graníticos. b) Britas trituradas para destinação da construção civil.

- *Relação de contatos entre grãos*

A relação de contatos entre os minerais que compõem este granito apresenta o seu valor expresso em percentual correspondendo ao resultado do seu bom entrelaçamento e/ou engrenamento mineral. Os contatos côncavo-convexos ocorreram aproximadamente de 25-35%, os serrilhados 45-55% e os planos 10-20% respectivamente. Os valores mencionados tratam-se especialmente dos quartzo e feldspatos já que, os minerais densos (máficos) correspondem a um volume menos expressivo, apresentando portanto importância secundária se comparada nos minerais félsicos, ainda que seus contornos sejam dados como serrilhados.

- *Microfissuramento*

O granito Vermelho Moura exibe uma média de microfissuras que corresponde a cerca de 0,15 mm² indicando um baixo valor de microfissuramento e um bom desempenho estrutural. Elas estão distribuídas em: intragrão (intragranular) com 80% e intergrão (intergranular) com 20%.

O comprimento das microfissuras comumente é pequeno, com até 1mm, correspondendo nomeadamente às intragrãos e, de 1 a 3mm com tamanho relativamente médio correspondendo às intergrãos. Os valores citados são atribuídos essencialmente aos quartzos e feldspatos.

Entretanto observou-se que o quartzo é o mineral que apresenta maior quantidade de microfissuras (sem direção) seguido por feldspato alcalino (localmente com microfissuras preenchidas por quartzo) dando como resultado baixa-média comunicabilidade entre grãos.

- Composição mineralógica e alteração mineral

O Vermelho Moura corresponde a um biotita-hornblenda sienogranito do Complexo Jauaperi exibindo em sua composição: 54% de feldspato alcalino, 20,32% de quartzo, 17,24% de plagioclásio, 1,43% biotita, 6,03% de hornblenda, 0,16% de opacos e 0,82% de minerais acessórios (titanita, epidoto, zircão, apatita e clorita).

O **microclínio** possui dimensões de 1 a 7 mm, exibe hábito tabular e contorno subedral e típico maclamento em xadrez (albita-periclina). Ocorrem micropertitas (figura 3.7a) dos tipos “*spot*” e “*strings*” (Bard, 1986) e, por vezes, apresenta discreto zonamento composicional. Muitas vezes apresenta fraturas irregulares preenchidas por quartzo. Localmente observa-se, além do quartzo, inclusões de biotita e plagioclásio. O grau de alteração foi classificado entre médio à forte, ou seja, 40% dos cristais estão pouco alterados e, o restante encontra-se sericitizado.

O **quartzo** é anédrico a subédrico, variando de sub-milimétrico a 7mm, límpido, exibe extinção ondulante e está fortemente fraturado. Ele pode ser tanto encontrado como cristais anedrais isolados ou pode, por vezes, desenvolver agregados intersticiais de cristais em arranjo poligonal contornando os feldspatos (figura 3.7b).

O **plagioclásio** (oligoclásio – An_{16-20} determinado pelo método de Michel-Levy) mostra-se euédrico a subédrico, de tamanho 0,8 a 5,5mm, exibindo maclamento polissintético paralelo e geminação lei da albita (figura 3.7c). Entretanto sua ocorrência está nos interstícios dos cristais recristalizados e, por vezes se apresenta na forma de ripas. É comum se observar a saussuritização (médio-forte) nos plagioclásios.

Os cristais de **biotita** (1 a 4 mm) e **hornblenda** (0,8 a 2,6mm) são subédricos e, estão distribuídos de forma disseminada e/ou formando agregados intersticiais junto à trama quartzo-feldspática. A biotita exhibe birrefringência e pleocroísmo moderados, cor variando de castanho claro a marrom, enquanto que a hornblenda exhibe pleocroísmo com cor variando de castanho escuro a verde musgo e está pouco cloritizada. No entanto, ambas apresentam alteração de médio-forte (figura 3.7def).

Os **minerais acessórios** são, em geral, euédricos a subédricos e estão também distribuídos de forma disseminada junto à trama quartzo-feldspática e/ou associados aos agregados de biotita e hornblenda. Destacam-se os cristais de zircão que eventualmente desenvolvem halos pleocróicos quando inclusos, principalmente, em biotita.

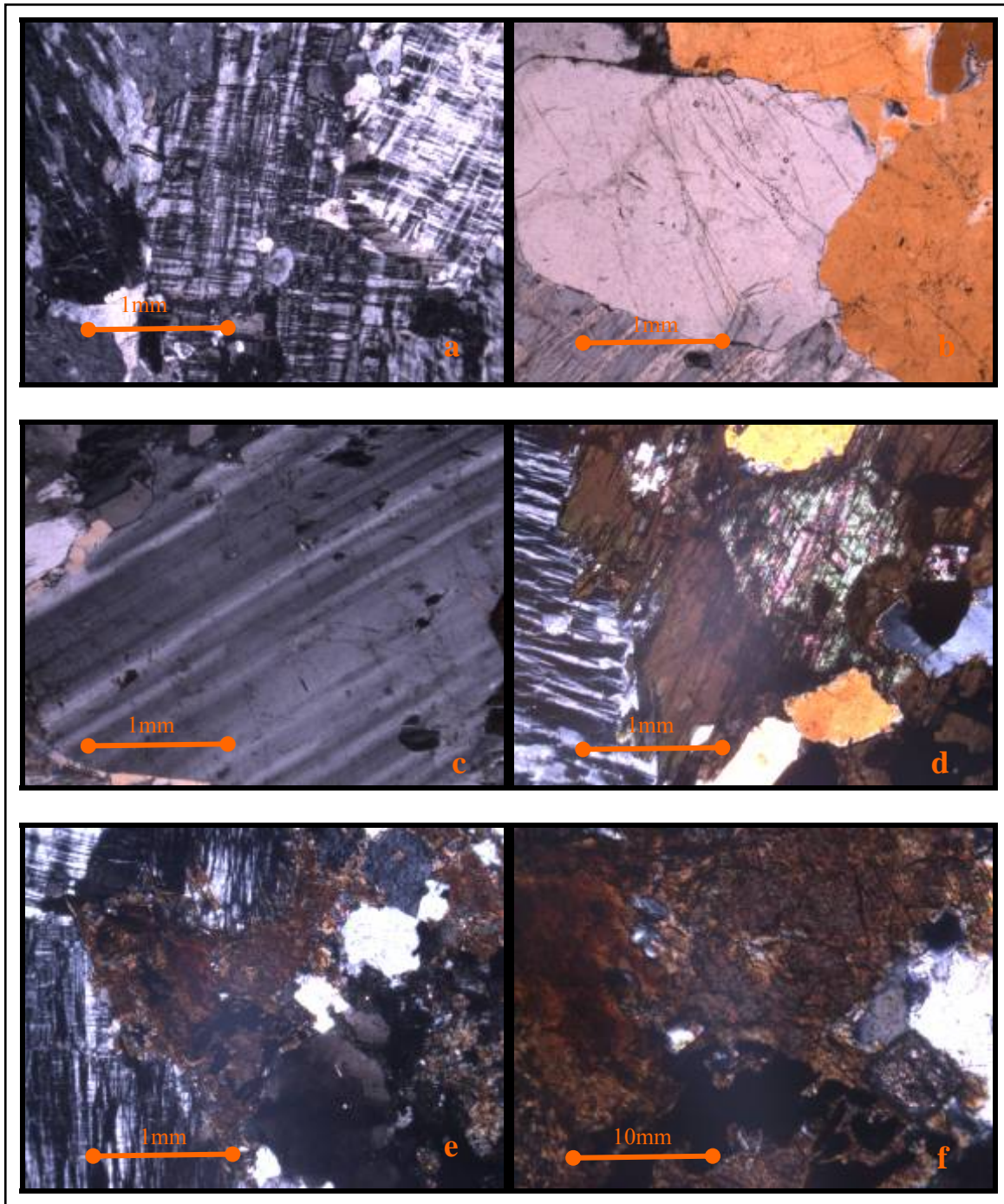


Figura 3.7 - Aspecto microtextural na objetiva 3,2x – a) Microclínio exibindo textura pertítica de tamanho 3mm (NC); b) Quartzo (2,8mm) microfissurado (NC; LN); c) Plagioclásio (3,8mm) com maclamento definido microfissurado (NC; LN); d) Biotita (3mm) alterada na trama quartzo feldspática e epidoto (NC); e) Biotita (1,3mm – à esquerda) com clorita na borda e opaco, e hornblenda (0,8mm – à direita) entre quartzo e feldspatos (NC); f) Idem foto anterior com aumento de 10x. A biotita é formada pela alteração da hornblenda (NC; A=10x).

Legenda: NC – Nicol cruzado; LN – Luz natural; A - Aumento.

3.1.3 – Abonari Vermelho Real (Biotita-hornblenda álcali-granito – Suíte Intrusiva Mapuera)

Trata-se de uma intrusão elíptica de comprimento superior a 25 km e comprimento inferior a 15 km, alongada na direção N80W (Figura 2.3). Este batólito define uma feição de relevo denominada Serra do Abonari onde as cotas chegam até 120 metros (figura 3.8a). O relevo escarpado facilita a abertura de cavas e frentes de lavra como as pedreiras de brita dos km 199 e 203 existentes na BR-174 onde foram coletadas as amostras para caracterização tecnológica (figura 3.8b).

Macroscopicamente se trata de uma rocha bastante semelhante ao granito Vermelho Moura, possui coloração vermelho acinzentado e textura fanerítica media a grossa do tipo inequigranular hipidiomórfica. É composta essencialmente por feldspato alcalino, quartzo, plagioclásio, hornblenda e biotita. São visíveis xenólitos centimétricos de rochas vulcânicas do Grupo Iricoumé (figura 3.9). Microscopicamente é leucocrática, apresentando textura hipidiomórfica a xenomórfica inequigranular, com cristais variando de sub-milimétricos até 8mm, tendo opacos, titanita, epidoto, zircão, apatita e clorita como as principais bases minerais acessórias.



Figura 3.8 – a) Batólito do Abonari – forma de relevo. b) Pedreira de brita do km 203.



Figura 3.9 – Xenólitos presentes na rocha do batólito Abonari.

- Relação de contatos entre grãos

A rocha apresentou um razoável entrelaçamento mineral em função de seu imbricamento e intercrescimento da mineralogia quartzo feldspática. Os contatos côncavo-convexos totalizaram cerca de 25-35%, os serrilhados 45-55% e os planos 15-25%. Os minerais máficos por atuarem em pequena quantidade na equivalência mineralógica a sua contribuição é insatisfatória, embora suas bordas e contorno irregulares foram observados como serrilhados.

- Microfissuramento

O microfissuramento observado na lâmina delgada correspondeu a cerca de 0,17/mm² (o maior valor das cinco amostras) no qual ainda sugere um valor razoavelmente pequeno de microfissuras (<0.4/mm² - Mattos 2005) e reflete também num razoável comportamento estrutural. Elas estão distribuídas em: intragrão com 94,1% e intergrão com 5,9% respectivamente.

Em relação ao tamanho das microfissuras no geral são curtas, com até 2mm de comprimento, atribuindo-se especificamente às das intragrãos e, o restante de 2 a 3mm, com tamanho médio, atribuindo-se às intergrãos. Esses valores correspondem basicamente ao quartzo e feldspato.

Foi observado algumas vezes que, o feldspato alcalino apresenta fissuras preenchidas por quartzo e clorita nos interstícios deste último (figura 3.10b). Ressalta-se que as microfissuras intergrãos normalmente ocorrem nos cristais de biotita e hornblenda (figura 3.10ef). No geral observou-se que as microfissuras exibem baixa comunicabilidade entre grãos e não apresentam orientação preferencial.

- Composição mineralógica e alteração mineral

O granito Abonari Vermelho Real é constituído por 66,02% de feldspato alcalino, 23,56% de quartzo azulado, 4,08% de biotita, 4,22% de hornblenda, de 0,37% plagioclásio, 0,82 de opacos além de , epidoto, zircão, apatita e clorita com 0,93% como minerais acessórios.

O **microclínio** exibe marcante geminação em grade (Tartan) e possui contornos subedrais, tamanho variando entre 1 a 8mm, com textura fortemente pertitzada do tipo fios e veios (figura 3.10a). Muitas vezes apresentam fraturas irregulares preenchidas por quartzo (figura 3.10b). São freqüentes as microinclusões de biotita, clorita e quartzo. A alteração dos cristais de feldspato foi classificada no geral como média.

O **quartzo** esta disperso por toda a seção delgada sob forma intersticial e anedral ou ainda parcialmente recristalizados formando agregados poligonais contornando os feldspatos (figura 3.10c). As dimensões variam de submilimétrico a 2,5mm. Frequentemente ocorre fraturado e com extinção ondulante nos interstícios do feldspato alcalino.

O **plagioclásio** varia de 1 a 4mm, ocorrendo com menos de 0,1%. Sua composição é oligoclásio (An_{18-20} – método Michel-Levy) e ocorre nos interstícios dos cristais recristalizados. A alteração foi classificada como média.

A **biotita** e a **hornblenda** ocorrem formando agregados disseminados e/ou intersticiais junto à trama quartzo-feldspática. A biotita ocorre como grãos anedrais a subedrais com

tamanho variando de 0,8 a 2,2mm, cor variando de marrom a verde claro e birrefringência moderada. A sua alteração é dada como forte, especialmente em função do processo de cloritização observado. A hornblenda por sua vez, frequentemente apresenta-se sob forma anedral e localmente eudral, possuindo de 0,3 a 1,9mm, cor verde claro a verde intenso e forte pleocroísmo (figura 3.10ef).

A **clorita** ocorre principalmente como produto da alteração da biotita e hornblenda (pouco ou parcialmente cloritizada), na forma de palhetas submilimétricas de até 1,5mm no interior e nas bordas dos referidos cristais. Ocorre também como palhetas entre os cristais de quartzo, feldspato e nas microfraturas.

Os minerais **opacos** estão presentes entre a maioria dos cristais. Já os minerais acessórios como titanita, apatita, epidoto e zircão apresentam-se como inclusos preferencialmente nas hornblendas, biotitas e feldspatos.

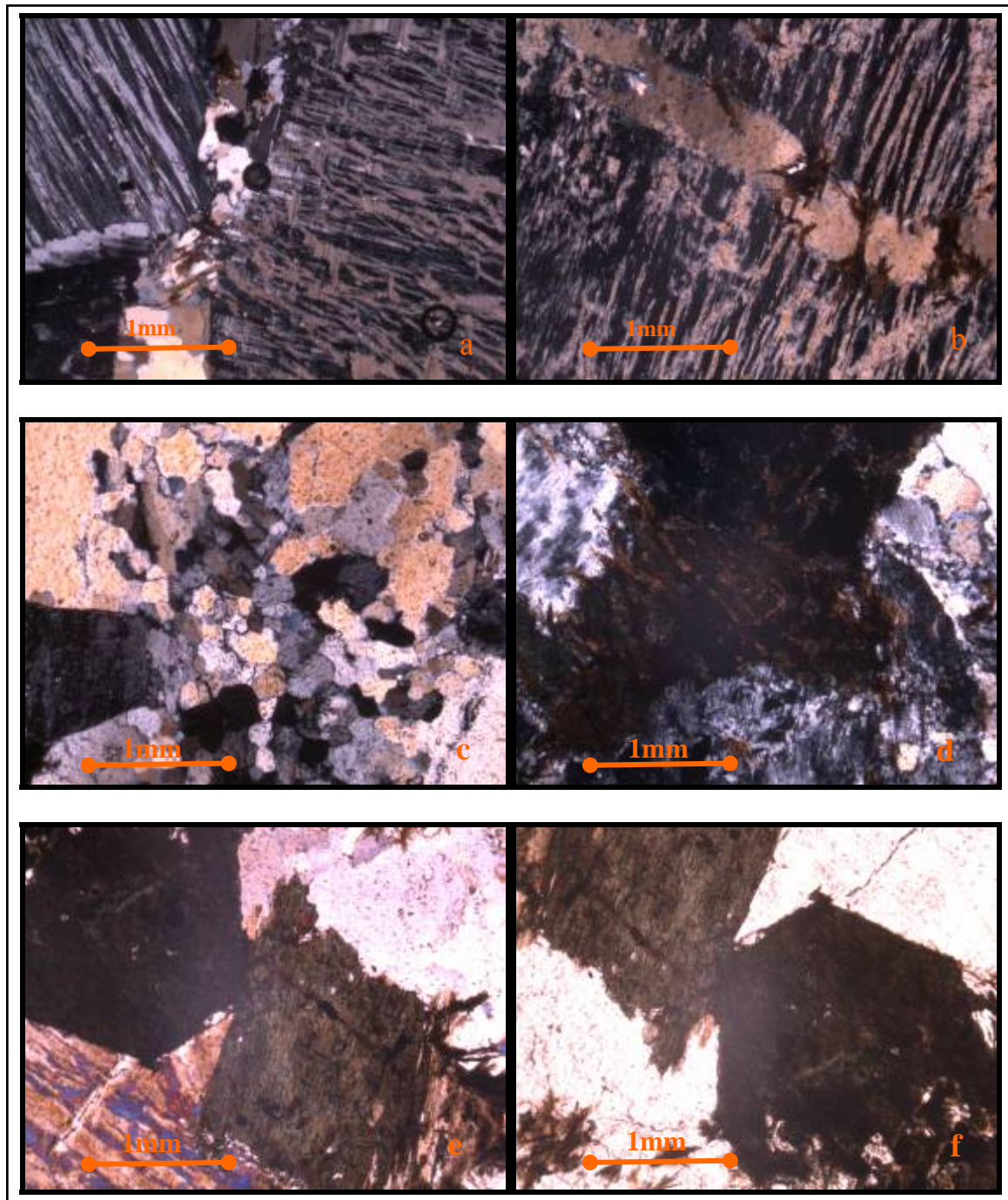


Figura 3.10 - Aspecto microtextural na objetiva 3,2x – a) Feldspato alcalino de tamanho 2,7 mm apresentando-se fortemente pertitizado (à direita) contornado por quartzo (NC); b) Feldspato alcalino (5,1mm) com fratura preenchida por quartzo e, nos interstícios do quartzo observa-se clorita (NC; LN); c)Quartzo exibindo textura poligonal (ND; LN); d) clorita nos interstícios da hornblenda na trama quartzo-feldspática (NC); e) Sessão basal da hornblenda (1,3mm) ao lado da biotita (1,2mm) exibindo microfissura intergrão de um cristal para o outro entre quartzo e feldspato (NC); f) Idem foto anterior (ND).

Legenda: NC – Nicol cruzado; ND – Nicol descruzado; LN – Luz natural.

3.1.4 – Granito Terra Preta Nobre (Biotita Sienogranito – Suíte Intrusiva Água Branca)

É uma intrusão alongada na direção N60W com 25 km de eixo maior, localizada na porção sul da área de Presidente Figueiredo (Figura 2.3; EC8). Está situada imediatamente a sul do Granito São Gabriel ocorrendo sob a forma de matacões métricos aflorantes em uma região de relevo mais aplainado (Figura 3.11).

Macroscopicamente é uma rocha de coloração cinza-esverdeada, granulação média-grossa e textura fanerítica predominantemente inequigranular hipidiomórfica. Os minerais visíveis são o feldspato potássico, quartzo, plagioclásio e biotita. Microscopicamente é uma rocha leucocrática de arranjo textural hipidiomórfico a xenomórfico inequigranular com os cristais variando de tamanho submilimétrico a 7mm. A associação mineral é composta por microclínio, quartzo, plagioclásio e biotita como minerais essenciais e apatita, titanita, epidoto, zircão, clorita e mica branca como minerais acessórios.



Figura 3.11 – Matacões aflorantes e subterrados.

- Relação de contatos entre grãos

A relação de contatos entre os minerais que compõem este granito apresenta o seu valor expresso em percentual correspondendo ao resultado do seu bom entrelaçamento e/ou engrenamento mineral. Os contatos côncavo-convexos representam aproximadamente 30-40%, os serrilhados 45-55% e os planos 15-20%. A estimativa mencionada refere-se especialmente ao quartzo e aos feldspatos, visto que, os minerais densos (máficos) correspondem à um número pequeno na distribuição mineralógica da rocha atribuindo assim uma insignificante contribuição, ainda que seus contornos no geral sejam dados como serrilhados.

- Microfissuramento

O granito Terra Preta Nobre exibe uma média de microfissuras que corresponde a cerca de 0,083/mm² no qual indica um valor muito baixo de microfissuramento, caracterizando-o como de bom desempenho estrutural. Elas estão distribuídas em: intragrão (intragranular) com 92,77% e intergrão (intergranular) com 7,23% .

O comprimento das microfissuras é pequeno, com até 1,5mm, correspondendo nomeadamente às intragrãos e, de 1 a 4mm, com tamanho relativamente médio, correspondendo às intergrãos. Os valores citados são atribuídos essencialmente ao quartzo e aos feldspatos.

O quartzo é o que possui maior constância de microfissuras intragrão sem direção e sem preenchimento de material. Entretanto, observou-se que as microfissuras intergrãos (sem direção) do quartzo e do feldspato alcalino (figura 3.12c) são preenchidas por prováveis argilominerais, resultando numa baixa comunicabilidade entre grãos.

- *Composição mineralógica e alteração mineral*

O granito Terra Preta Nobre é formado por 35,16% de feldspato (microclínio), 35,16% quartzo, 11,74% de plagioclásio, 13,55% de biotita, 1,52% de opacos, além de 2,87% de minerais acessórios como epidoto, apatita, titanita, zircão e clorita.

O **Feldspato** (microclínio) de tamanho submilimétrico a 7mm, encontra-se com geminação em xadrez (Tartan)(figura 3.12a), ocorrendo sericitizado e/ou com textura fortemente pertítica do tipo fios e manchas. No entanto, o processo de albitização é dado em função do grau de intensidade da pertitização. Localmente encontra-se zonado cujos limites são marcados pelas linhas de intercrescimento mineral (figura 3.12b). Ressalta-se sobretudo que o feldspato está subordinado à diferentes tipos e a grau de intensidade variados de sericitização. Comumente ocorre a inclusão dos cristais de plagioclásio e biotita. O grau de alteração é forte.

O **quartzo** tem dimensões submilimétricas a 4mm e estão distribuídos intertisticamente junto à trama feldspática, formando cristais anédricos a subédricos pouco fraturados e exibindo extinção ondulante. Localmente esses cristais mostram-se deformados e parcialmente recristalizados formando agregados de contornos suturados (denteados). São encontrados contornando cristais de feldspato e plagioclásio, ou preenchendo os interstícios da “trama” mineral.

O **plagioclásio** (oligoclásio An_{18-20} – Método Michel-Levy) de tamanho variando de 1 a 2,5mm se apresenta intensamente saussuritizado (figura 3.12ef), contendo inclusões de opacos, epidoto e mica branca. Localmente observa-se mineral zonado e textura mimerquítica sob a forma de gotas. A sua alteração é classificada como forte.

A **biotita** possui tamanho de 0,2 a 2,2 mm, cor verde escuro, e apresenta-se anedral com agulhas de rutilo. Suas bordas no geral são corroídas e parcialmente cloritizadas (figura

3.12d). Ocorre normalmente como inclusões na trama quartzo-feldspática. Seu grau de alteração é forte e contém inclusões de apatita, epidoto e clorita.

Os **minerais acessórios** são representados por epidoto (no geral como produto de alteração do feldspato); opacos (euédricos); apatita (visualizada como pequeno cristal na forma basal hexagonal), clorita (associada à biotita) e titanita (entre quartzo e feldspato).

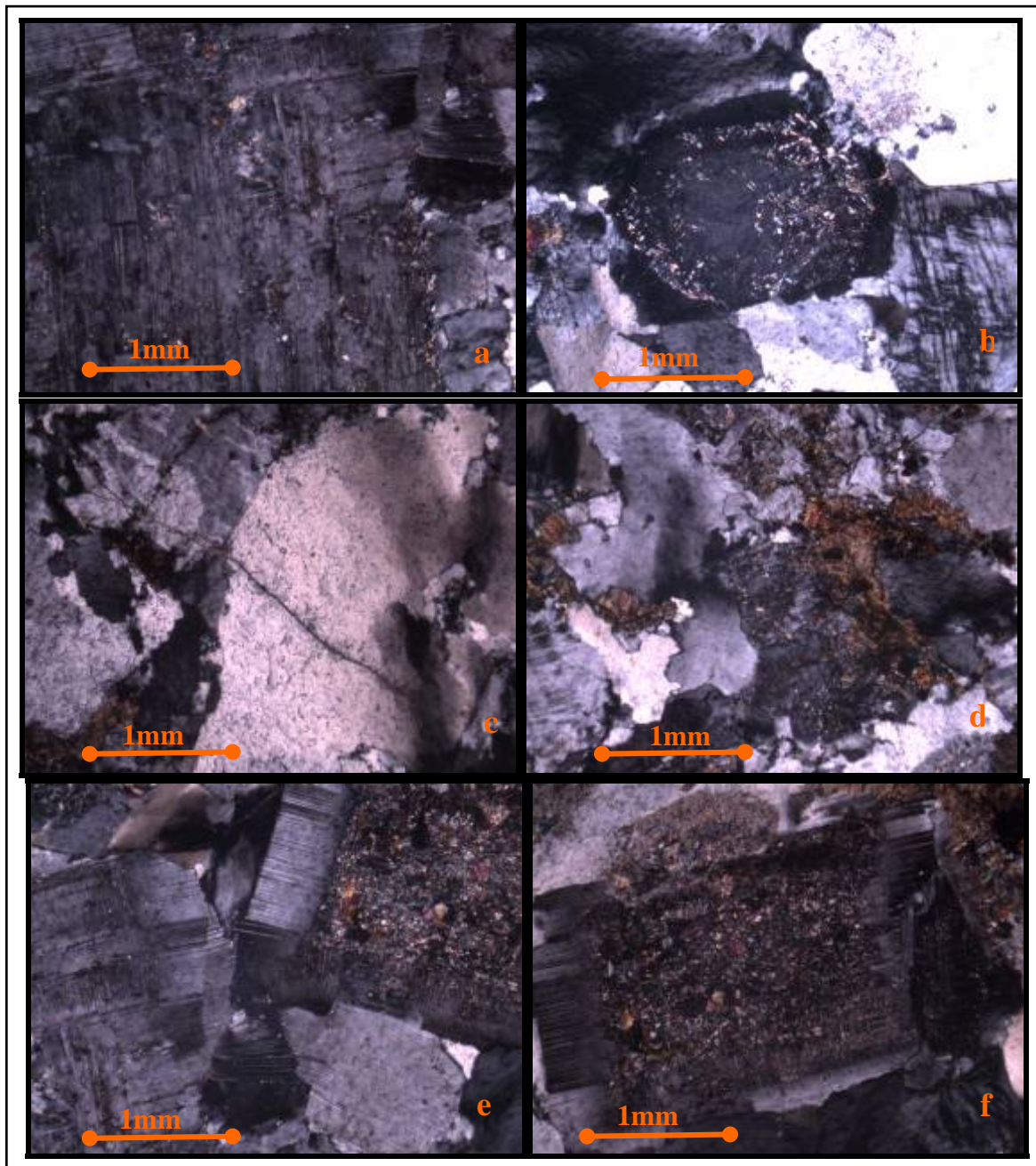


Figura 3.12 - Aspecto microtextural na objetiva 3,2x – a) Microclínio sericitizado de tamanho 2,4mm apresentando geminação Tartan (NC); b) Cristal de feldspato (1,6mm) zonado e sericitizado (NC); c) Quartzo exibindo microfissura intergrãos com o feldspato (NC; LN); d) Biotita fortemente alterada com bordas corroídas entre quartzo e feldspato (NC); e) Microclínio (2,4mm) pouco alterado ao lado de um cristal de plagioclásio (1,8mm) fortemente saussuritizado (NC); f) Plagioclásio (1,8mm) com parte central saussuritizado na trama quartzo feldspática (NC; LN).

Legenda: NC – Nicol cruzado; LN – Luz natural

3.1.5 – Rosa Esperança (Biotita Álcali-granito – Suíte Intrusiva Água Branca)

O Granito Rosa Esperança trata-se de uma variação faciológica da suíte Água Branca (figura 2.3; EC9). Nos trabalhos de campo este granito ocorre a cerca de 5 km a leste do ponto EC-8 (Granito Terra Preta Nobre) na forma de matacões e blocos rolados aflorantes ou subterrados (figura 3.13)

É uma rocha de coloração rosa avermelhado, granulação fina a média e textura fanerítica inequigranular hipidiomórfica. A mineralogia essencial é composta basicamente de feldspato alcalino, quartzo, plagioclásio e biotita. Microscopicamente é hololeucocrática apresentando textura hipidiomórfica a xenomórfica inequigranular, cujo os tamanhos dos cristais variam de submilimétrico a 3,5mm estando sua associação mineral formada por de feldspato alcalino (microclínio), quartzo, plagioclásio e biotita além de opacos, epidoto, zircão e apatita como acessórios.



Figura 3.13– Matacões e blocos rolados aflorantes e subterrados.

- Relação de contatos entre grãos

O relacionamento entre grãos minerais constituintes da rocha apresenta o seu valor quantitativo em percentual como produto do seu bom entrelaçamento e/ou engrenamento mineral. Os contatos côncavo-convexos apresentaram cerca de 35-45%, os serrilhados 45-55% e os planos 10-20%. Esses valores sobretudo referem-se à trama “quartzo-feldspática” pois, como os minerais máficos ocorrem em baixas quantidades, sua contribuição fica subordinada, embora suas bordas e contorno irregulares foram observados como serrilhados (figura 3.14c).

- Microfissuramento

As microfissuras presentes na seção delgada correspondem a aproximadamente 0,08/mm² no qual sugere um valor extremamente baixo de microfissuramento e conseqüentemente um bom comportamento estrutural. Elas estão distribuídas em: intragrão com 87,5% e intergrão com 12,5% .

O tamanho das microfissuras no geral é bem curto, com até 0,8mm de comprimento, atribuindo-se especificamente às das intragrãos e, o restante, de 1,7mm, atribuindo-se à intergrãos (figura 3.14ab). Esses valores correspondem basicamente ao quartzo e aos feldspatos.

O quartzo foi o mineral que mais apresentou microfissuras intragrãos sem direção definida e sem preenchimento material, seguido do feldspato.

Contudo percebeu-se que as microfissuras exibem pouquíssima comunicabilidade entre grãos e não apresentam direção definida.

- Composição mineralógica e alteração mineral

A associação mineral do granito Rosa Esperança é formada por 64,23% de feldspato (microclínio), 28,17% de quartzo, 4,45% de plagioclásio, 1,52% de biotita, 0,11% de opacos e

cerca de 1,52% de epidoto, zircão e apatita como acessórios. A rocha exibe ainda feições de recristalização dinâmica e/ou deformações ressaltadas por diminutos agregados quartzo-feldspáticos distribuídos de modo intersticial (figura 3.14c).

O **microclínio** apresenta-se subeudral a anedral, cujo tamanho varia de 1 a 3,5mm aproximadamente. Mostra-se sericitizado e com textura pertítica, contendo microfalhas que ocasionaram o deslocando dos planos de maclamento. Apresenta levemente um processo de caulinição que indica o alto grau de alteração. Os minerais inclusos são quartzo, biotita e argilominerais.

O **quartzo** possui dimensões de submilimétrica a 2,8mm, ocorrendo individualmente ou em agregados cristalinos, com extinção ondulante e contornos anedrais (figura 3.14c). Encontra-se moderadamente fraturado, recristalizado, formando neste caso contatos suturado. Com frequência apresenta-se nos interstícios dos feldspatos.

A **biotita** exibe tamanho de 0,6 a 0,9mm, em baixíssima quantidade, com hábito lamelar, e cor acastanhada. Seu grau de alteração é forte.

O **plagioclásio** (oligoclásio An_{18-20} – Método Michel-Levy) possui tamanho variando de 0,6 a 1,2mm e se apresenta intensamente saussuritizado, em alguns casos é perceptível a presença de argilominerais e/ou micas branca. Grau de alteração forte (figura 3.14d).

Os cristais de epidoto, apatita e zircão foram visualizados associados à biotita, e os opacos ocorrem distribuídos de forma irregular.

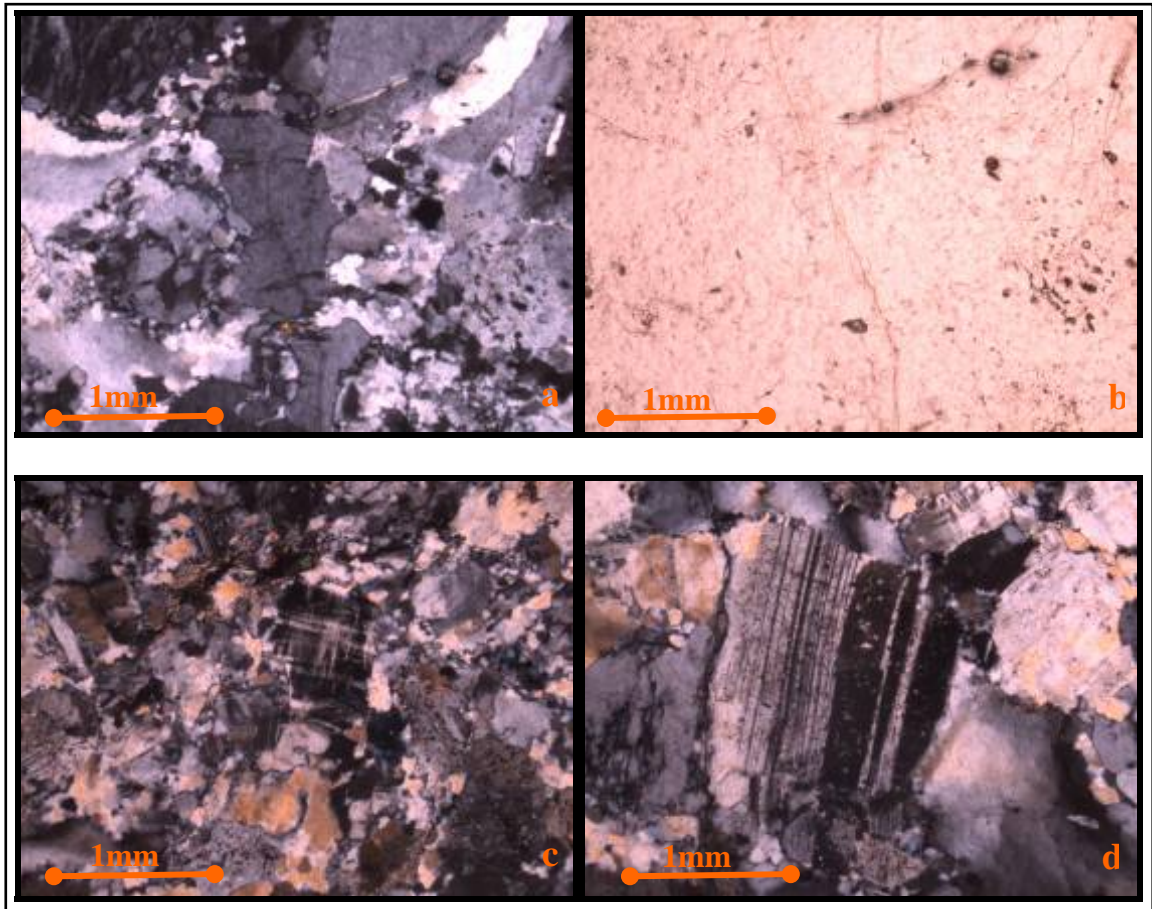


Figura 3.14 - Aspecto microtextural na objetiva 3,2x – a) Feldspato alcalino de tamanho 0,8mm com microfissura intergrão e intragrão fazendo contatos serrilhado com quartzo (NC); b) Idem foto anterior (ND); c) Textura básica apresentando-se de fina à média e exibindo microclínio (0,5mm) ao centro pouco alterado em relação aos demais feldspatos. Observa-se também que os contatos no geral são intensamente serrilhados (NC; LN); d) Plagioclásio (1 mm) com suas maclas alteradas (saussuritizadas) com presença de micas branca (NC; LN);

Legenda: NC – Nicol cruzado; ND – Nicol descruzado; LN – Luz natural.

Capítulo 4 Caracterização Tecnológica

4.0 Ensaio de Caracterização Tecnológica

O estudo de caracterização tecnológica visa determinar as características físico-mecânicas dos cinco tipos de corpos graníticos das suítes intrusivas Água Branca e Mapuera e granito Pedra do Gavião – Complexo Jauaperi com aplicabilidade para rochas ornamentais. Tem por objetivo avaliar o comportamento destes materiais frente às condições ambientais e solicitações a que estão sujeitas quando aplicados em obras civis, tais como atrito, impacto, umidade, esforços fletores e compressivos, como índices técnicos indicativos para o melhor emprego e aproveitamento ornamental.

Os estudos desenvolvidos neste capítulo enfocam basicamente as propriedades tecnológicas obtidas através de análises e ensaios executados segundo procedimentos laboratoriais, normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. As análises e ensaios realizados foram comparados aos parâmetros sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), os quais são utilizados para a caracterização tecnológica de maciços graníticos no Brasil.

Todos os ensaios a seguir foram realizados, no Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial – NUTEC, no estado do Ceará em Fortaleza.

4.1 Índices Físicos

Estes testes, com registro de norma NBR 12.766 pela ABNT (1992), compreendem as características físicas de uma rocha, tais como, porosidade aparente, densidade (massa específica aparente e seca) e absorção d'água.

A porosidade é uma propriedade da rocha que representa o volume percentual de vazios contidos na amostra. Trata-se de uma das características mais importantes para o

estudo do comportamento de uma determinada rocha em relação aos processos de alteração induzidos por fatores ambientais (climáticos, biológicos, condições de uso, poluição, etc.), uma vez que eles se desenvolvem, especialmente, a partir do espaço poroso na superfície da mesma. No entanto, em se tratando do estudo da alterabilidade dos materiais rochosos, a porosidade aberta tem importância relevante, pois se refere aos espaços que se comunicam e que, portanto, condicionam a sua capacidade de armazenamento e circulação de fluidos (Aires-Barros 1991 e Esbert *et al.* 1997, *in* Torquato 2004).

A realização do ensaio envolveu, inicialmente, dez corpos de prova de formatos cúbicos, medindo aproximadamente 5 cm de arestas e pesando cerca de 300g para cada tipo de granito. Os corpos de prova foram colocados em uma estufa a 60°C durante 24 horas e, em seguida, foram pesados individualmente, onde foi atribuído valores de peso seco, ou seja, **massa A**. O segundo passo se tratou de saturar por imersão os corpos de prova em água destilada por mais 24 horas (Figura 4.1), sendo posteriormente retirados e enxugados as arestas com um pano absorvente para serem pesados ao ar, obtendo-se o peso saturado como **massa B**. Em seguida os corpos de prova foram pesados novamente, agora na condição submersa em um recipiente com água potável, suspenso por um fio de nylon preso sobre a balança (Figura 4.2), que mediu o peso submerso, ou seja, **massa C**.



Figura 4.1 – Imersão dos corpos de prova para obtenção do peso saturado ou massa B.



Figura 4.2 – Balança para medição do corpo de prova submerso ou massa C.

Os cálculos foram procedidos individualmente para cada corpo de prova, estabelecendo assim as seguintes expressões:

1. Porosidade $\leftrightarrow [(B - A) / (B - C)] \times 100$ (%)

2. Densidade:

- Massa Específica Aparente (seca) $\leftrightarrow A / (B - C)$ (Kg/m³)
- Massa Específica Aparente (saturada) $\leftrightarrow B / (B - C)$ (Kg/m³)

3. Absorção da Água $\leftrightarrow [(B - A) / A] \times 100$ (%)

Esses cálculos são utilizados como ferramentas que estabelecem valores das microdescontinuidades presentes na rocha, os quais podem ser interpretados de acordo com o que segue:

- Alta porosidade – Baixa resistência da rocha;
- Alta densidade – Alta resistência mecânica;
- Alta absorção – baixa durabilidade e redução da resistência mecânica com o tempo;
- Aumento da Saturação – menor resistência mecânica.

O resultado das amostras apresentou um laudo positivo nos testes em todos os parâmetros e de acordo com os valores limítrofes especificado pela norma ASTM (1992) e sugeridos por Frazão e Farjallat (1995). Esses resultados indicam então que, os materiais apresentam considerável resistência físico-mecânica e durabilidade (tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Valores médios da porosidade (P); Densidade Aparente Seca (g/cm³) – DASC; Densidade Aparente Saturada (g/cm³) – DAST; absorção (A); n.e – não especificado.

Granitos/Siglas	P (%)	DASC	DAST	A (%)
Castanhal Clássico – CC	0,29	2,71	2,72	0,10
Vermelho Moura – VM	0,68	2,65	2,66	0,25
Abonari Vermelho Real – AR	0,46	2,64	2,65	0,18
Terra Preta Nobre – TPN	0,35	2,67	2,68	0,13
Rosa Esperança – RE	0,87	2,62	2,63	0,35

Valores estabelecidos pela norma ASTM (1992) e sugeridos por Frazão e Farjallat (1995)				
ASTM – C615-92	n.e.	≥2.560 Kg/m ³	n.e.	≤ 0,4
Frazão e Farjallat(1995)	≤ 1	≥2.550 Kg/m ³	n.e.	≤ 0,4

Microfissuramento / mm ²	Granitos	CC	VM	AR	TPN	RE
	Total	0,12	0,15	0,17	0,083	0,08
	Intragrão (%)	83,3	80	94,1	92,77	87,5
	Intergrão (%)	16,7	20	5,9	7,23	12,5

Tabela 4.2 – Total e porcentagem das microfissuras. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.

Segundo Mattos *et al.*(2003), *in* Mattos (2005), as diretrizes que condicionam os valores da densidade aparente encontrados nos granitos desta pesquisa estão associados diretamente com o arranjo e composição mineral e mais necessariamente com o potencial de minerais densos, ou melhor, máficos.

O granito Castanhal Clássico foi o que apresentou maior massa específica (densidade aparente), sugerindo que, sua alta resistência mecânica se destaca em relação aos demais (Figura 4.3). Esse granito possui mineralogia rica em minerais máficos tais como biotita, hornblenda, titanita e, podem ser usados tanto como revestimento externo como materiais ornamentais. No entanto, todos os outros granitos também superam os valores estabelecidos pela norma nesta análise.

O granito Rosa Esperança apresentou menor densidade devido a sua baixa concentração de minerais máficos e maior quantidade de minerais félsicos (menos densos) como; feldspato, plagioclásio e quartzo e minerais de alteração (argilominerais, micas brancas, epidoto). Esse granito também apresentou maior porosidade e absorção significando que, de acordo com a petrografia, reflete a presença de minerais fortemente alterados e

microestruturas que facilitaram a percolação de líquidos e proporcionaram um aumento da porosidade.

Comparativamente observa-se que o granito Castanhal Clássico apresenta minerais susceptíveis à alteração e uma densidade maior, produto da sua composição mineralógica, a qual favorece valores menores da porosidade e absorção em relação ao Rosa Esperança e a todos os outros granitos (tabela 4.1). Como característica básica, esses maciços podem ser indicados como tampa de mesas, revestimentos internos, objetos e utensílios ornamentais dentre outros.

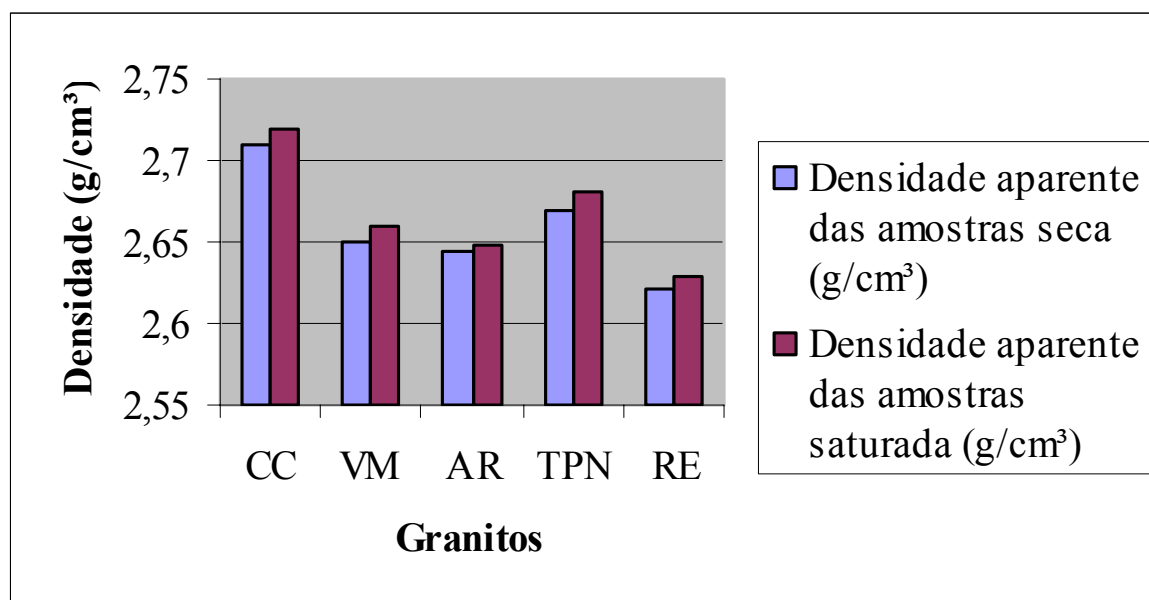


Figura 4.3 – Comparação da densidade aparente das amostras no estado seco e saturado em água destilada.

O granito **Terra Preta Nobre** apresenta valores sistemáticos em relação ao granito Castanhal Clássicos, como visto na figura 4.3 acima, apresentando uma segunda ordem de valores decrescente de densidade e, conseqüentemente, na segunda ordem de valores crescente de porosidade e absorção. O granito Terra Preta Nobre também pode receber a mesma indicação de uso atribuída para o granito Castanhal Clássico.

De acordo com Torquato (2004) é possível afirmar que, a alteração de minerais, as microfissuras presentes e a granulação (textura) de uma rocha são os principais fatores que condicionam os índices de porosidade e absorção aparentes.

Os granitos vermelhos **Moura** e **Abonari Real** além de apresentarem similaridade na textura e na cor apresentam também similaridade na composição mineralógica e, em função desta última, valores próximos de densidade (figura 4.3). Entretanto esta semelhança composicional não se aplica aos valores de porosidade e absorção aparente. De fato, como foi mencionado antes, isso deve estar diretamente relacionado com a quantidade de microfissuras (intragrão e intergrão) e alteração de minerais que cada um exibe.

Embora o Abonari Real apresente maior quantidade de microfissuras/mm² de todos os granitos com uma média de 0,17 (quadro 4.2), ele apresenta menor porosidade e absorção em relação ao Moura. Essa característica é atribuída ao grau de alteração médio nos feldspatos e maior porcentagem de “microfissuramento intragrão”(94,1%), ou seja, apenas 5,9% se tratam de intergrãos estabelecendo então baixa comunicabilidade entre eles. Já o granito Moura exibe valores contrários, apesar do seu menor índice de microfissuras comparado ao Abonari Real (tabela 4.2), ele apresenta um grau de alteração forte nos feldspatos além de exibir cerca de 20% de microfissuramento em intergrãos ocasionando a um significativo aumento de sua porosidade a qual foi subordinada a alta comunicabilidade dos mesmos (figura 4.4). Podem ser indicados preferencialmente para revestimentos internos dentre outros levando em consideração o cuidado com ambientes de excessiva umidade. Como o granito Abonari Real exibe um menor índice de porosidade e absorção eles podem ser indicados para o uso de uma forma mais ampla e variada de rochas ornamentais.

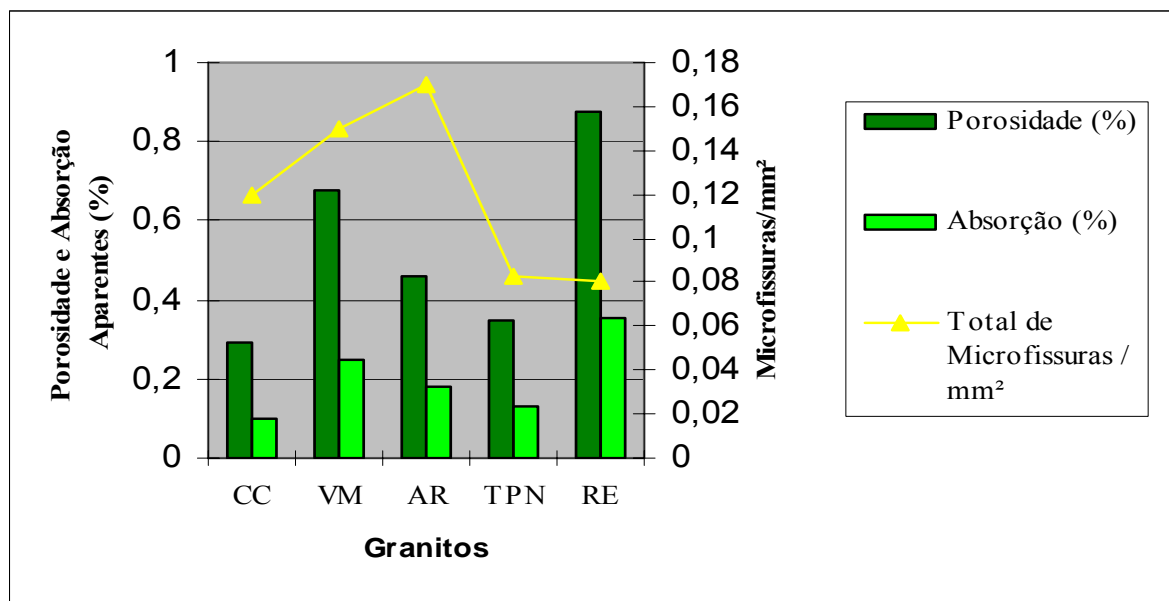


Figura 4.4 – Relação da Porosidade e Absorção Aparente com o grau de Microfissuramento.

4.2 Resistência à Compressão Uniaxial Simples

Estes testes, com registro de norma NBR 12767 pela ABNT (1992), tem como objetivo determinar a tensão de ruptura sofrida por um material rochoso quando submetido a esforços mecânicos compressivos, ou seja, a determinação da disposição que uma rocha pode apresentar para suportar forças de compressão. Essa tensão varia de acordo com a composição mineralógica, textura, estado de alteração e porosidade do material.

Esse tipo de ensaio é fundamental da determinação da qualidade pétrea, permitindo avaliar a competência física da rocha. Isso de fato, exhibe como referencia a serem utilizados como função estrutural em uma obra, ou seja, colunas de sustentação, pedestais de obras além de revestimento, pois elevados valores de resistência à compressão implicam, de uma maneira geral, em materiais de alta resistência mecânica (Vidal *et al.* 1999 *in* Torquato 2004), em valores baixos de porosidade e altos de resistência à flexão (Ciccu *et al* 1996 *in* Mattos 2005).

De acordo com Figueiredo (1997, *in* Torquato 2004), vários fatores de uma rocha são essenciais para definir sua resistência mecânica tais como: porosidade, alteração e dimensão dos minerais, microfissuramento, estrutura e anisotropia (fenômeno pelo qual as propriedades

físicas de um mineral variam conforme a direção). Além da resistência estar sempre condicionada a esses fatores, ela pode variar de acordo com a direção da força de compressão pois, a resistência na direção perpendicular à da estrutura de uma rocha é em geral maior que na direção paralela (Figura 4.5).

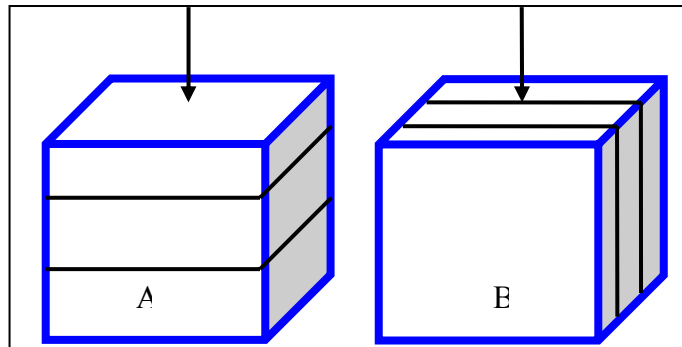


Figura 4.5 – Bloco A – Força da resistência à compressão uniaxial na direção perpendicular aos planos de anisotropia. Bloco B – Força da resistência paralela aos planos de anisotropia.

O grau de alteração e a porosidade das rochas são fatores, bem como já citados, que influenciam diretamente os seus respectivos valores à sua resistência. Quanto mais alteradas estiverem as rochas, , mais elas tendem a oferecer uma resistência menor aos esforços compressivos do que as rochas sãs e, a porosidade exibe uma influencia similar, porém de um modo contrário, ou seja, quanto maior o número de poros menor será a resistência da rocha aos esforços.

As microfissuras ou microfraturas também exercem um papel de caráter extremamente importante, pois mantém uma forte ligação com a resistência física da rocha, isto é, quanto maior forem o número de microfraturas presentes no material rochoso menor será a sua resistência mecânica. A presença desse tipo de microestrutura está normalmente relacionada a alguns processos de alteração de blocos e/ou a determinadas situações geológicas bem específicas onde a rocha é sujeita a esforços (Torquato 2004) .

Para a realização deste ensaio é necessário seguir o procedimento de acordo com a norma. Foram então utilizados 3 (três) cubos de prova de arestas de 7 cm de forma exata e

paralela para que a força atuante seja distribuída uniformemente. Os corpos de prova foram submetidos à lavagem e à estufa a 60°C por 24 horas. Logo depois foram tiradas as medidas com um paquímetro – de curso máximo de 150 mm e resolução de 0,01mm – a_1 e a_2 (dimensões do topo e base do cubo) e calculada a área da face do corpo ($a_1 \times a_2$). Em seguida os corpos de prova foram prensados em um aparelho de prensa hidráulica de marca EMIC com acionamento elétrico e com capacidade de 200 toneladas (figura 4.6). A carga aplicada foi de modo contínuo e progressivo, a uma taxa de aproximadamente 0,6 MPa/s até que ocorra a ruptura do cubo (figura 4.7).



Figura 4. 6 – Prensa



Figura 4.7 – Bloco fraturado (após o teste)

Fez-se a leitura da carga máxima no momento em que o bloco foi rompido e, então calculou-se a tensão de ruptura através da fórmula:

$$\sigma_c = P / A \rightarrow (\text{MPa})$$

Onde:

σ_c = Tensão de ruptura em MPa;

P = Força máxima de ruptura em KN;

A = Área da base do corpo de prova em m².

Os resultados obtidos para esse ensaio e para a velocidade de pulso ultra-sônico dos cinco granitos analisados estão inseridos no quadro tabela 4.3. Como se segue, os resultados das amostras mencionados na tabela apresentam aproximadamente de 20 a 153% acima dos valores limítrofes sugeridos por Frazão & Farjallat (1995). Estes mesmo, também apresentaram valores superiores em relação aos padrões da norma ASTM (1992) com apenas a exceção do granito Vermelho Moura.

Ensaio	CC	VM	AR	TPN	RE	Valores estabelecidos pela norma	
						ASTM (1992)	Frazão & Farjallat (1995)
Resistência à compressão uniaxial (MPa)	209,9	120,5	164,9	151,6	253,8	≥ 131,0	≥ 100,0
Velocidade de pulso ultra-sônico (m/s)	-	5474	6123	6594	-	n.e	≥ 4.000

Tabela 4.3 – Resultado dos ensaios de resistência à compressão e velocidade de ondas ultra-sônica.

O teste de resistência à compressão foi correlacionado com o teste da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas com o objetivo de comparar os valores inerentes e compreender melhor seus resultados. Ressalta-se que não foi possível obter todos os valores dos cinco granitos deste ultimo teste devido às dificuldades de remoção e transporte dos blocos rochosos durante o campo pratico da pesquisa. Os ensaios estão representados no gráfico seguinte (figura 4.8).

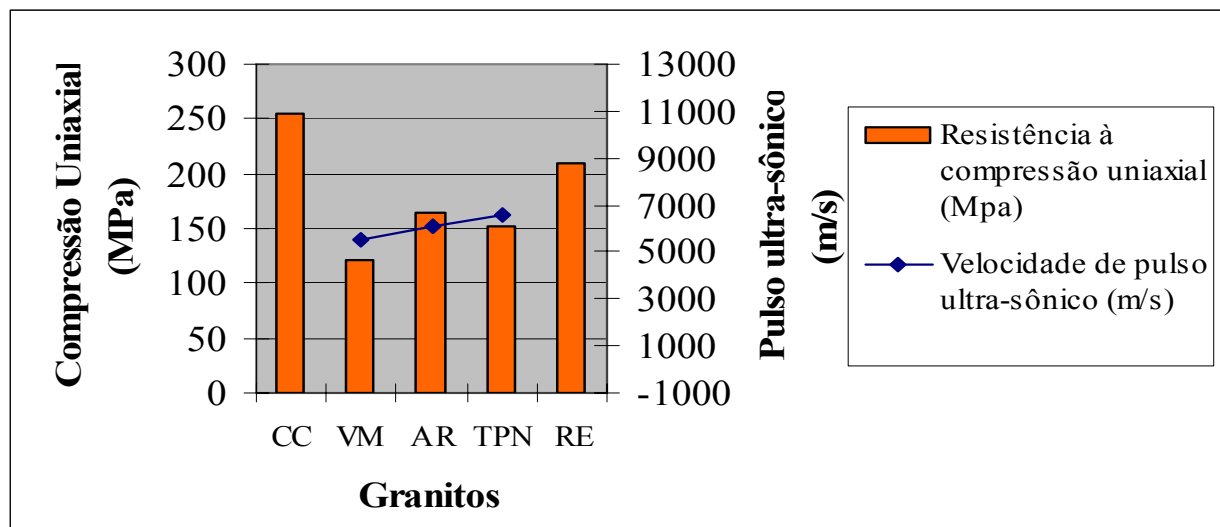


Figura 4.8 – Relação dos resultados de compressão uniaxial com o pulso ultra-sônico dos granitos estudados.

Os resultados exibidos pelo gráfico acima (figura 4.3) mostra que, o granito Castanhhal Clássico e conseqüentemente o granito Rosa Esperança são os mais resistentes aos esforços físicos de compressão em comparação aos demais granitos.

O alto valor do teste à compressão apresentado pelo **Castanhhal Clássico** (253,8 MPa) está diretamente relacionado com os seus baixos índices de porosidade e absorção. Observa-se também que esse número pode estar conexo ao bom entrelaçamento mineralógico composicional, pois de acordo com a análise dos contatos minerais entre feldspatos e quartzos, cerca de 70% são de contatos côncavo-convexo e serrilhados.

O segundo maior valor do teste para o granito **Rosa Esperança** (209,9 MPa) deve-se possivelmente à sua textura inequigranular de granulação “fina”, uma vez que, alguns autores sugere que o fato condiciona a rocha para uma maior resistência aos esforços mecânicos da compressão. Apesar deste granito exibir valores de maior porosidade e absorção, como visto anteriormente, apenas cerca de 12,5% se tratam de microfissuras intergãos, o que favoreceu o desempenho da resistência da rocha ao teste. Ressalta-se ainda que, o granito Rosa Esperança

apresenta um bom engrenamento pois, aproximadamente 80% dos contatos minerais são côncavo-convexo e serrilhado.

De acordo com Mattos (2005), vários fatores podem ser correlacionados na análise do desempenho da propagação de ondas ultra-sônicas como; índice de porosidade e absorção, grau de alteração, microfissuramento, textura, granulação e entrelaçamento mineral.

Os granitos **Abonari Vermelho Real** e **Terra Preta Nobre** apresentam valores próximos de resistência à compressão. A sua semelhança deve-se a pequena quantidade de microfissuramento intergrãos que exibem, visto que, o primeiro granito apresenta apenas 5,9% e o segundo 7,23% respectivamente. A maior velocidade de ondas ultra-sônica encontrada dentre os três granitos foi no granito Terra Preta Nobre e, isso deve-se ao seu alto valor de densidade que no caso facilitou a propagação das mesmas. O granito Abonari Vermelho Real por sua vez, o seu valor de velocidade de ondas possivelmente deve estar associado ao seu médio índice de porosidade e absorção.

O granito **Vermelho Moura** apresentou o menor valor de resistência à compressão e menor valor de velocidade de ondas ultra-sônicas. Entretanto o primeiro teste está diretamente relacionados com o alto índices de porosidade e absorção, descontinuidades como clivagens e planos de maclamentos, além de exibir 20% de alto valor de microfissuras intergrão, o que comprometeu a resistência da rocha aos esforços mecânicos. A sua menor velocidade de onda pode estar associado ao seu menor índice de densidade e alto grau de alterabilidade nos feldspatos e plagioclásios, causando anisotropia e conseqüentemente diminuindo a velocidade das mesmas.

Contudo os cinco tipos de granitos analisados nessa pesquisa demonstram que, todos foram aprovados acima do limite determinado pela norma nacional no ensaio de resistência à compressão. No entanto podemos deste modo indicá-los de forma correta e adequada. Os granitos Castanhal Clássico e o Rosa Esperança podem serem empregados com função de

sustentação e deve-se ter cautela em relação aos demais granitos por apresentarem os menores valores ao teste.

4.3 Resistência à Flexão

Este teste, com registro de norma NBR 12763 pela ABNT (1992), prescreve o método para determinar a tensão de ruptura à tração na flexão de rochas, ou seja, analisar a resistência da rocha no momento em que é submetida à esforços fletores até que a ruptura incida. A importância desse ensaio é que se adquire referência da própria competência física do material rochoso e que a mesma está subordinada a microfissuras e alteração mineral.

Na execução deste ensaio foram utilizados de 3 (três) corpos de prova prismáticos de dimensões de 20x10x5 cm. Na primeira fase os corpos de prova foram lavados e colocados na estufa por 24 horas, sendo posteriormente levados a um equipamento semelhante ao que foi utilizado para a determinação da resistência a compressão, diferenciando apenas por uma ferramenta acoplada à máquina (figura 4.9).

A ruptura do corpo de prova ocorre quando o mesmo está assentado entre 2 (dois) cutelos inferiores e 1 (um) superior central, submetendo-se a tensão do cutelo superior de modo lento e progressivo a aproximadamente 4.450 N/min (figura 4.9). Após a ruptura do corpo é feita a leitura do valor máximo no qual o corpo foi rompido (figura 4.10). Os resultados são obtidos a partir da fórmula da tensão de ruptura a seguir:

$$\sigma_1 = 3PL / 2bd^2$$

Onde:

σ_1 = Tensão de ruptura (MPa);

P = Força de ruptura em KN;

L = Distância entre os cutelos inferiores em M;

b = Largura do corpo de prova em M;

d = Altura do corpo de prova em M.

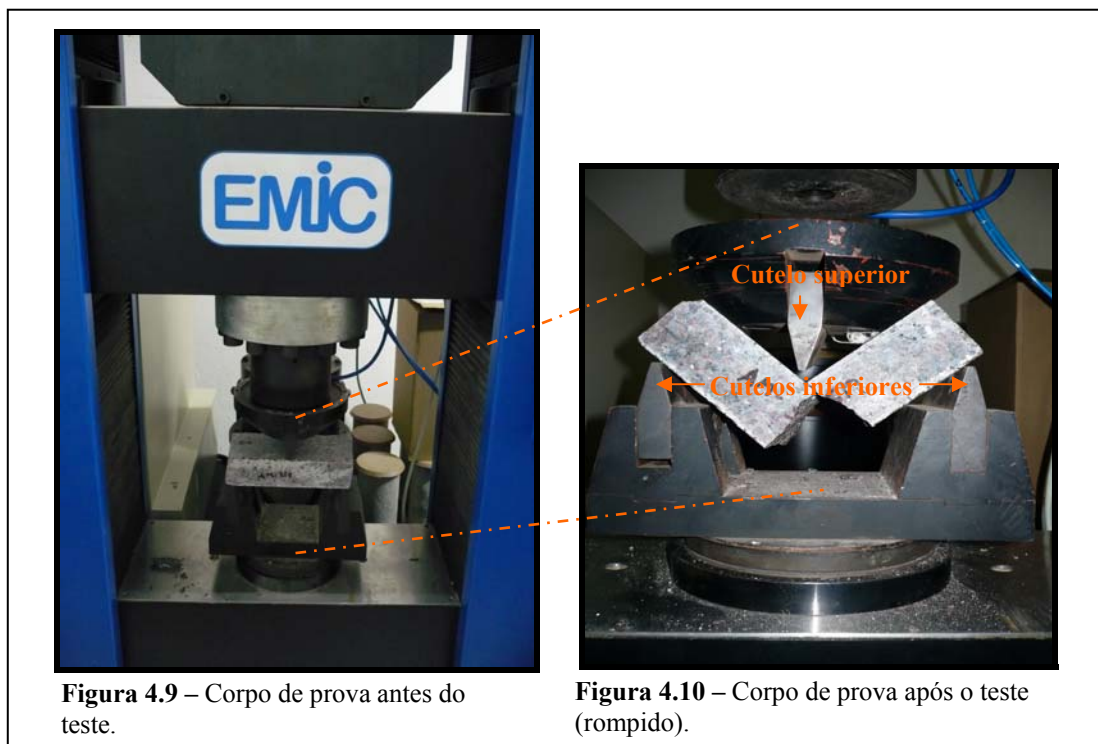


Figura 4.9 – Corpo de prova antes do teste.

Figura 4.10 – Corpo de prova após o teste (rompido).

A granulação de uma rocha é um fator que pode influenciar consideravelmente na resistência à flexão pois, quanto maior a granulação menor será a resistência e, conseqüentemente, aumentará os problemas intrínsecos à fixação das placas (Torquato 2004).

Este ensaio foi correlacionado com o ensaio de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas com o intuito de compreender melhor o comportamento de 3 (três) dos 5 (cinco) granitos analisados (figura 4.11). Cabe ressaltar que não foi possível realizar o teste de resistência à flexão com o Castanhal Clássico e Rosa Esperança pelo mesmo motivo do ensaio anterior, ou seja, dificuldade de remoção e transporte dos blocos pétreos.

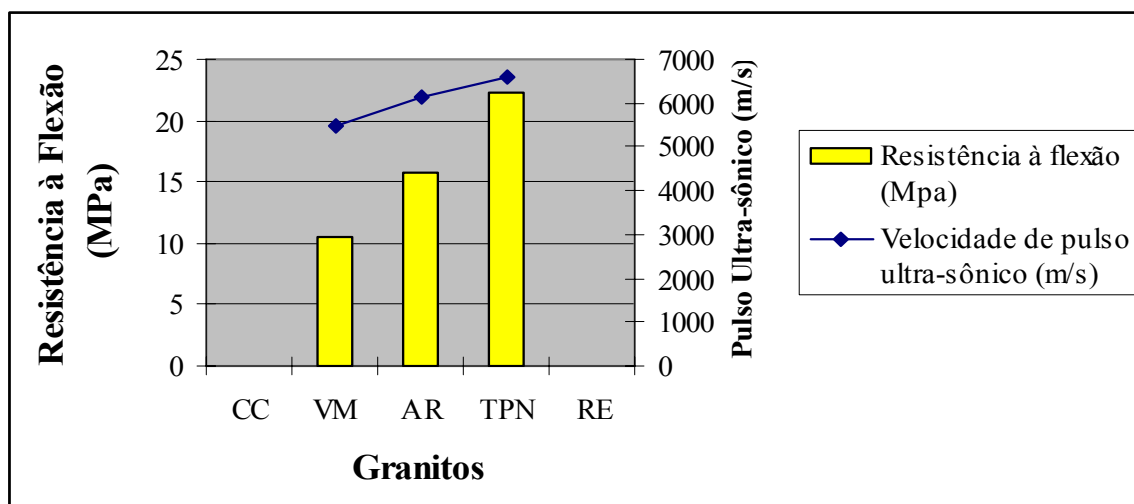


Figura 4.11 – Relação dos resultados de resistência à flexão com a velocidade de pulsos ultra-sônico de 3 (três) dos 5 (cinco) granitos estudados. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.

O teste de flexão realizado sob 3 pontos (figura 4.10) nos três granitos analisados, apresentou o resultado entre 5 a 123% acima do valor mínimo exigido pela norma brasileira (tabela 4.4). De acordo com o gráfico ilustrado (figura 4.11), os granitos vermelhos apresentaram uma resistência menor aos esforços fletores do que o granito Terra Preta Nobre e, este por sua vez, revelou um valor exorbitante em relação ao Vermelho Moura. Entretanto ressalta-se ainda que, a velocidade de pulso ultra-sônico comprova precisamente o resultado de flexão exibindo de forma crescente e sistemática (da esquerda para a direita) em todos os respectivos valores das amostras.

Ensaio	CC	VM	AR	TPN	RE	Valores estabelecidos pela norma	
						ASTM (1992)	Frazão & Farjallat (1995)
Resistência à flexão (MPa)	-	10,5	15,8	22,3	-	≥ 10,34	≥ 10
Velocidade de pulso ultra-sônico (m/s)	-	5474	6123	6594	-	n.e	≥ 4.000

Tabela 4.4 – Resultado dos ensaios de resistência à flexão e velocidade de ondas ultra-sônica. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.

O granito **Vermelho Moura** foi o que apresentou a menor resistência e menor velocidade de ondas, as quais podem estar diretamente ligadas a vários fatores tais como: baixa densidade, alta porosidade e absorção, menor resistência à compressão, alto índice de microfissuramento e processos de alteração mineral, tipo a sericitização nos plagioclásios.

O granito **Terra Preta Nobre** exibiu um valor muito elevado e, por isso, é provável que esse ensaio deva-se ao seu bom engrenamento mineral. No entanto, como foi visto nos ensaios passados, é possível afirmar que, o mesmo tenha uma associação direta com a densidade, além do baixo valor de porosidade e absorção e baixo índice de microfissuramento.

Já o granito **Abonari Vermelho Real** mostra-se como intermediário pois, apesar de apresentar um textura inequigranular grossa, revelou uma resistência à compressão relativamente boa, com baixa porosidade e absorção. Outro fator que contribuiu também para uma resistência à flexão considerável foi a pequena proporção de alteração das biotitas e feldspatos.

De modo geral todos os três granitos analisados possuem competência física para exploração, especialmente o Terra Preta Nobre, sob o ponto de vista de seu dimensionamento das placas e em revestimentos externos. Recomenda-se apenas cuidados com as espessuras mínimas na indicação do Vermelho Moura para a sua utilização, a qual fica relativamente limitado quando o emprego for de fachadas exteriores que dependem de forças externas tais como chuva, sol, etc.

4.4 Desgaste Amsler

Este teste, com registro de norma NBR 12042 pela ABNT (1992), consiste na determinação do desgaste por abrasão de rochas. Trata-se de um parâmetro de referência às

rochas quando empregada como piso em ambiente de grande circulação populacional tipo: calçadões, shopping center, estações de metrô, aeroportos, entre outros.

Para a realização deste ensaio foram utilizados 2 corpos de provas com dimensões de, aproximadamente 7x7x3 cm e material abrasivo, ou seja, areia quartzosa nº 50 com grãos de 0,3mm. Na primeira fase foram tomadas as medidas iniciais nas quatro faces laterais dos corpos de provas através de um relógio medidor (figura 4.12). Logo em seguida os corpos foram levados à máquina Amsler e fixados nas bases acopladas a mesma, no qual os mantém em contato com o abrasivo (areia) e girando em torno de seu eixo (figura 4.13). Esse processo quantifica o desgaste dos corpos de prova através do atrito entre sua superfície de uso e a areia quando completam 1000 metros equivalente a 500 voltas no anel de ferro da máquina (figura 4.14).



Figura 4.12 – Medidas tiradas dos corpos de prova no relógio medidor



Figura 4.13 – Máquina Amsler



Figura 4.14 – Desgaste abrasivo de 2 corpos de prova

Após os corpos de prova completarem a primeira etapa de rotação, isto é, 250 voltas equivalentes a 500 metros tiraram-se novas medidas. Em seguida eles são submetidos novamente a segunda etapa de rotação por mais 500 metros com a finalidade de obter-se novas medidas.

Os cálculos para cada tablete de amostra são:

$$d = a - b$$

$$e = a - c$$

a = Altura inicial média das 4 faces (mm);

b = Altura média das 4 faces (mm) – para 500 m;

c = Altura média das 4 faces (mm) – para 1000 m;

d = Desgaste médio após 500 m;

e = Desgaste médio após 1000 m.

Um fator importante para este ensaio é o percentual elevado em quartzo de uma rocha (mineral de maior dureza presente nas rochas analisadas), o qual apresentará uma resistência maior a este tipo de esforço mecânico. No entanto, os resultados dos testes de desgaste realizado nos granitos, foram relacionados com o índice de quartzo de cada amostra com o objetivo de compreender mais claramente sua resistência (figura 4.15).

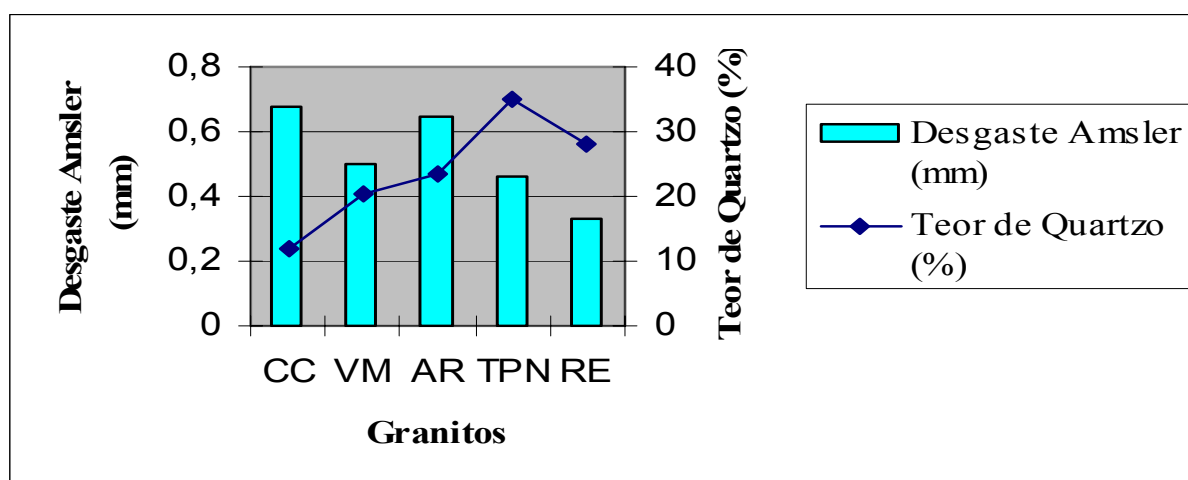


Figura 4.15– Relação dos resultados de desgaste amsler com o teor de quartzo nos granitos estudados. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança

Os valores obtidos nos resultados do desgaste abrasivo mostram que, todos os granitos estão dentro do limite máximo exigidos pela norma nacional e sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) como mostra abaixo (tabela 4.5).

Tabela 4.5 – Resultado do ensaio de Desgaste Amsler e Quantidade de Quartzo em cada amostra. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança

Ensaio	CC	VM	AR	TPN	RE	Valores estabelecidos pela norma	
						ASTM (1992)	Frazão & Farjallat (1995)
Desgaste Amsler (mm)	0,68	0,5	0,65	0,46	0,33	n.e	≤1,0
Teor de Quartzo (%)	12,06	20,32	23,56	35,17	28,17		

O granito **Castanhal Clássico** apresentou o maior desgaste por abrasão confirmado por apresentar também o menor índice de quartzo. É possível afirmar que isso de fato deve-se também a alta porcentagem de feldspato encontrado na rocha, exibindo 66.6%, o que implica de forma direta e inerente exatamente porque o mineral tem uma dureza inferior ao quartzo. Outro fator que contribuiu foi a textura grossa da rocha, exibindo plagioclásios com granulação de até 15 mm o que justifica mais ainda o desgaste da rocha.

O granito **Rosa Esperança** se mostrou o melhor para esse ensaio, pois ofereceu o menor desgaste comprovado pelo segundo maior índice de quartzo em relação aos outros granitos. Embora a rocha exiba alterações nos principais minerais presentes (feldspato, quartzo, plagioclásio e biotita) ela apresenta uma granulometria fina (minerais de até 3.5mm) e conseqüentemente uma maior coesão refletida pelo bom engrenamento mineral.

Os granitos **Vermelho Moura** e **Terra Preta Nobre** exibem valores de desgaste relativamente próximos. No primeiro granito, o seu desgaste deve estar associado às alterações dos feldspatos, além de uma textura que vai de média a grossa dando minerais com granulação de até 7mm. O segundo por sua vez apresentar alto teor de quartzo mas, apresenta também minerais alterados como feldspatos e biotitas cloritizadas e, uma textura relativamente grossa com minerais de também até 7mm.

O granito **Abonari Vermelho Real** representa o segundo maior desgaste do gráfico (figura 4.15), apesar de exibir também o terceiro maior teor de quartzo. O seu desgaste pode estar atribuído a alta porcentagem de feldspatos poucos alterados, oferecendo 57% presentes

na rocha e, alta alteração nas biotitas. Ele também apresenta uma textura grossa com minerais de até 8mm o que explicar mais ainda o seu alto valor de desgaste.

Quanto aos resultados dos ensaios de uma maneira geral, todos os granitos estão qualificados para serem indicados ao uso em pisos em áreas de tráfego intenso. Entretanto, o Castanhal Clássico recebe limitação. Este por último deve receber cuidados na indicação para esse “tipo de ambiente” devido ao seu valor de desgaste muito alto. No entanto ele pode ser destinado à diversas finalidades.

4.5 Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas

Este teste está regulamentado pela norma americana ASTM D2845 (1990), o qual consiste na medição da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas sem destruir os corpos de prova. Trata-se especificamente de buscar informações de algumas propriedades particulares da rocha tais como: grau de fissuração, coesão e/ou engrenação mineral, grau de alteração, porosidade dentre outras descontinuidades e, tem como finalidade a qualificação e avaliação do comportamento físico- mecânico das rochas.

Segundo Mouza *et al.* (1983, *in* Torquato 2004) interpretam que as técnicas de ondas ultra-sons aplicam-se para o estudo da anisotropia, propriedades mecânicas e estrutura do meio, uma vez que se obtém as medidas das velocidades de um material pétreo, se estabelece um meio de investigação complementar aos ensaios de resistência mecânica tendo a vantagem de não destruir os corpos de prova. De acordo com Dessandier (1995 *in* Torquato 2004) a velocidade de propagação dos ultra-sons em materiais rochosos com baixa porosidade, é controlada pela velocidade intrínseca da propagação dessas ondas nos dos minerais constituintes. Contudo em rochas com elevado índice de porosidade esta velocidade é condicionada pela propagação morfológica dos vazios.

O aparelho utilizado para obter as medidas das velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (P – primárias) foi do tipo *Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Test* – PUNDIT, equipado com dois transdutores de 54 KHz, duas possibilidades de medidas, de 0,1 a 999,9 μ s e de 1 a 9999,9 μ s em unidades de 1 μ s. Os disparos são automáticos através de um oscilador de cristal de 10 MHz cuja precisão é da ordem de $\pm 0,1\mu$ s (figura 4.16). Sua velocidade é medida com base no tempo que uma onda sonora leva para percorrer o espaço entre um emissor (E) e um receptor (R).

Na concretização desse ensaio foram necessários 4 corpos de prova de cada granito, com dimensões de 10x10x5 cm aproximadamente.



Depois dos corpos serem limpos foi colocado os transdutores (emissor e receptor) nas arestas do corpo de prova (figura 4.16). De um lado se teve o emissor e, na face oposta e paralela o receptor. O Calculo da velocidade do material se adquire a partir da fórmula:

$$V = e / t$$

onde:

V = velocidade do pulso ultra-sônico (m/s);

e = espaço – comprimento do corpo de prova (m);

t = tempo que a onda leva para percorrer o corpo de prova (μ s).

Os resultados das velocidades foram comparados com o ensaio da porosidade (figura 4.17), pois a velocidade tem uma relação estreita com os poros da rocha (Torquato 2004). Os resultados dos outros testes aqui realizados estão expostos na tabela 4.6 para que sejam visualizados de forma clara refletidos graficamente com as velocidades das ondas (figura 4.18).

Ensaio	CC	VM	AR	TPN	RE	Valores estabelecidos pela norma	
						ASTM (1992)	Frazão & Farjallat (1995)
Porosidade (%)	0,29	0,68	0,46	0,35	0,87	n.e	≤ 1
Resistência à flexão (MPa)	-	10,5	15,8	22,3	-	$\geq 10,34$	≥ 10
Velocidade de pulso ultra-sônico (m/s)	-	5474	6123	6594	-	n.e	≥ 4.000
Resistência à compressão uniaxial (MPa)	209,9	120,5	164,9	151,6	253,8	$\geq 131,0$	$\geq 100,0$

Tabela 4.6 – Resultado dos ensaios de porosidade, resistência à flexão, velocidade de ondas ultra-sônica e resistência à compressão. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.

A relação entre os valores inerentes estabelecidos para porosidade e velocidade dos pulsos pode ser analisada na figura 4.17. Foi constatado que, quanto maior é o índice de porosidade na rocha menor tende ser a velocidade, visto que, o aumento dos vazios muitas vezes preenchidos por ar, acarreta na diminuição da mesma, pois ela é menor no ar do que nos minerais constituintes das rochas (Torquato 2004).

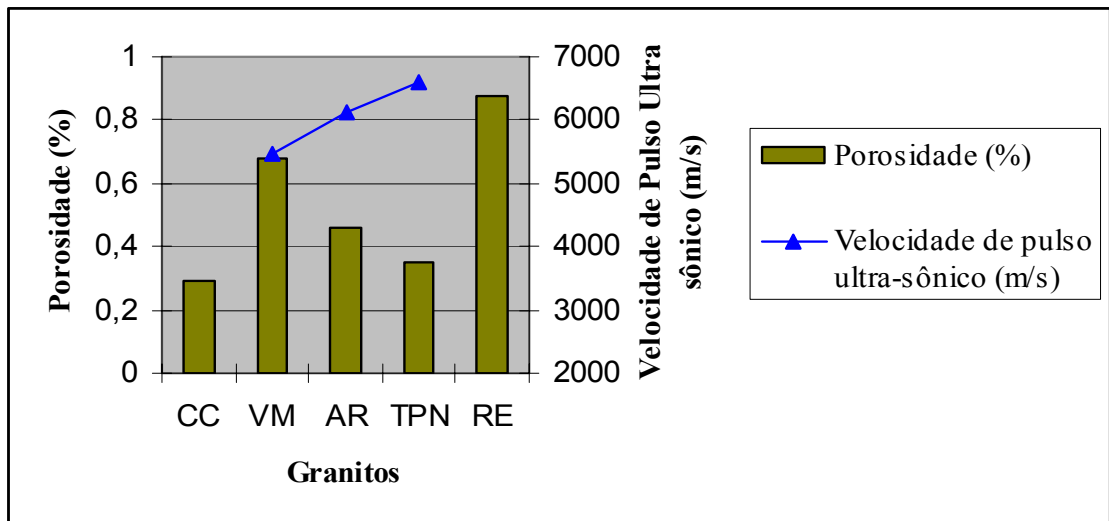


Figura 4.17 – Relação dos resultados da porosidade com a velocidade de pulsos ultra-sônico de 3 (três) dos 5 (cinco) granitos estudados. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.

O granito **Vermelho Moura** apresentou maior índice de porosidade e, correlacionado com a velocidade verifica-se a própria confirmação. O processo ocorre de forma decrescente e sistemática para os granitos **Abonari Vermelho Real** e **Terra Preta Nobre**.

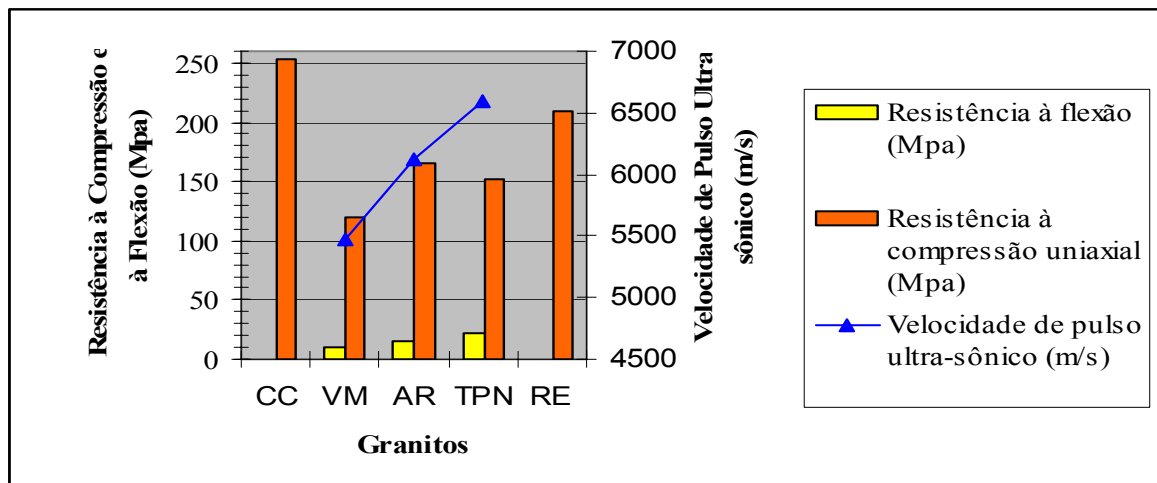


Figura 4.18 – Relação dos resultados de resistência à compressão e à flexão com a velocidade de pulsos ultra-sônico de 3 (três) dos 5 (cinco) granitos estudados. Legenda: CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança.

O gráfico da figura 4.18 esclarece e confirma mais ainda todo o perfil do gráfico anterior da figura 4.17. Ele se trata da representação de alguns ensaios como foi desenvolvido e discutido nos itens anteriores.

De maneira geral todas as rochas graníticas estão dentro dos limites sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) demonstrando ter um uma boa integridade física, viabilizando seu uso em diversas finalidades. Entretanto aconselhar-se apenas ter mais cautela na recomendação para o granito Vermelho Moura.

Capítulo 5
Conclusão

O desenvolvimento desta pesquisa permitiu integrar as informações geológicas disponíveis (petrografia e geoquímica) com as informações da caracterização tecnológicas aqui obtidas para os maciços graníticos encontrados em parte do Município de Presidente Figueiredo e na localidade de Moura, utilizando ensaios técnicos normalizados pela norma nacional brasileira (ABNT).

A análise petrográfica, a qual constitui o primeiro passo na caracterização dos maciços graníticos, permitiu compreender a trama mineral, suas zonas de fraqueza e grau de empacotamento, utilizados como parâmetros iniciais na definição do comportamento físico-mecânico das rochas. Nesse sentido podemos concluir que:

- Os granitos Castanhal Clássico, Terra Preta Nobre e Rosa Esperança correspondem à mesma suíte intrusiva Água Branca (hospedeira destas litologias), embora se diferencie por apresentarem variações faciológicas exibindo colorações diferentes, tais como rosa acinzentado, cinza esverdeado e rosa avermelhado e granulações que variam de média-grossa a média-fina respectivamente. Ambos apresentam composição mineralógica, composta por: feldspato, quartzo, plagioclásio, biotita, opacos e acessórios e, somente no Castanhal Clássico foi encontrado anfibólio.
- O granito Abonari Vermelho Real, pertencente ao batólito Abonari da suíte intrusiva Mapuera, exibe uma admirável semelhança em vários aspectos com o Vermelho Moura, que é proveniente de outra intrusão (Pedra do Gavião) no Complexo Jauaperi. Conforme já mencionado, ambos possuem composição mineralógica, composta por: feldspato, quartzo, plagioclásio, biotita, hornblenda, opacos e acessórios; granulação: média-grossa e coloração vermelho acinzentado.
- Do ponto de vista microscópico observou-se que as alterações mineralógicas podem ser avaliadas de moderadas a altas, evidenciadas pela presença de minerais argilosos – processo de

sericitização e caulinição, derivados dos feldspatos bem como os processos de cloritização nas biotitas.

- Os minerais alterados, solúveis ou friáveis quando encontrados, podem comprometer bastante as propriedades físico-mecânicas das rochas, diminuindo a sua durabilidade e brilho, assim como o aumento dos índices de porosidade e absorção d'água restringem extremamente o seu bom emprego, fato que não ocasionou o comprometimento aos litótipos da área estudada.

Já os ensaios tecnológicos aplicados aos maciços graníticos nos permitem concluir que:

- O granito Castanhal Clássico foi o que apresentou maior densidade aparente, menor porosidade e absorção, que indica alta resistência mecânica e alta durabilidade da rocha em relação aos demais maciços. O Terra Preta Nobre também apresentou bons resultados e se propõe como o segundo candidato aos mesmos testes. Como o Rosa Esperança foi o que exibiu os resultados menos favoráveis dos cinco granitos em função da sua alteração, pequena quantidade de minerais máficos e alta porosidade e absorção, deve-se ter o cuidado com a indicação para revestimento “externo e ambientes onde há contato direto com líquidos” (água). Os demais granitos podem ser recomendados às diversas finalidades.
- No ensaio de resistência à compressão os cinco granitos analisados demonstram que, todos foram aprovados acima do limite determinado pela norma nacional (ABNT). Como o Castanhal Clássico e o Rosa Esperança exibiram resultados extraordinários eles podem ser empregados com mais finalidades e até mesmo como peças de sustentação do que os demais granitos com menores valores ao teste.
- O ensaio de flexão foi realizado somente em 3 litótipos (Vermelho Moura, Abonari Vermelho real e Terra Preta Nobre). Entretanto os três granitos analisados possuem competência física para exploração e emprego, especialmente o Terra Preta Nobre, em relação à espessura das placas (fachadas) e em revestimentos externos. Recomenda-se apenas cuidados na indicação do

Vermelho Moura com as espessuras mínimas de placas pois, este fica relativamente limitado quando o emprego for de fachadas exteriores que dependem de forças externas como, por exemplo, a ação do vento.

- Em relação ao ensaio de desgaste Amsler, todos os cinco granitos estão qualificados para serem indicados ao uso de pisos em áreas de tráfego intenso (metrô, aeroporto e etc.) e, somente o Castanhal Clássico recebe pequena limitação. Este por último deve receber cuidados na indicação para esse “tipo de ambiente” devido ao seu valor de desgaste relativamente alto (em comparação aos outros litótipos). No entanto ele pode ser destinado à diversas finalidades.
- O teste da velocidade de ondas ultra-sônicas foi realizado somente em 3 litótipos (Vermelho Moura, Abonari Vermelho real e Terra Preta Nobre) e concluiu-se que as três rochas graníticas demonstraram ter uma boa integridade física e podem ser destinadas ao uso em diversas finalidades. Entretanto aconselhar-se apenas ter mais cautela na recomendação para o Vermelho Moura por apresentar baixo valor ao teste.

De uma maneira geral, todos os maciços graníticos estão dentro e acima dos limites das normas: americana ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e nacional brasileira (ABNT), sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), conforme demonstrado na tabela 5.1.

As perspectivas para uma futura exploração e melhor uso das rochas aqui estudadas são extremamente favoráveis, uma vez que, além da alta qualidade e beleza que os granitos apresentam, a rodovia BR 174 dá fácil acesso para os granitos de Presidente Figueiredo, e em relação aos granitos de Moura o acesso é facilitado pela hidrovia do Rio Negro.

Granitos	CC	VM	AR	TPN	RE	Valores estabelecidos pela norma	
						ASTM (1992)	Frazão & Farjallat (1995)
Porosidade (%)	0,29	0,68	0,46	0,35	0,87	n.e	≤ 1
Densidade seca (g/cm ³)	2,71	2,65	2,64	2,67	2,62	≥2.560 Kg/m ³	≥2.550 Kg/m ³
Densidade saturada (g/cm ³)	2,72	2,66	2,65	2,68	2,63	n.e	n.e
Absorção (%)	0,10	0,25	0,18	0,13	0,35	≤ 0,4	≤ 0,4
Resistência à compressão (MPa)	209,9	120,5	164,9	151,6	253,8	≥ 131,0	≥ 100,0
Resistência à flexão (MPa)	-	10,5	15,8	22,3	-	≥ 10,34	≥ 10
Desgaste Amsler (mm)	0,68	0,5	0,65	0,46	0,33	n.e	≤ 1,0
Velocidade de pulso ultra-sônico (m/s)	-	5474	6123	6594	-	n.e	≥ 4.000

Tabela 5.1 – Legenda: ASTM – American Society for Testing and Materials, CC – Castanhal Clássico, VM – Vermelho Moura, AR – Abonari Vermelho Real, TPN – Terra Preta Nobre, RE – Rosa Esperança, n.e – não especificado.

Bibliografia

- Alecrim, J.D. & Puty, C.O. 1968. *Relatório Preliminar da Viagem às pedreiras de Moura*. Brasil. DNPM. DGM, Relatório Inédito, Manaus N. ° 24, 5° Distrito, 7p.
- Almeida, M.E.; Sandoval, S.P. & Luzardo, R. Reconhecimento geológico ao longo dos rios Negro, Xié e Içana (Missão Tunuí), noroeste do Estado do Amazonas. Programa de Levantamento Geológicos Básicos do Brasil, MME/CPRM, Manaus, 2002, 16p. (Relatório de Viagem)
- Almeida M.E. & Macambira M.J.B. 2003. Aspectos geológicos e litoquímicos dos granitóides cálcio-alcálicos Paleoproterozóicos do sudeste de Roraima. In: SBGq, IX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, p.775-778.
- Almeida M.E. 2006. Evolução geológica da porção centro-sul do Escudo das Guianas com base no estudo geoquímico, geocronológico e isotópico dos granitóides paleoproterozóicos do sudeste de Roraima, Brasil. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 227p.
- American Society for Testing and Materials – ASTM –1990. Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constant of Rocks. Philadelphia, USA. (D 2845).
- American Society for Testing and Materials – ASTM –1992. Standard Specification for Granite Dimension Stone. Philadelphia, USA. (C 615).
- Andrade, M.A.G.B. 1997. Contribuição à Geologia da Porção Centro-Sul do Município de Presidente Figueiredo – AM. Trabalho final de graduação, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, 96p.
- Araújo Neto H. & Moreira H.L. 1976. *Projeto Estanho de Abonari*. MME/DNPM/CPRM. Brasília, Vol. 1, 232p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1992. *Rochas para revestimento: Análise petrográfica*. 3p. (NBR 12768).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1992. *Rochas para Revestimento: Determinação da resistência da massa específica, porosidade aparente e absorção d'água aparente*. 2p. (NBR 12766)
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1992. *Rochas para Revestimento: Determinação da Resistência à flexão*. 3p. (NBR 12763).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1992. *Materiais inorgânicos Determinação do desgaste por abrasão*. 0992 3p. (NBR 12042).

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1992. *Rochas para Revestimento: Determinação da Resistência à compressão Uniaxial*. 2p. (NBR 12767).
- Chiodi Filho, C. 2001. Termo de Referência Setorial da Indústria de Rochas Ornamentais do Brasil. In : Encontro Rio Grande do Sul – Itália do Setor de Rochas Ornamentais. Porto Alegre, APEX/ABIROCHAS/SIMAG/FIERGS/CCI-RS. 17p.
- Costa, A.P.L. 2003. Caracterização geológica e tecnológica dos granulitos da Região de Chorozinho (Nordeste do Ceará). Tese de mestrado, Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, 90p.
- Costi, H.T., Santiago A.F., Pinheiro S.S. 1984. Projeto Uatumã-Jatapu, Relatório Final. Manaus: CPRM - SUREG-MA. 133p.
- Costi H.T., Dall’Agnol R., Moura C.A.V. 2000. Geology and Pb-Pb geochronology of Paleoproterozoic volcanic and granitic rocks of the Pitinga Province, northern Brazil. *International Geological Review*, 42:832-849.
- CPRM, Programa de Levantamentos Geológico Básico do Brasil – Mapa Geológico do Estado do Amazonas (Atualização 2004). Estado do Amazonas. Escala 1:1.000.000. CD-ROM
- Farias, M.S.G. & Luzardo R. 2000. Complexo Metamórfico Anauá. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Folha Caracará (RR), 1:500.000. CPRM-AM, Manaus, cap.3.
- Ferron, J.M.T.M. 2006. Geologia regional, geoquímica e geocronologia Pb-Pb de rochas graníticas e vulcânicas paleoproterozóicas da Província Pitinga, cráton Amazônico. Tese de Doutorado, PPGGeo, UFRGS, Porto alegre, 331p.
- Franzão, E.B & Farjallat, J.E.S. 1995. Caracterização das principais rochas silicatadas brasileiras usadas como pedras de revestimento. In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DE PEDRA NATURAL. Anais. Lisboa 1995, p. 47-58.
- Geomineração Ltda. 1972. Projeto Mapuera: Reconhecimento geológico e geoquímico. S.1./ICOMI. 101p.
- Jorge-João, X.S., Santos C.A., Faraco M.T.L. 1984. Projeto Trombetas-Mapuera, Relatório Final. Belém: CPRM-SUREG-BE. Vol.1.
- Lenharo, S.L.R. 1998. Evolução magmática e modelo metalogenético dos granitos mineralizados da região de Pitinga, Amazonas, Brasil. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, USP, 290p.
- Mattos, I.C. 2005. Geologia, petrografia, geoquímica, comportamento físico-mecânico e alterabilidade das rochas ornamentais do stock granítico Serra do Barriga, Sobral (CE). Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Rio Claro, 260p.
- Navarro, F.C. 1998. Microscopia Petrográfica na Previsão do Comportamento Físico-mecânico das Rochas Ornamentais. Relatório Final, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Rio Claro, 32p.

- Nimer, E. 1991. Clima. In: Hammerli, S.M & Fredrich, Geografia do Brasil – Região Norte. IBGE. Rio de Janeiro, v 3.
- Nogueira Neto, J.C.A. 2002 Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento. Disciplina de rochas ornamentais, agosto-dezembro de 2004. 23 f. Notas de aula.
- Oliveira M.J.R., Almeida M.E., Luzardo R., Faria M.S.G. 1996. Litogeoquímica da Suíte Intrusiva água Branca – SE de Roraima. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 39, 2:213-216.
- Reis N.J., Almeida M.E., Riker S.L., Ferreira A.L. 2006. Geologia e recursos minerais do Estado do Amazonas. MME/CPRM/CIAMA, Programa de Geologia do Brasil (mapas geológicos estaduais, escala 1:1.000.000), Manaus, 125p.
- Santos J.O.S., Moreira A.S., Pessoa M.R., Oliveira J.R., Malouf R.F., Veiga JR. J.P., NASCIMENTO J.O. 1974. Projeto Norte da Amazônia, domínio baixo Rio Negro. Relatório Final Integrado, DNPM/CPRM. Vol. 4.
- Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., Mcnaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A New understand of the provinces of the Amazon Craton based on Integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3(4): 453-488.
- Santos J.O.S., Faria M.S.G, Hartmann L.A., Mcnaughton N.J. 2002. Significante presence of the Tapajós-Parima Orogenic Belt in the Roraima Region, Amazon Craton based on SHRIMP U-Pb zircon geochronology. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 41, João Pessoa (PB), Anais, 336p.
- Souza A.G.H., Souza V.S., Dantas E.L., Valério C.S., Laux J.H., Silva A.J.M. e Ferreira J.R. 2006. Pedra do Gavião massif: record of the 1.23 Ga A-type magmatism in the southern Guiana Shield. *In: Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogensis of the Amazonian Craton (Abstract Volume and Field Trips Guide)*. PRONEX/IGCP (Project 510)/UFPA/SBG-NO, Belém, Pará State, Brazil, p.73.
- Souza, A.G.H 2006. Levantamento geológico de rochas graníticas e gnáissicas no distrito de Moura (AM), Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC – Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, 40p.
- Sipam, Imagem de satélite - Sarsipam – R99B seg.678 – 2005
- Streckeisen, A. L. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, V 12, p 1-33.
- Tassinari C.C.G., Bettencourt J.S., Geraldés M.C., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. The Amazonian Craton. In U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos (Edit.). *Tectonic Evolution of South America*. 31st. International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, p.41-95.

- Tassinari C.C.G.& Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22(3):174-182.
- Tassinari C.C.G.& Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do cráton Amazônico. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C. Dal Ré Carneiro, B.B. Brito-Neves. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca, São Paulo, 2004. p.471-485.
- Torquato, M. de F. Bessa 2004. Rochas ornamentais do noroeste do Ceará – Propriedades tecnológicas, alteração e alterabilidade dos granitos Vermelhos Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará. Tese de doutorado, Universidade Técnica de Lisboa - IST, Lisboa, 300p.
- Valério, C. da S. Magmatismo paleoproterozóico do extremo sul das Guianas, município de Presidente Figueiredo (AM): Geologia, geoquímica e geocronologia Pb-Pb. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, 110p.
- Veiga JR. J.P., Nunes A.C.B., Souza E.C., Santos J.O.S., Amaral J.E., Pessoa M.R., Souza S.A.S. 1979. Projeto Sulfetos do Uatumã. Manaus, DNPM/CPRM. Relatório final, vol. 6.
- Vidal, F.W.H., Bessa, M. De F., Lima, M.A.B. 1999. Avaliação de rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas. CETEM/MCT, Série Tecnologia Mineral 74, 36p.