



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL
PPGEMinas - UFPE**

MARIA CAROLINA DE ALBUQUERQUE FEITOSA

**AVALIAÇÃO GEOESTRUTURAL DA PEDREIRA DE GRANITO MARROM
IMPERIAL EM UMARI – JOÃO ALFREDO/PE**

**RECIFE
2016**

MARIA CAROLINA DE ALBUQUERQUE FEITOSA

**AVALIAÇÃO GEOESTRUTURAL DA PEDREIRA DE GRANITO MARROM
IMPERIAL EM UMARI – JOÃO ALFREDO/PE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mineral na área de concentração de Rochas Ornamentais pela Universidade Federal de Pernambuco

Orientador: Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros. Coorientador: MSc. Vanildo Almeida Mendes

RECIFE

2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

F311a Feitosa, Maria Carolina de Albuquerque.
Avaliação geoestrutural da pedreira de granito marrom imperial em Umari –
João Alfredo/PE / Maria Carolina de Albuquerque Feitosa. – 2016.
77 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros.
Coorientador: MSc. Vanildo Almeida Mendes.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2016.
Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Mineral. 2. Marrom Imperial. 3. Geologia estrutural. 4.
Tensão-deformação. I. Barros, Márcio Luiz de Siqueira Campos.
(Orientador). II. Mendes, Vanildo de Almeida. III. Título.

UFPE

622.35 CDD (22. ed.)

BCTG/2016-190

MARIA CAROLINA DE ALBUQUERQUE FEITOSA

**AVALIAÇÃO GEOESTRUTURAL DA PEDREIRA DE GRANITO MARROM
IMPERIAL EM UMARI – JOÃO ALFREDO/PE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mineral na área de concentração de Rochas Ornamentais. pela Universidade Federal de Pernambuco.

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo sob a presidência do Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros, considera a candidata aprovada.

Recife, 14 de julho de 2016.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros (UFPE)

Prof. Dr. Almany Costa Santos (UFPE)

Prof. Dr. Júlio César de Souza (UFPE)

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado força e coragem todos os dias nesta caminhada;

À Fátima, minha mãe, a primeira incentivadora das minhas conquistas profissionais e pessoais, concretizada, em parte, com esse mestrado;

A Diego, meu namorado, pelo companheirismo e apoio demonstrados, em especial nesta etapa;

Aos meus avós Ivete e Manoel (*in memoriam*), por todo carinho, amor e apoio dedicados a mim;

Ao meu orientador Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros por estar comigo desde a graduação até agora, pelo incentivo e ajuda na minha evolução intelectual;

Ao meu coorientador, MSc. Vanildo Almeida Mendes pela tamanha paciência, tempo, disponibilidade e vontade em me ajudar a realizar mais uma etapa na minha vida, certamente sem a sua ajuda ela não seria possível.

Ao Prof. Dr. Júlio César de Souza pela ajuda e conhecimentos repassados;

Ao Prof. Dr. Almany pela disponibilidade nesta etapa final da dissertação;

Aos meus amigos pela troca de experiências durante a nossa convivência, em especial a Alinne Marianne e Glenda Oliveira por toda orientação acadêmica;

À Capes pela bolsa de estudos concedida;

À Empresa Pedreiras do Brasil Ltda, em especial a Felipe Lampre por conceder a realização da pesquisa.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Rejeitos da lavra em Umari - João Alfredo –PE	14
Figura 02 - Produção de rochas ornamentais no mundo, ano-base 2014.	22
Figura 03 - Potencial geológico para granitos vermelhos na região de Sertânia - PE	24
Figura 04 - Potencial geológico para granito tipo Marrom Imperial na região de Bom Jardim / Surubim - PE.	25
Figura 05 - Potencial geológico para granito tipo Cinza Prata na região de Garanhuns / Jupi - PE.....	25
Figura 06 - Potencial geológico para granito tipo Ouro Branco na região de Águas Belas - PE.....	26
Figura 07 - Potencial geológico para granitos pretos na região de Santa do Capibaribe – PE.....	26
Figura 08 - Ilustração da inter-relação entre geologia, tipo de rocha, tecnologia de rochas e construção civil.....	27
Figura 09 - Origem e orientação das tensões tectônicas.....	30
Figura 10 - Forças atuantes em um corpo rígido	32
Figura 11 - Componentes Cartesianas da Tensão	33
Figura 12 - Componente de tensões em um cubo de arestas infinitesimais.....	33
Figura 13 - Tensões são independentes atuantes num cubo	34
Figura 14 - Ilustração de tensões desenvolvidas em uma superfície $\pi\pi'$, de um corpo prismático.....	35
Figura 15 - Desenvolvimento de fraturas de cisalhamento desenvolvidas sob ensaios de compressão	36
Figura 16 - Mapa de localização da Província da Borborema.....	37
Figura 17 - Mapa de localização dos principais pólos de produção de rochas ornamentais na Província Borborema.....	39
Figura 18 - Mapa de acesso à área de exploração – Umari/PE.....	42
Figura 19 - Placa polida de Marrom Imperial	45
Figura 20 - Fratura de cisalhamento em Umari - João Alfredo	46
Figura 21 - Minerais orientados segundo uma lineação de estiramento l_x no plano.	47
Figura 22 - Face mostrando a superfície de cisalhamento	47
Figura 23 - Desenvolvimento de fraturas de tensão e alívio em corpos rochosos	

por ensaios de compressão	48
Figura 24 - Fratura de alívio na Pedreira de Marrom Imperial	49
Figura 25 - Desenvolvimento de fraturas de cisalhamento (inclinadas), de tensão (verticais) e as de alívio (horizontais), estabelecidas em espécies rochosos submetidos à compressão.....	49
Figura 26 - Diagrama da rede de Schmidt com os planos de fratura de cisalhamento, cuja bissetriz do ângulo formado entre eles representa a direção de compressão máxima.....	56
Figura 27 - Diagrama de rosetas onde se visualiza um par conjugado de cisalhamento nas direções 30° Az e 340° Az.....	57
Figura 28 - Textura peritica, interstícios com piroxênio cor verde.....	60
Figura 29 - Cristais de quartzo (amarelo) em contato com feldspato Potássico e plagioclásio.	60
Figura 30 - Cristais anedral de olivina cor de interferência azul esverdeada, em contato com plagioclásio e vezes com inclusões de quartzo amarelo.	61
Figura 31 - Gráfico comparativo dos índices de densidade obtidos nos ensaios e normas ABNT 15844 e ASTM C615	62
Figura 32 - Gráfico comparativo dos valores de absorção d'água do e valores sugeridos pela ABNT NBR 15844 e ASTM C615	62
Figura 33 - Gráfico da relação entre os resultados da resistência à compressão uniaxial e os valores estabelecidos nas normas ABNT 15844 e ASTM C615....	64
Figura 34 - Gráfico da relação entre os resultados da resistência à flexão e os valores estabelecidos nas normas ABNT 15844 e ASTM C615	65
Figura 35 - Gráfico comparativo dos valores de resistência ao impacto de corpo duro do Granito Marrom Imperial e o valor sugerido pela ABNT NBR 15844....	66
Figura 35 - Direção das tensões principais atuantes no maciço estudado, σ_1 direção de compressão máxima, σ_3 direção de compressão mínima	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Valores especificados para granitos pela ABNT NBR 15844 E ASTM C615	28
Tabela 02 - Poligonal da área de interesse	43
Tabela 03 - Composição mineralógica do Marrom Imperial.....	45
Tabela 04 - Média dos valores referentes aos índices físicos	61
Tabela 05 - Valores médios do Desgaste Amsler referente aos ensaios com Granito Marrom Imperial	65
Tabela 06 - Resumo dos ensaios de caracterização tecnológica.....	66

RESUMO

A análise estrutural de um maciço rochoso tem por finalidade fornecer elementos para uma melhor compreensão dos parâmetros de descontinuidades. Salienta-se que o controle destes parâmetros constitui o norte científico para orientar a lavra de rochas ornamentais, pois, as dimensões e qualidade dos blocos obtidos dependem principalmente da natureza e equidistância dos fraturamentos associados à distribuição das tensões atuantes em um maciço rochoso. Neste trabalho, apresenta-se a análise estrutural do Sienito Marrom Imperial, localizado em Umari, zona rural do Município de João Alfredo – PE. Ao fornecer tais informações o responsável técnico poderá definir a melhor sistemática tecnológica no plano de aproveitamento econômico a ser adotado, sem provocar o aparecimento de fraturas de alívio na rocha. Os dados coletados durante a visita técnica constituíram um banco de dados utilizado na determinação das projeções estereográficas (rede de Schmidt) e diagramas de rosetas. A análise do fraturamento mostrou que as fraturas de cisalhamento situam-se nas direções 30° Az e 340° Az. A bissetriz do ângulo formado pelo cruzamento destes cisalhamentos corresponde à direção de compressão máxima atuante representada por τ_1 e disposta na direção 5° Az. Perpendicularmente a essa, encontra-se a direção de distensão, τ_3 . Com base no exposto pode-se concluir que a melhor orientação de corte, para o desenvolvimento dos trabalhos de abertura da pedra, de modo a provocar o alívio das tensões e evitar o aparecimento de fraturas durante os serviços de lavra, é a direção SE-NW. Quanto à caracterização tecnológica, os resultados obtidos foram comparados aos estabelecidos pelas normas ABNT NBR 15844:2010, NBR 12042: 1992 e ASTM C 615:1992. Os índices físicos - massa específica aparente seca e saturada, porosidade e absorção aparentes - atenderam satisfatoriamente aos requisitos da ABNT NBR 15844:2010 e americana ASTM C615: 1992. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão simples e resistência à flexão quando comparados com os valores requisitados para granitos, mostram que a rocha suporta uma compressão mediana, levemente inferior ao estabelecido por estas normas. Já o ensaio de desgaste Amsler ficou abaixo de 1mm/m, como especificado pela norma brasileira NBR 15844:2010. A avaliação dos ensaios do Marrom Imperial, juntamente com a análise petrográfica, possibilitou um melhor conhecimento da inter-relação dos resultados, e podendo assim relacionar diretamente a uma melhor aplicação do material objeto de estudo. A rocha pode ser aplicada sem restrições, salvo locais úmidos que requerem impermeabilização e de intenso tráfego.

Palavras chave: Marrom Imperial. Geologia estrutural. Tensão-deformação

ABSTRACT

Structural analysis of a rock mass is intended to provide elements for a better understanding of discontinuities parameters. It is noted that the control of these parameters is the scientific north to guide the mining of dimension stones, therefore, the size and quality of the blocks obtained depend mainly on the nature and equidistance of fracturing associated with the distribution of stresses acting on a rock mass. In this paper is presented a structural analysis of the Syenite Brown Imperial, located in Umari, rural municipality of Joao Alfredo - PE. By providing such information the responsible technician can determine the best technology in the systematic economic exploitation plan to be adopted, without causing the onset of relief of fractures in the rock. The data collected during the technical visit constituted a database used in determining the stereographic projections (Schmidt network) and rosettes diagrams. The analysis of fracturing showed that shear fractures are located in directions 30° and Az 340° Az. The bisecting the angle formed by the intersection of these shear is the maximum active compression direction represented by τ_1 and arranged in 5° Az direction. Perpendicular to this, it is the direction of distention, τ_3 . Based on the above it can be concluded that the best cutting guidance for the development of the opening work of the quarry, so as to cause the relief of the stresses and prevent the occurrence of fracture during the mining services is the direction SE- NW. As for technological characterization, the results were compared to the standards established by the NBR 15844: 2010, NBR 12042: 1992 and ASTM C 615: 1992. Physical indices - apparent dry and saturated specific mass, porosity and apparent absorption - satisfactorily met the requirements of NBR 15844: 2010 and American ASTM C615: 1992. The results of tests on the compressive strength and flexural strength when compared to the values required to granites, showed rock that supports a median compression, slightly lower than that established by these standards. However Amsler wear test was less than 1 mm / m, as specified by the Brazilian standard NBR 15844: 2010. The evaluation of the tests of the Imperial Brown, along with petrographic analysis enabled a better understanding of the interrelationship of the results, and thus being able to relate directly to a better implementation of the object of study material. The rock can be applied without restriction, except wet locations that require waterproofing and high traffic.

Keywords: Brown Imperial. Structural geology. Stress-strain.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Generalidades	12
1.2	Justificativas	12
1.3	Objetivos	14
1.3.1	Objetivo geral.....	14
1.3.1	Objetivos específicos	15
1.4	Estrutura da dissertação	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Rochas ornamentais e de revestimento	16
2.2	Classificação comercial das rochas ornamentais	17
2.3	Rochas ornamentais no Brasil	20
2.4	Rochas ornamentais em Pernambuco	22
2.5	Caracterização tecnológica de rochas ornamentais	27
2.6	Tensões em maciços rochosos: origem e medição	29
2.6.1	Origem das tensões.....	29
2.6.2	Medição das tensões	32
2.7	Estudo geotectônico da província Borborema	37
2.8	Geologia Regional	40
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	42
3	Localização, características fisiográficas e econômico-sociais sobre a área estudada	42
3.2	Geologia Local	43
3.3	Análise das tensões no maciço estudado	45
3.4	Ensaio de caracterização tecnológica	50
3.4.1	Análise petrográfica	50
3.4.2	Índices físicos	51
3.4.3	Resistência à compressão uniaxial	52
3.4.4	Resistência ao impacto de corpo duro	53
3.4.5	Módulo de ruptura (flexão em 3 pontos)	54
3.4.6	Desgaste abrasivo <i>Amsler</i>	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1	Orientação das tensões no maciço estudado	56

4.2	Caracterização tecnológica.....	57
4.2.1	Descrição petrográfica	57
4.2.2	Índices físicos	61
4.2.3	Compressão uniaxial	63
4.2.4	Módulo de ruptura (flexão em 3 pontos)	64
4.2.5	Desgaste abrasivo Amsler	65
4.2.6	Resistência ao impacto de corpo duro.....	66
5	CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS	69
	ANEXO I - Mapa Geológico de Detalhe.....	72
	ANEXO II - Mapa Geológico de Semi-Detalhe	73

1. INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

Nesta dissertação será contemplada a técnica de análise geológico-estrutural da jazida de sienito Marrom Imperial, na localidade denominada de Sítio Pau Santo, distrito de Umari, município de João Alfredo, no Estado de Pernambuco.

As rochas são genericamente definidas como corpos sólidos naturais, formados por agregados de um ou mais minerais cristalinos. Notadas pela diversidade e beleza de seus padrões estéticos, as rochas ornamentais e de revestimento vêm se consagrando na história da humanidade não apenas ao princípio da aparência, mas também pela notória resistência, durabilidade e trabalhabilidade. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se, nesse caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, etc, (CHIODI; RODRIGUES, 2009).

Apesar de ampla utilização e longo período de aplicação, algumas práticas, a exemplo da determinação e orientação das tensões no maciço, ainda não são aplicadas pelas empresas de mineração, o que ocasiona muitas perdas ao processo como um todo. Assim, destacamos a importância do tema e proposta desta dissertação à comunidade acadêmica, instituições governamentais e empresários do ramo.

1.2 Justificativas

O Brasil tem um importante papel no cenário internacional de rochas ornamentais, mas sua participação está muito aquém de seu vasto potencial. Convém salientar que apesar de possuir as melhores e maiores reservas mundiais em materiais lapídeos, o país é ainda o quarto produtor mundial de rochas com fins ornamentais. Em particular, no nordeste brasileiro, excetuando-se a área de cobertura sedimentar fanerozóica, que recobre parte dos Estados do Maranhão, Piauí e a porção leste dos estados que vai do Ceará à Bahia. Existem extensas áreas de exposição do

embasamento cristalino, que apresentam enorme potencialidade em produzir rochas para fins ornamentais, com reflexos e impactos positivos para geração de emprego e renda na zona semiárida que tem regime de chuvas em período bem curto e bem definido, o que passa a ser um atrativo para atividade de mineração a céu aberto, (MACÊDO, 1998).

Segundo Vidal *et. al.* (2013), vários motivos concernem a não devida atenção à pesquisa geológica de detalhe por parte dos empresários: desconhecimento, falta de interesse ou até mesmo pelo impulso em pular etapas e antecipar o retorno financeiro.

No entanto, a falta de pesquisa geológica de detalhe tem conduzido à lavra predatória de matacões e maciços rochosos, gerando grande volume de rejeitos, como visto na Figura 01, baixa recuperação das pedreiras, diminuição do percentual de lucratividade e perda de competitividade, ocasionando, inclusive, em certos casos, o abandono das frentes de exploração. Tal fato, além do prejuízo econômico-financeiro e das frustrações causadas no investidor, ocasiona danos irreparáveis ao meio ambiente e desalento nas comunidades locais que na sua grande maioria veem na mineração uma oportunidade de crescimento econômico-social.

Convém salientar que um trabalho criterioso de pesquisa renderá ao minerador um grande conhecimento das características físico-mecânicas e geológico-estrutural da rocha a ser extraída. Com os resultados em mãos, o responsável técnico poderá orientar a lavra e investir na aquisição de equipamentos compatíveis com as características geológicas do jazimento.



Figura 01. Rejeitos da lavra em Umari- João Alfredo –PE. Fonte: Autora.

Portanto, faz-se necessário difundir nas empresas e entre os técnicos atuantes no setor a importância da realização de trabalhos de pesquisa geológica de detalhe, em especial, a análise estrutural do corpo a ser lavrado, incluindo a determinação da distribuição espacial e quantitativa das fraturas e demais descontinuidades (falhas, veios e planos de foliação) e distribuição de tensões.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo principal do trabalho é sugerir uma conduta técnica para análise geoestrutural de maciços rochosos para aplicação em rocha para fins ornamentais, considerando parâmetros de orientação espacial (atitudes), a continuidade da estrutura (persistência), a quantidade volumétrica das juntas, a morfologia de superfície da fratura, a forma e natureza do preenchimento, abertura entre as superfícies opostas e conectividade entre elas. Ao fim elaborar o mapa geológico de detalhe e a orientação de lavra seguindo a direção de alívio do campo de tensões atuantes sobre o maciço rochoso. Além disso, realizar a caracterização tecnológica da rocha.

1.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar o mapeamento geológico do jazimento;
- Definir e delimitar as diversas fácies por ventura existentes;
- Estudar o padrão estrutural da pedreira;
- Determinação das características tecnológicas da rocha;
- Definir diretrizes para a extração desta área, buscando maximizar a rentabilidade da jazida com base na previsão da recuperação de rocha com qualidade ornamental.

1.4 Estrutura da dissertação

No primeiro capítulo são apresentadas algumas definições sobre rochas ornamentais, assim como a justificativa e objetivos a serem alcançados com a realização deste trabalho.

No capítulo 2, encontra-se a fundamentação teórica sobre o contexto do estudo.

No capítulo 3, aborda o material utilizado e a metodologia empregada na pesquisa.

O capítulo 4 corresponde à apresentação, interpretação e discussão dos resultados.

Finalmente, o capítulo 5 traz as considerações finais do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Rochas ornamentais e de revestimento

Os materiais pétreos constituem, de longe, um dos mais antigos materiais utilizados pelo homem, apresentando uma grande gama de utilidades em nosso cotidiano. Além de sua aplicação direta na indústria da construção civil, são utilizados como matéria prima para a confecção de diversos produtos, tais como peças de móveis, na produção de cimento, papel, pisos e revestimentos, tintas entre outros.

A rocha constitui o principal material utilizado na construção de edificações e monumentos, não somente pela sua abundância, mas principalmente por sua resistência e durabilidade. Estas características, associadas a grande diversidade de padrões cromáticos e estruturais tornam a rocha o material mais largamente utilizado na indústria da construção civil.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define rocha ornamental como uma substância rochosa natural que, submetida a diferentes graus de modelamento ou beneficiamento, pode ser utilizada como uma função estética qualquer.

Rocha de revestimento, por sua vez, é qualificada pelo órgão como material rochoso passível de desdobramentos e beneficiamentos diversos com emprego em acabamentos de superfícies de paredes e pisos em construções civis.

A American Society for Testing and Materials (ASTM), órgão normatizador americano, define *dimension stone* (rocha ornamental) como qualquer material rochoso natural serrado, cortado em chapas e fatiado em placas, com ou sem acabamento mecânico, excluindo produtos acabados baseados em agregados artificialmente constituídos, compostos de fragmentos e pedras moídas e quebradas.

Segundo Frascá (2003), pode-se fazer uma distinção entre rochas de revestimento e ornamentais, onde as primeiras seriam aquelas que foram submetidas a diversos processos e graus variados de desdobramentos e beneficiamento, sendo utilizadas

no acabamento de superfícies, em especial pisos e fachadas; enquanto as ornamentais seriam aquelas submetidas a diferentes graus e tipos de beneficiamento ou aperfeiçoamento, utilizados para exercer uma função estética.

Em geral, a utilização das rochas como material ornamental se faz pelo seu padrão de beleza, características técnicas e econômicas de mercado. O fator estético decorativo está intrinsecamente relacionado à cor, aspecto textural da rocha e movimentação dos cristais minerais. Os fatores físicos - mecânicos e parâmetros geológicos devem ser considerados para determinação do método de lavra, viabilidade econômica da jazida e campo de aplicação da rocha.

Por último estão às características mercadológicas, que podem ser consideradas as mais importantes para a viabilização da pedreira. Segundo Souza (2008), muitas vezes o efeito decorativo e as características técnicas são bons, mas não havendo procura, o material será considerado não econômico. Dessa forma é necessária uma boa estratégia empresarial que possibilite a colocação do produto no mercado interno e abertura do mercado externo. Outros fatores a observar no aproveitamento das rochas são: uniformidade do padrão, que é função da constância mineralógica e textura da rocha; frequência de minerais deletérios, veios, xenólitos e fraturamentos. Tem-se ainda fatores geológicos, tais como reservas, formas de afloramento, disposição dos matacões e dos maciços rochosos; e a originalidade, uma vez que o mercado tradicionalmente dá preferência às rochas de tonalidades ou texturas diferentes.

2.2 Classificação comercial das rochas ornamentais

No tocante à classificação comercial, os principais tipos de rochas ornamentais são os granitos e os mármore. Tal terminologia não é geologicamente correta, pois para o comércio “mármore” é toda rocha carbonatada, de origem sedimentar (calcário ou dolomito) ou metamórfica (mármore sensu stricto).

Para o mercado, o termo granito corresponde a qualquer rocha silicática, capaz de receber corte e polimento e passível de ser usado como material de revestimento. Deste modo, o termo granito designa um amplo conjunto de rochas

silicáticas, compostas predominantemente por feldspatos e quartzo. Esta terminologia abrange um grande grupo de rochas cristalinas, tais como granitos, sienitos, monzonitos, charnoquitos, diabásios, basaltos, gnaisses, migmatitos, xistos e metaconglomerados.

A seguir são apresentadas, de modo simplificado, as principais características desses materiais:

Granitos

Os “granitos” correspondem cientificamente às rochas ígneas e metamórficas de granulometria grossa compostas principalmente de minerais félsicos, tais como quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio, além de máficos como biotita.

Os “granitos” são fisicamente mais difíceis de serem explorados e beneficiados, que as rochas carbonáticas sedimentares ou metamórficas. Entretanto, têm alto brilho no polimento e alta durabilidade mecânica sendo, portanto tratados como rochas ornamentais de qualidade máxima. As cores das rochas são fundamentalmente determinadas pelos constituintes mineralógicos.

Os minerais formadores dos granitos (lato sensu) são definidos por associações variáveis de quartzo, feldspatos, micas, piroxênios e anfibólios, com diversos minerais acessórios em proporções reduzidas. O quartzo normalmente é translúcido, incolor ou fumê; os feldspatos conferem a coloração avermelhada, rosada e creme-acinzentada nos granitos. A cor negra, variavelmente impregnada na matriz das rochas, é conferida por teores variáveis de mica (biotita), e principalmente piroxênio e anfibólio.

No que concerne à resistência à abrasão dos granitos, além da influência da textura da rocha, ela depende da dureza dos seus minerais constituintes. Dentre os minerais formadores destas rochas temos de acordo com a Escala Mohs, o quartzo com dureza 7 e os feldspatos com dureza 6. Entre os granitos, a resistência ao desgaste será, normalmente, tanto maior quanto maior a quantidade de quartzo.

Mármores

As rochas comercialmente designadas por mármore englobam as rochas carbonáticas, incluindo calcários, dolomitos e seus correspondentes metamórficos e sedimentares. Os calcários são rochas sedimentares ou cristalinas compostas principalmente de calcita (carbonato de cálcio), enquanto os dolomitos são rochas formadas sobre tudo por dolomita (carbonato de cálcio e magnésio). Os mármore ditos cristalinos resultam do metamorfismo (modificações ocorridas na rocha devido a variações nas condições de pressão e temperatura, em relação ao ambiente de origem) de calcários e dolomitos.

Nos mármore, o padrão cromático é definido por minerais acessórios e impurezas, pois os constituintes principais (calcita e dolomita) são normalmente brancos. A dureza (resistência ao risco) é sensivelmente menor nos mármore do que nos granitos, pois seus constituintes apresentam dureza na Escala Mohs entre 3 e 4; nos granitos, como vimos anteriormente, as durezas (do feldspato e do quartzo) são respectivamente, 6 e 7.

Quartzitos, Arenitos e Conglomerados

Quartzitos e arenitos constituem rochas compostas essencialmente por quartzo. Geralmente, arenitos são rochas sedimentares clásticas (originadas do acúmulo e consolidação de sedimentos de granulação areia: 0,02 a 2,0 mm), enquanto os quartzitos originam-se a partir de metamorfismo de rochas sedimentares, como os próprios arenitos. Em razão de sua gênese, os arenitos são normalmente mais porosos e menos resistentes do que os quartzitos.

A composição quartzosa (dureza 7) de arenitos e quartzitos lhes confere alta resistência ao risco e ao desgaste abrasivo. Algumas variedades de quartzitos são relativamente flexíveis e desenvolvem deslocamento em planos preferenciais de foliação, determinados, sobretudo pela orientação de placas de mica.

Arenitos com estrutura estratificada ou laminada podem permitir deslocamento ao longo das camadas, geralmente sobrepostas e paralelas entre si. Conglomerados

são também rochas sedimentares clásticas, que diferem dos arenitos por apresentarem constituintes (sedimentos) de maior diâmetro (superior a 2,0 mm). Tais constituintes, referidos como seixos, compõem-se basicamente de fragmentos de quartzo ou de outras rochas dispostas em uma matriz mais fina. Os conglomerados utilizados como rocha ornamental geralmente acham-se afetados por metamorfismo, o que lhes confere maior coesão entre os grãos e maior resistência mecânica.

Ardósia

As “ardósias” correspondem principalmente às rochas sedimentares ou metamórficas de composição pelítica não metamorfasadas com clivagem desenvolvida. Compõe-se essencialmente de mica (muscovita-sericita), quartzo e clorita. Excepcionalmente, certos tipos de muscovita xisto, quartzito e gnaisse com clivagem ou bandamento bem desenvolvido são comercializados como “ardósias”.

Em comparação com os “granitos” e os “mármore”, as “ardósias” são de baixo valor comercial sendo tratadas como rochas semi-ornamentais (VARGAS *et al.*, 2001). Portanto, a maioria das “ardósias” não possui nome comercial específico. A utilização geral é de forma não polida para pisos e paredes.

Basaltos

Os “basaltos” comercialmente não têm o mesmo sentido do termo científico, mas sim, são os tufos altamente soldados de composição riolítica e dacítica que se encontram exclusivamente no extremo sul do Brasil. Apesar de sua importância comercial na Região Sul, esta rocha praticamente não é comercializada em outras regiões do Brasil. Trata-se de rochas semi-ornamentais e utilizadas de forma não polida para pisos, paredes e pavimentações decorativas.

2.3 Rochas ornamentais no Brasil

A produção das rochas ornamentais apresentou crescimento acelerado nas últimas décadas. A produção nacional de mármore iniciou-se no sul do Estado de Minas

Gerais, no município do Mar de Espanha, em 1908. Por ocasião da Segunda Guerra Mundial quando as importações, especialmente de mármore foram suspensas, o mercado de rochas ornamentais e de revestimento começa a se expandir por outros estados do país, sobretudo nos estados da Bahia, Piauí e Rio Grande do Norte, (SOUZA, 2008). O avanço da urbanização e a introdução de novas concepções construtivas também alavancaram a produção nestas regiões.

De acordo com Oliveira *et al.* (2013), até a primeira metade do Século XX, os mármore foram os mais utilizados para usos ornamentais, portanto, as lojas que trabalham com rochas ornamentais são denominadas, até hoje de "marmoraria". O uso dos "granitos" como material de acabamento decorativo iniciou-se na década de 1950, só sendo possível devido ao evento das serras, diamantadas motorizadas. Antes, este material era usado como soleiras, meio-fio de ruas e estradas, calçamentos, sem polimento de nenhuma natureza. Grande parte dos "granitos" ornamentais do Brasil ocorrem nas zonas de colisão continental. Estas foram formadas no final do Pré-Cambriano, mais precisamente durante a orogenia brasileira deu-se o evento da colagem continental, ou seja, agregação de pequenos continentes.

Convém salientar que os litotipos formados durante os diversos eventos tectônico-termiais atuantes na região propiciaram a formação de rochas com tonalidade de cor e textura bastante admiradas pelo mercado internacional. Dentro deste contexto têm-se rochas de cores variadas, tais como: vermelhas, pretas, verdes, azuis, marrons, brancas, e tipos com estruturas movimentadas apresentando padrões considerados exóticos que agregam grande valor para rochas ornamentais brasileiras, (MENDES, 2008).

Esta geodiversidade propicia a formação de excelentes jazimentos de rochas ornamentais, incluindo tipos considerados nobres de reconhecida aceitação no mercado internacional de produtos pétreos, além de tipos considerados comuns, também possíveis de emprego na indústria de construção civil como material de revestimento.

Conforme Sumário mineral 2015, ano base 2014, o Brasil se posiciona em 4º no ranking mundial de produção, com 7,4%, conforme visto na Figura 02. De acordo com levantamentos efetuados pela ABIROCHAS, 26% da produção brasileira de lavra estão atribuídos à região Nordeste.

Discriminação	Produção (10 ³ t)			
	2012 (e)	2013 (e)	2014 (e)	(%)
Países				
Brasil (1)	9.300	10.500	10.100	7,4
China	38.000	39.500	42.500	31,1
Índia	17.500	19.500	22.000	14,7
Turquia	11.500	12.000	11.500	8,4
Irã	7.000	6.500	7.000	5,1
Itália	7.250	7.000	6.750	4,9
Espanha	5.250	5.000	4.850	3,6
Egito	3.000	3.000	4.200	3,1
Portugal	2.750	2.650	2.750	2,0
Outros países (e)	23.150	24.350	26.950	19,7
TOTAL	123.500	130.000	136.500	100

Figura 02. Produção de rochas ornamentais no mundo, ano-base 2014. Fonte: DNPM-Sumário Mineral 2015.

Segundo balanço de importações e exportações de rochas de janeiro a agosto de 2015, pela ABIROCHAS, em comparação com o mesmo período do ano passado houve variação negativa nas exportações tanto na receita, quanto em tonelagem com quedas de 3,05% e 11,46%, respectivamente.

O mesmo aconteceu com as importações, que retrocederam 33,5% em dólar americano e 19,3% em toneladas. Isso ocorreu devido a desaceleração da construção civil, menor disponibilidade de crédito e obras de infraestrutura e menor demanda da China.

2.4 Rochas ornamentais em Pernambuco

De acordo com Mendes (2008), a extração pioneira ocorreu na década de 70, pela empresa União de Mármore e Granitos do Nordeste Ltda, com a lavra nas jazidas dos “granitos” Marrom Imperial e Cinza Pernambuco. Inicialmente os blocos de tonalidade marrom foram testados e aprovados para comercialização nos mercados de Portugal e da Alemanha, enquanto os cinzas, mais comuns, foram comercializados em Recife.

Após mudança de governo do estado, os trabalhos inicializados em gestões anteriores foram paralisados. No início da década de 90, observando a evolução que ocorreria no setor de rochas ornamentais nos demais estados nordestinos e pressionados pelo empresariado da FIEPE - Federação das Indústrias do Estado de Pernambuco e pelo então Sindicato da Extração de Mármore, Calcários e Pedreiras e de Minerais Não Metálicos do Estado de Pernambuco, o governo, através da ADDIPER – Agência de Desenvolvimento Econômico do Estado de Pernambuco-outra vez voltou-se para novos investimentos, o que constituiu um marco fundamental na geração de informações geoeconômicas do setor público para iniciativa privada.

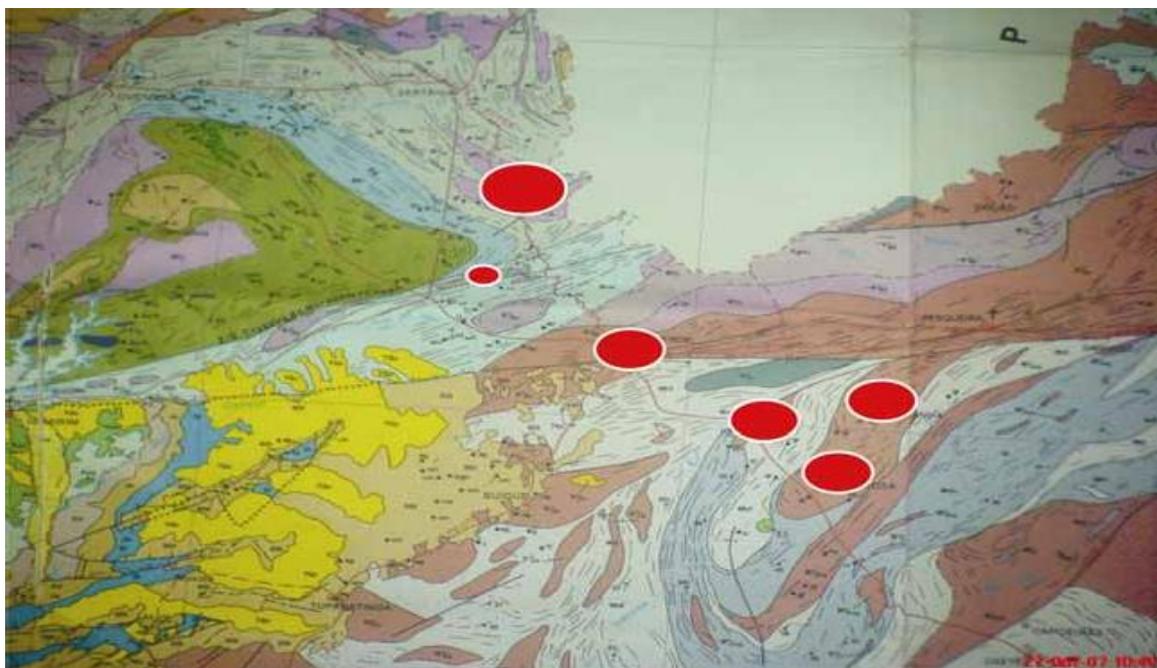
Ainda conforme Mendes (2008), em 1993 foi criado pelo governo de Pernambuco o Programa de Apoio ao Desenvolvimento das Indústrias de Rochas Ornamentais de Pernambuco-PROPEDRAS, em prol de um polo graniteiro no semiárido, com recursos financiados pelo FNE/BNB e operado pelo antigo BANDEPE - Banco do Estado de Pernambuco. Entretanto, parte dos recursos foi aplicada indevidamente gerando grandes dificuldades para o setor.

No início de 1997, ou seja, após 14 (quatorze) anos do trabalho pioneiro de Zanini (1983), a CPRM, na qualidade de Serviço Geológico do Brasil, retomou as atividades de fomento neste setor com o Projeto Rochas Ornamentais de Pernambuco, quando elaborou o Mapa de Atratividade Econômico-Geológico (MAEG). Esta atividade baseou-se na sistemática adotada por Barbosa & Paiva (1998) e no Mapa de Infraestrutura, Direitos Minerários e de Ocorrências de Rochas Ornamentais da Folha Belém, Divisão São Francisco. Em continuidade ao projeto, a CPRM iniciou a partir de agosto de 1998, o Mapa de Atratividade Econômico-Geológica da Folha Garanhuns e desde então novos mapas estão sendo publicados.

Segundo Souza (2008), o Estado de Pernambuco produz diferentes tipos de rochas ornamentais e de revestimento, tendo uma participação de 7,73% do total das substâncias requeridas. É possuidor de grandes reservas medidas, com tipos litológicos de grande beleza e qualidade. Segundo Souza (2008 apud DNPM, 2007) as principais reservas se concentram nos municípios de Pedra (61,62%), Arcoverde

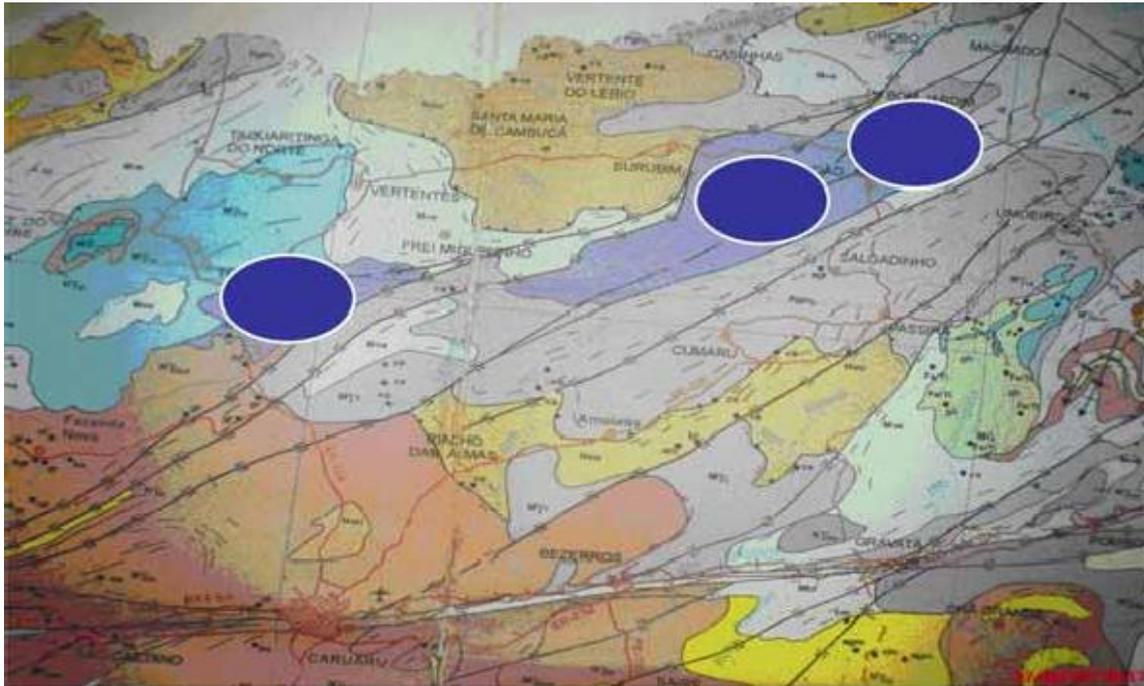
(14,26%), Flores (10,77%), Venturosa (8,89%) e Alagoinha (2,05%). Apesar dos avanços nas pesquisas, a lavra vem apresentando franca regressão em comparação com outros estados do nordeste.

O estado apresenta ótimas condições de exploração com pequeno capeamento ou inexistente, possui poucos problemas ecológicos sérios e abundância de mão-de-obra perfeitamente adaptável aos serviços de exploração, dispõe ainda de jazimentos em locais de fácil acesso, além de facilidades de escoamento da produção através de ferrovias e rodovias e exportação através do Porto de Recife e de Suape, que se encontram em posição privilegiada para navegação no Oceano Atlântico, dada sua relativa proximidade com o continente africano e europeu, bem como seu posicionamento estratégico para as rotas que demandam os Estados Unidos. Todas essas características fazem de Pernambuco um estado com potencial de tornar-se um grande produtor de material lapídeo em termos regionais e nacionais. Souza (2008) em seu trabalho apresenta diversos mapas do potencial geológico de Pernambuco conforme observado nas Figuras 03, 04, 05,06, 07.



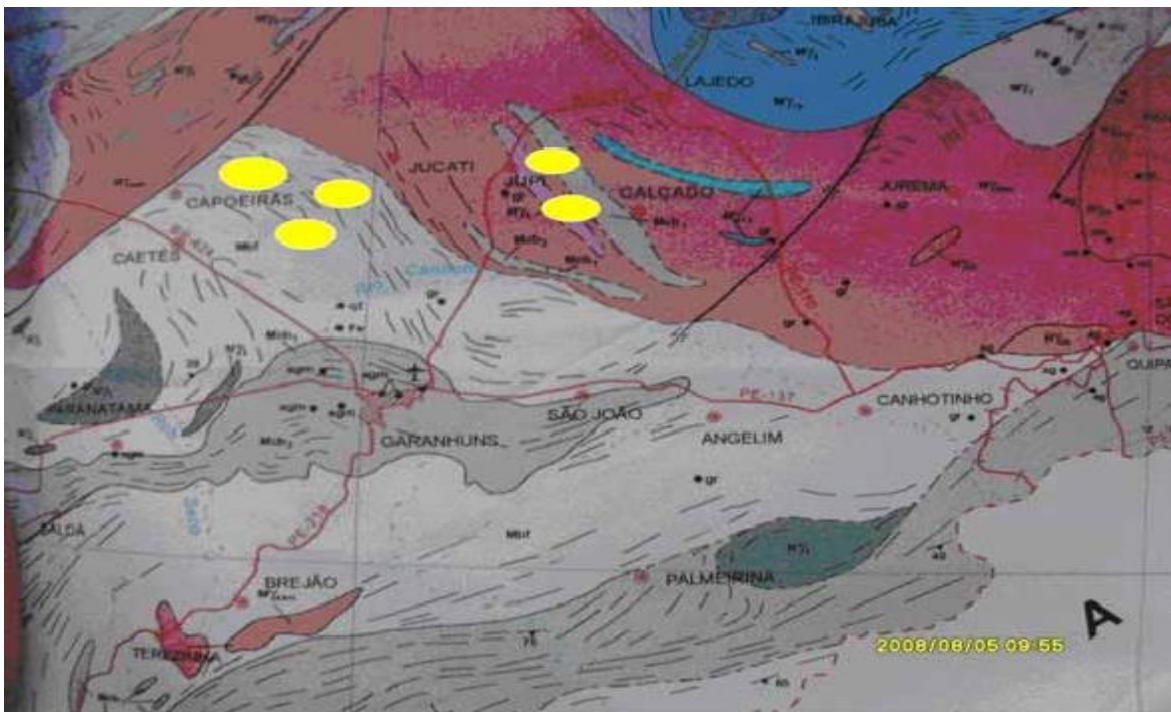
● Áreas potenciais de ocorrência de granitos vermelhos e amarelos

Figura 03. Potencial geológico para granitos vermelhos na região de Sertânia – PE. Escala 1:500.000. Modificado de CPRM (2001).



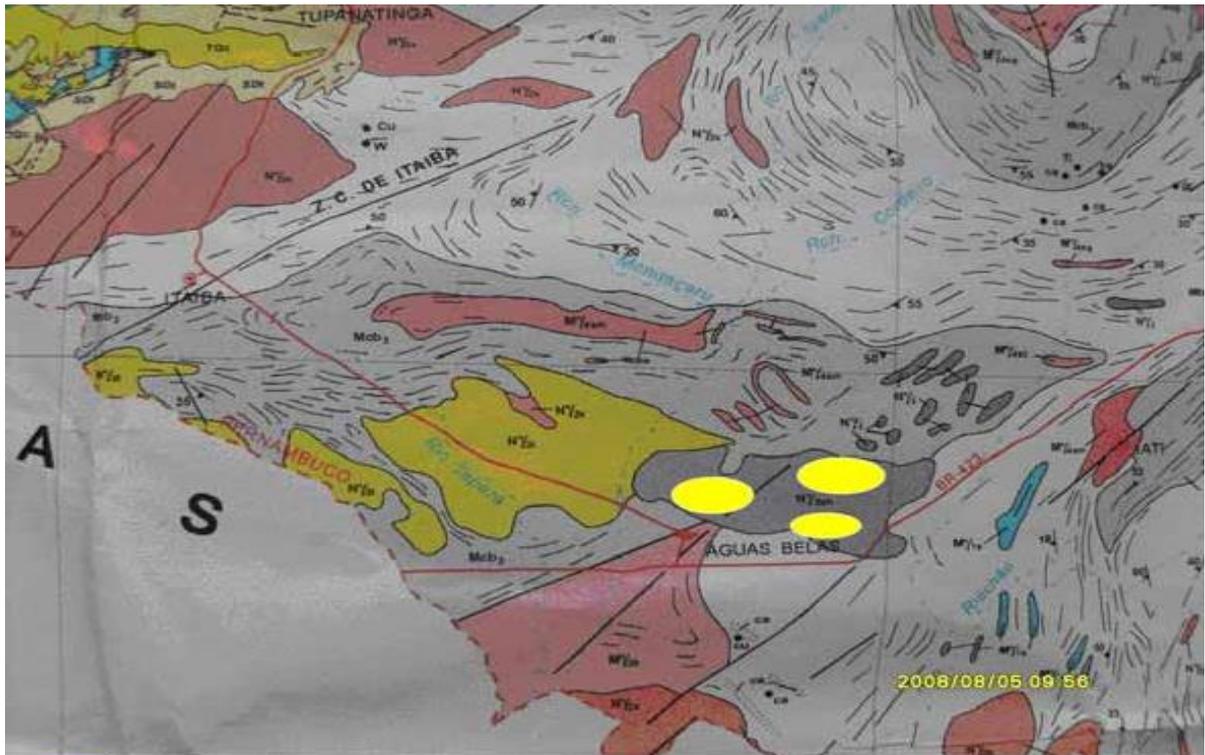
● Áreas potenciais de ocorrência de Marrom Imperial

Figura 04. Potencial geológico para granito tipo Marrom Imperial na região de Bom Jardim / Surubim – PE. Escala 1:500.000. Modificado de CPRM (2001).



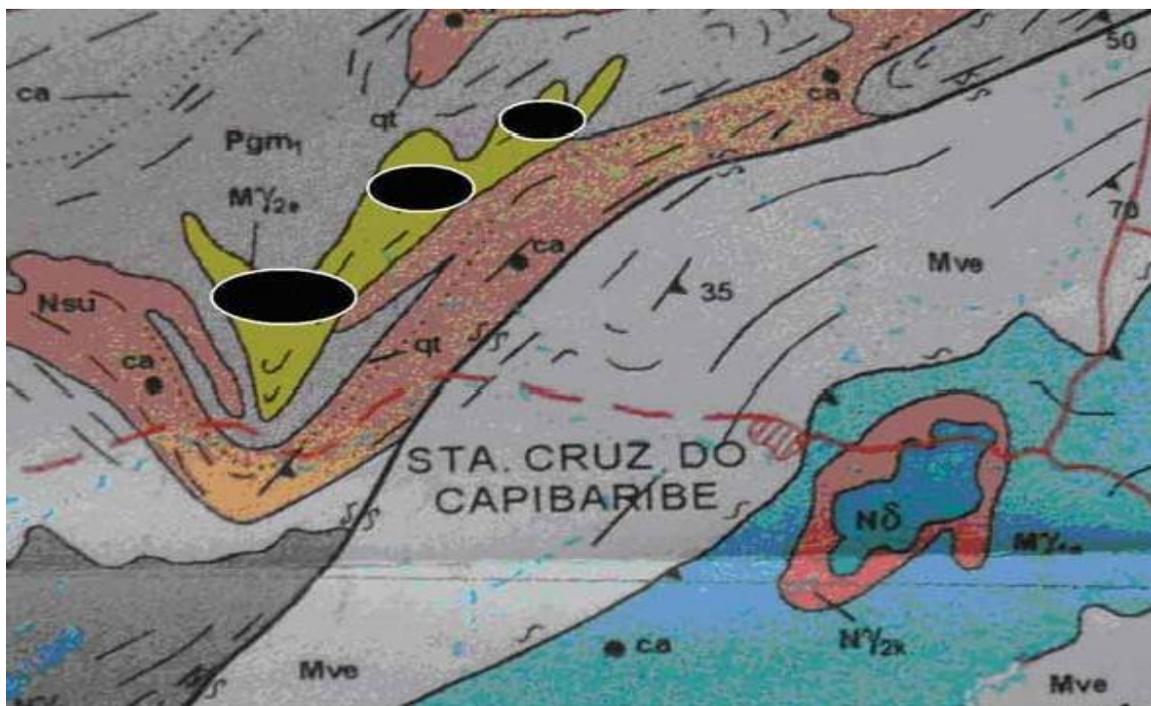
● Áreas potenciais de ocorrências do Granito Cinza Prata

Figura 05. Potencial geológico para granito tipo Cinza Prata na região de Garanhuns / Jupi – PE. Escala 1:500.000. Modificado de CPRM (2001).



● Áreas potenciais de ocorrências de Granito Ouro Branco

Figura 06. Potencial geológico para granito tipo Ouro Branco na região de Águas Belas – PE. Escal 1:500.000. Modificado de CPRM (2001).



● Áreas potenciais de ocorrências do Granito Preto

Figura 07. Potencial geológico para granitos pretos na região de Santa Cruz do Capibaribe – PE, Escala 1:500.000. Modificado de CPRM (2001).

2.5 Caracterização tecnológica das rochas ornamentais

Segundo Vidal *et. al.* (2013), as rochas ornamentais têm um valor comercial que resulta da demanda do mercado consumidor, especialmente por motivos ligados a suas propriedades de resistência, aptidão ao corte, polimento e beleza estética. Tal aspecto torna praticamente cada rocha única, tornando o estudo destes materiais e de suas propriedades um tema bastante complexo e particular. As principais utilizações das rochas ornamentais se encontram no setor da construção civil, onde geralmente se destinam a ocupar funções estruturais (pilares, vigas, revestimentos de pisos e fachadas interiores e exteriores), seguidas por aplicações decorativas, ornamentais, arte funerária e edificações de monumentos. As características físico-químicas que garantem a certas rochas tais tributos, resultam de sua gênese e composição mineralógica, associadas a seu passado geológico-tectônico.

Quando as características tecnológicas das rochas não são conhecidas previamente, assim como o reconhecimento das condições ambientais às quais os revestimentos estarão sujeitos, podem surgir problemas de inadequação do material para o uso pretendido. Vidal *et. al.* (2013), diz que a determinação das propriedades das rochas é realizada por meio da execução de ensaios e análises normalizadoras, em laboratórios especializados, que tem por objetivo a obtenção dos parâmetros petrográficos, físicos e mecânicos característicos, cuja análise permitirá a recomendação do uso mais adequado da rocha no revestimento de edificações, bem como subsidiarão a elaboração de projetos arquitetônicos. A Figura 08 mostra a relação desde a geologia até uso do material na construção civil.

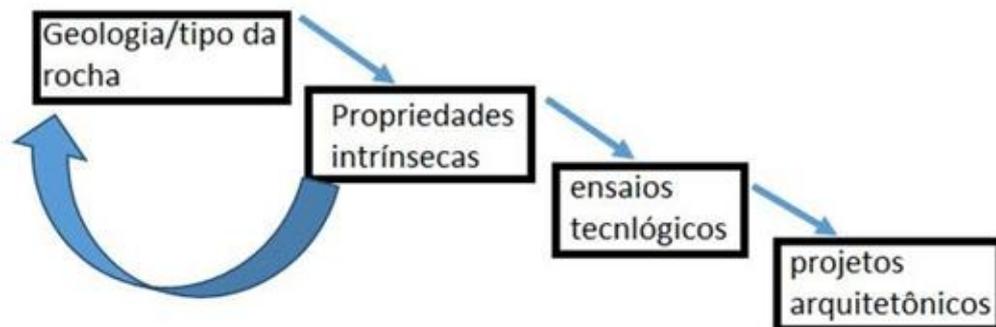


Figura 08. Ilustração da inter-relação entre geologia, tipo de rocha, tecnologia de rochas e construção civil. Modificado de Vidal *et. al.* (2013).

De acordo com Frascá (2002), os ensaios mais importantes a serem realizados são:

- Descrição petrográfica
- Determinação dos índices físicos (porosidade, absorção de água, densidade)
- Resistência à compressão
- Resistência à flexão
- Resistência ao impacto
- Módulo de deformação estática
- Coeficiente de dilatação térmica linear
- Congelamento e degelo
- Desgaste Amsler ou resistência ao atrito

Na Tabela 01 são descritos os requisitos das características físicas e mecânicas para material granítico destinados a revestimentos verticais e horizontais de exteriores e de interiores de construções segundo às normas brasileira (NBR 15844:2010) e americana (ASTM C 615:1992).

Tabela 01. Valores especificados para granitos pela ABNT NBR 15844 E ASTM C615.

Fonte: Frazão e Frajallat (1995).

Propriedades	ABNT NBR 15844	ASTM C615
Densidade aparente (Kg/m ³)	>2.550	≥2.560
Porosidade aparente (%)	1,0	N.E
Absorção d'água (%)	<0,4	≤0,4
Compressão uniaxial (MPa)	>100	>131
Módulo de ruptura carregamento em 3 ptos (MPa)	>10,0	>10,34
Módulo de ruptura carregamento em 4 ptos (MPa)	>8,0	>8,27
Coeficiente de dilatação térmica linear	<8,0	N.E
Impacto de corpo duro (m)	>0,3	N.E
Desgaste Amsler (mm/1000m)	<1,0	N.E

2.6 Tensões em maciços rochosos: origem e medição.

2.6.1 Origem das tensões

Conforme Ferreira (2004), o conhecimento do campo de tensões em maciços rochosos é de fundamental importância em diversos problemas nos campos da engenharia civil, mineira e do petróleo, assim como também na geologia e geofísica. Em geral, problemas relacionados com as tensões se incrementam com a profundidade, mas escavações a pouca profundidade poderia ser problemática também devido às altas tensões horizontais ou à sua não consideração

O estado de tensões da massa rochosa é espacialmente variável em função da presença de feições estruturais (tais como falhas) ou da variação local nas propriedades da rocha. O atual estado de tensões que atua em um determinado elemento da crosta terrestre deve ser função não apenas das condições atuais de carregamento, mas também do caminho de tensões definido pelo histórico geológico do maciço rochoso. Portanto, o estado natural de tensão resulta de sucessivos eventos, ocorridos durante a história geológica do maciço rochoso, correspondendo ao produto de vários estados de tensões anteriores.

Os maciços rochosos existentes na crosta terrestre estão submetidos a tensões cuja origem podem ser denominadas como naturais, também chamadas primitivas ou virgens, como por exemplo, efeito gravitacional, estrutural, etc. e induzidas que estão associadas com perturbações artificiais (escavação, perfuração, etc).

Segundo Silva (2008), as tensões primitivas possuem duas fontes principais, são elas: o peso, que gera as tensões gravitacionais e o tectonismo, que gera as tensões tectônicas. Os movimentos tectônicos afetam o campo de tensões através da geração de falhas, fraturas e dobramentos, que afetados pela erosão, podem gerar um padrão complexo de direção das tensões tectônicas.

Tensão gravitacional corresponde ao estado de tensão devido somente ao peso da rocha sobrejacente a um ponto ou ao plano do maciço rochoso. Desconsiderando-se o confinamento lateral, à medida que aumenta a profundidade em um maciço

rochoso, o peso de uma coluna de rocha em um determinado ponto gera tensões que aumentam com a espessura e o peso do material sobreposto. Essas tensões, que têm direção normal com sentido para o centro da terra, podem ser consideradas, neste caso hipotético, como uma das tensões principais, desde que não exista nenhum efeito provocado por processos tectônicos ativos, topografia ou estruturas geológicas.

Dentro deste contexto, Amadei e Stephanson (1997) em seus estudos sobre origem das tensões concluíram que a tensão tectônica corresponde ao estado de tensão devido ao deslocamento relativo entre placas litosféricas ou a outro processo geológico da dinâmica interna terrestre, sendo muito difícil de ser prevista em relação à grandeza e à direção, a menos que tenham ocorrido recentes movimentos tectônicos e atividade sísmica. As tensões de origem tectônica estão associadas aos diversos ambientes e fenômenos que ocorrem com o movimento relativo das placas litosféricas (nas suas bordas e no seu interior).

As tensões tectônicas podem ser ativas (devido ao continuo movimento das placas), e remanescentes – consequência de eventos tectônicos passados os quais têm sido parcialmente ativados por processos naturais, (AMADEI E STEPHANSON, 1997). A origem e a orientação das tensões são mostradas na Figura 09. São classificadas de acordo com a escala de atuação: principal, cujas forças atuam nos limites da placa litosférica; e local.

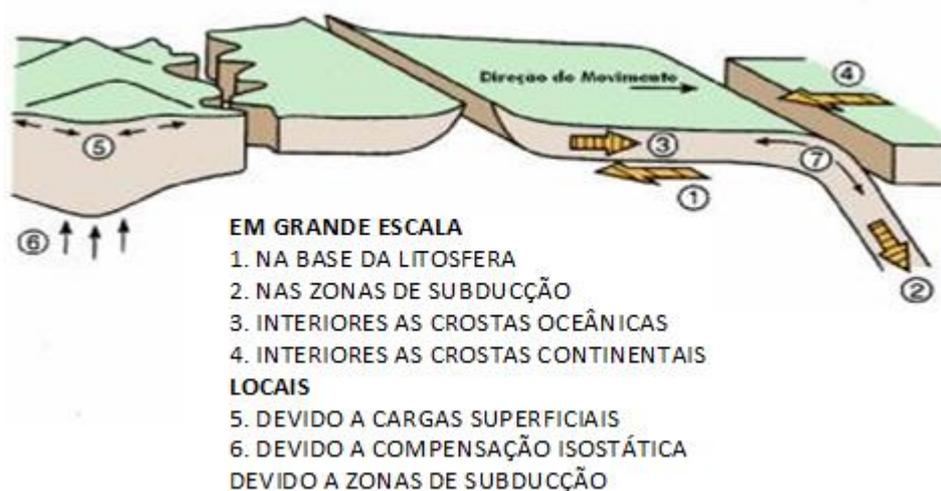


Figura 09. Origem e orientação das tensões tectônicas segundo Zoback *et al.* (1989) extraído de Silva (2008).

Outras fontes como efeitos térmicos estão constantemente modificando a estrutura das rochas. O aquecimento e o resfriamento da superfície dos maciços rochosos expostos a variações diurnas ou sazonais da temperatura ambiente, bem como o aquecimento devido a fontes de calor como a radioatividade ou ainda processos geológicos como intrusões magmáticas, por exemplo, geram tensões devido à expansão e à contração dos grãos minerais com diferentes propriedades termoelásticas. Outro exemplo de tensões consideradas também como de origem térmica, são as tensões geradas devido à expansão volumétrica da água, quando congelada no interior de microfissuras existentes nas rochas encontradas em regiões que apresentam um inverno rigoroso.

A tensão induzida é decorrente da redistribuição das tensões pré-existentes. É provocada pela perturbação do maciço com a implantação de obras de engenharia, como escavações ou construções, as quais são capazes de gerar tensões devido à retirada ou acúmulo de material, respectivamente. No caso das escavações, as tensões pré-existentes são perturbadas de tal forma que novas tensões são induzidas nas proximidades dessas obras.

Tensão residual é o termo usado para qualificar o estado de tensão que permanece no maciço rochoso ao término do mecanismo que lhe deu origem. Este tipo de tensão é auto-equilibrado. Aparentemente estas tensões estão relacionadas com um sistema de balanceamento (não necessariamente nulo) entre forças de tração e compressão, sendo encontradas em domínios desde micro (grãos e cristais) até macro-escala. Tanto o peso próprio do maciço como o tectonismo pode gerar tensão residual. Isto ocorre devido ao fato de que em profundidade, o nível de pressão e a temperatura em que são formadas as rochas muitas vezes diferem bastante das condições apresentadas pelo ambiente em que elas se encontram atualmente. Neste último caso, quando a rocha aflora a componente vertical é imediatamente anulada, visto que apenas o ar atmosférico é barreira existente, mas os esforços laterais permanecem e podem cada vez mais se pronunciar sob a forma de erosão e erosão.

Principalmente sobre exposições artificiais (pedreiras) de corpos graníticos podem ocorrer o fenômeno de deslocamento (*sheeting*) como forma de ruptura similar as

juntas, devido ao alívio de cargas suprajacentes, quer seja como efeito de erosão ou pela retirada da rocha, não sendo relacionado com processo de flexão ou outra feição estrutural primária.

2.6.2 Medição das tensões

Na ilustração a seguir, considera-se, primeiramente, uma parte seccionada do corpo rígido, onde aparecem, mantendo o equilíbrio da peça, a força e o momento resultantes atuantes no centro geométrico da seção de corte (solicitações). Num segundo momento, se considera a verdadeira distribuição de forças atuantes na seção de corte, onde cada força atua numa pequena parcela de superfície. Em seguida, se mostra que cada força pode ser desmembrada em componentes normal e transversal. Figura 10.

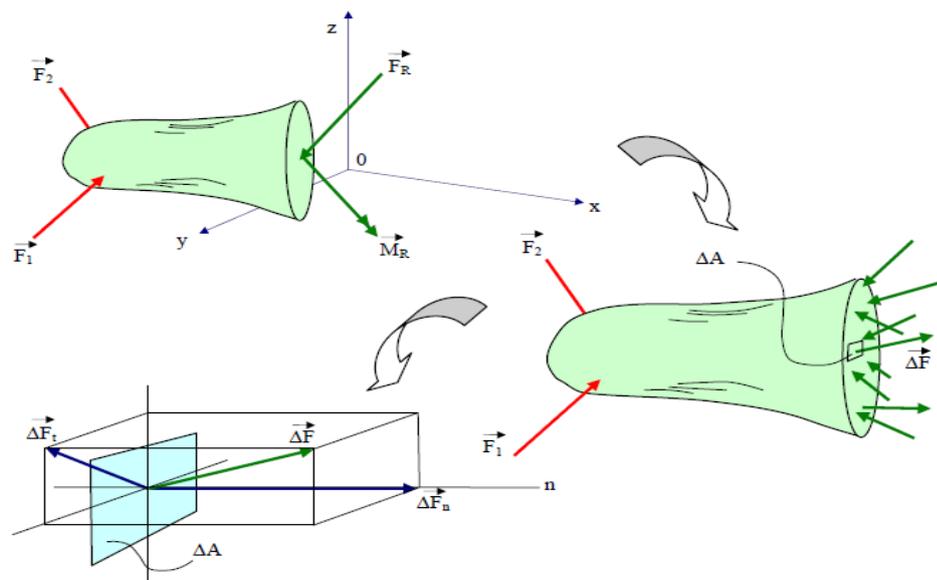


Figura 10. Forças atuantes em um corpo rígido. Fonte: Pacheco (2010).

Se admitirmos que a superfície em que cada força atua se aproxima de zero, temos as definições de tensões normal e cisalhante dadas matematicamente abaixo:

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \Delta F_n / \Delta A \quad \text{Tensão normal}$$

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \Delta F_t / \Delta A \quad \text{Tensão cisalhante}$$

Ao se considerar um sistema cartesiano de coordenadas para as áreas de atuação de cada força, obtêm-se as componentes de tensão associadas à área. Figura 11.

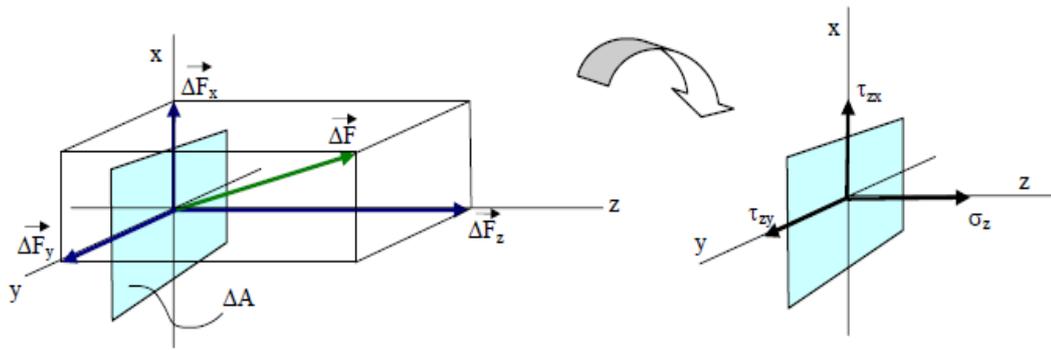


Figura 11. Componentes Cartesianas da Tensão. Fonte: Pacheco (2010).

Realizando-se outro seccionamento, perpendicular ao corte anterior, e procedendo-se de forma idêntica, obtemos mais três componentes de tensão. Assim, com quatro seccionamentos adicionais, obtém-se o cubo de arestas infinitesimais abaixo onde, em cada uma de suas faces, aparecem três componentes de tensão.

As tensões com sentidos positivos definem completamente o Estado de Tensões no Entorno de um Ponto, pois, por Superposição de Efeitos. Figura 12.

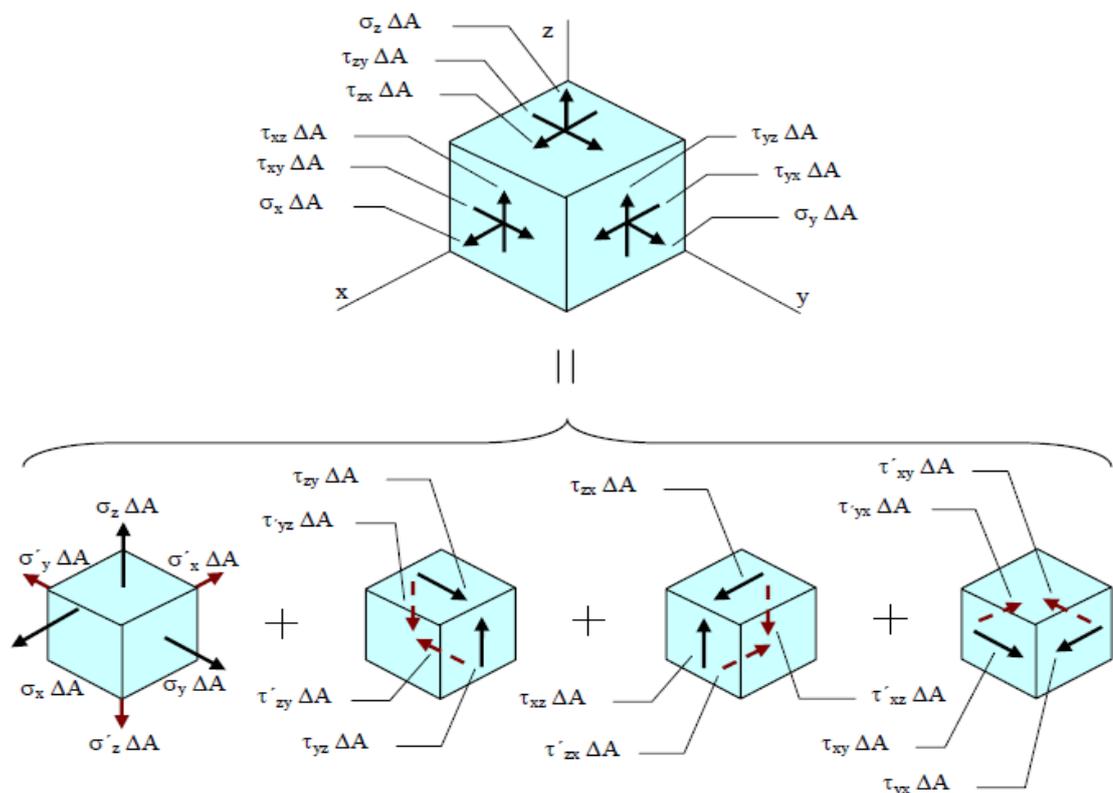


Figura 12. Componente de tensões em um cubo de arestas infinitesimais. Fonte: Pacheco (2010).

De onde, por equilíbrio, se conclui que apenas seis tensões são independentes e, por conseguinte, são suficientes para definir o estado de tensões no entorno de um ponto. Figura 13.

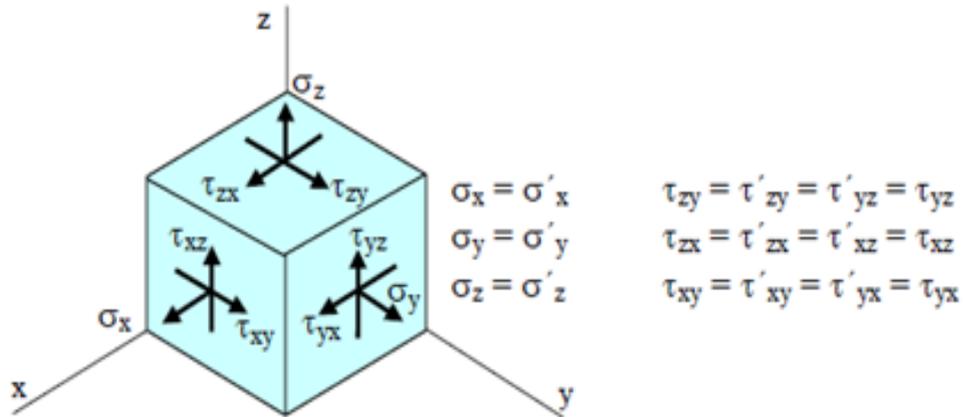


Figura 13. Tensões são independentes atuantes num cubo. Fonte: Pacheco (2010).

Via de regra, as tensões, segundo essas três direções, são de magnitudes diferentes tendo a seguinte notação:

- σ_1 – Direção de tensão máxima
- σ_2 – Direção de tensão intermediária
- σ_3 – Direção de tensão mínima

Em qualquer outro plano arbitrário, as solicitações incluirão uma tensão normal, de magnitude intermediária entre σ_1 e σ_3 e uma tensão cisalhante τ , cuja atuação é paralela ao plano, (MENDES, 2008).

Obviamente as intensidades de σ e τ são funções não só dos valores das tensões principais, mas também do plano em relação às mesmas. Em termos teóricos a tensão máxima cisalhante sucede-se ao longo de duas superfícies que fazem um ângulo de 45° com a direção de tensão máxima, conforme pode-se observar na Figura 14. A força F atua em um prisma de área basal a , resolvendo-a segundo o plano $\pi\pi'$, tem-se F_n , a força normal e F_c , a força paralela a esse plano.

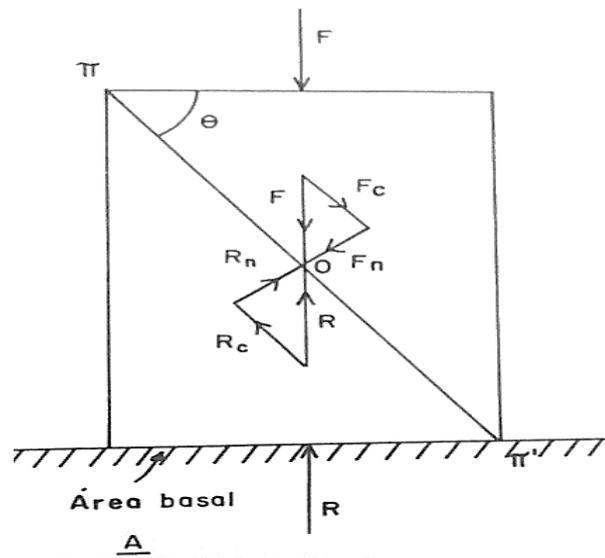


Figura 14. Ilustração de tensões desenvolvidas em uma superfície $\pi\pi'$, de um corpo prismático. Fonte: Ladeira e Loczy (1976).

$$\text{Área de } \pi\pi' = \frac{A}{\cos \theta} \quad F_n = F \cos \theta \quad F_c = F \sin \theta$$

A tensão normal é:

$$\sigma_n = \frac{F \cos \theta}{\frac{A}{\cos \theta}} = \frac{F}{A} (\cos \theta)^2$$

A tensão cisalhante é:

$$\tau = \frac{F \sin \theta}{\frac{A}{\cos \theta}} = \frac{F}{A} \sin \theta \cos \theta$$

Sendo,

$$\sin \theta \cos \theta = \frac{\sin 2\theta}{2}$$

$$\tau = \frac{F \sin 2\theta}{2A}$$

O maior valor da tensão cisalhante será obtido quando $\theta = 45^\circ$.

Estudos e ensaios em laboratório do fraturamento observado em materiais rochosos têm gerado um grande acervo de dados de real interesse para aplicações na

mecânica de rocha e principalmente na lavra de maciço para fins ornamentais. Tais trabalhos têm esclarecido muitas das relações observadas em campo.

Considerando-se que um corpo rochoso, funcionando como corpo de prova, seja submetido a uma ação compressiva, ocorre o desenvolvimento de numerosas fraturas. Tais cisalhamentos aumentam em número e dimensões até que o corpo se rompa definitivamente. Estes rompimentos ocorrem pelo aproveitamento de fraturas longitudinais a direção principal de tensão ou através do desenvolvimento de superfícies de cisalhamento com ângulo teórico de 45° com a direção de compressão máxima. Pelo exposto conclui-se que a direção de tensão máxima σ_1 constitui a bissetriz do ângulo que os planos de cisalhamento fazem entre si, o qual é menor que 90° e em geral próximo 60° , (MENDES, 2008), conforme ilustrado na Figura 15.

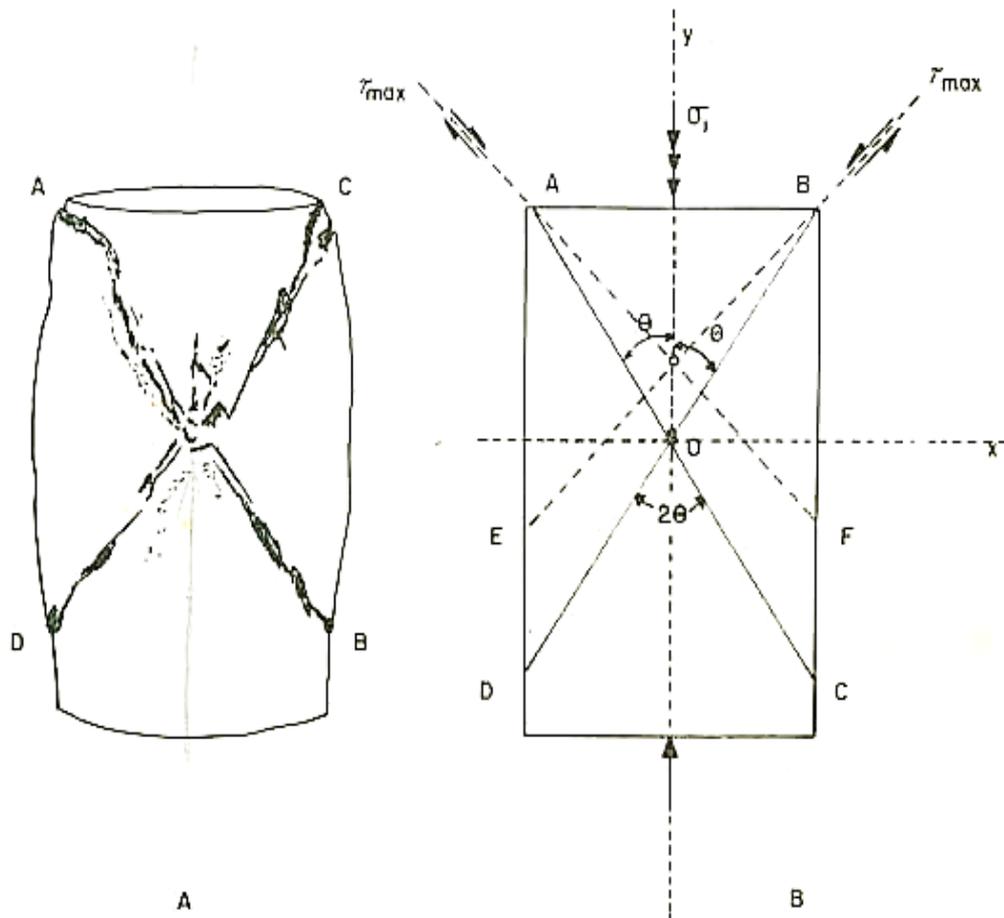


Figura 15. Desenvolvimento de fraturas de cisalhamento desenvolvidas sob ensaios de compressão. Fonte: Ladeira e Loczy (1976).

2.7 Estudo geotectônico da província da Borborema

Segundo Mendes e Santos (2003), o Estado de Pernambuco está inserido na Província Borborema, a qual constitui uma entidade geotectônica de caráter policíclico, situada entre os Crátons de São Luis e São Francisco. A Província Borborema localiza-se no Nordeste Brasileiro, abrange os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e porção norte da Bahia, vide Figura 16.

Em termos geológicos a província mostra uma diversidade de ambientes geotectônicos, cuja história geológica se estende do Arqueano ao recente. Sua evolução é caracterizada por uma mobilidade tectônica com alternância de regimes compressivos e distensivos. A consolidação do seu embasamento e a consequente geração de jazimentos de rochas com fins ornamentais ocorreu em pelo menos cinco eventos tectônicos relacionados ao Arqueano, Paleoproterozóico, Mesoproterozóico, Neoproterozóico e Mesozóico. Nestes se registram abundantes jazidas de rochas ornamentais não orientadas (granitóides) e movimentadas (ortognaisses e migmatitos).

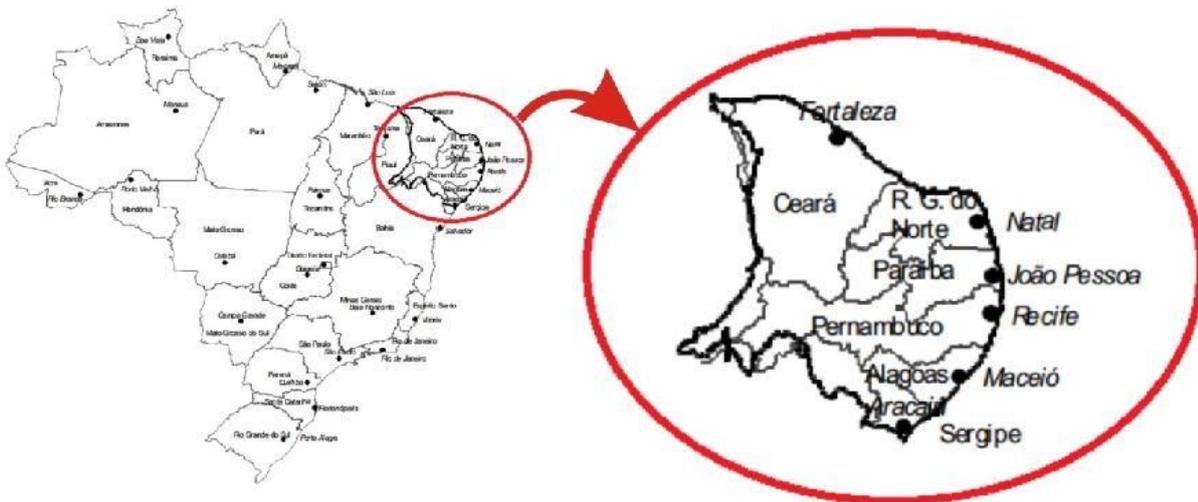


Figura 16. Mapa de localização da Província da Borborema. Fonte: Mendes e Santos (2003).

Os eventos arqueanos na província acham-se bem documentados no Terreno São José do Campestre (RN), Granjeiro (PB), e no maciço Tróia Mombaça (CE). Apresenta um contexto geológico formado por gnaisses de alto grau, granulitos,

trondhjemitos, granitos e terrenos granito-greenstone.

Segundo esses pesquisadores, o Paleoproterozóico acha-se representado pelos Complexos Floresta e Pão de Açúcar, com o primeiro constituído por ortognaisses, quartzo-dioritos, tonalitos e granodioritos, contendo ainda granulitos, migmatitos, metabásicas e ultrabásicas. O Complexo Pão de Açúcar congrega uma associação de ortognaisses, granitos e tonalitos”.

O Mesoproterozóico engloba uma sequência de faixas metassedimentares, correspondendo aos complexos São Caetano, Lagoa das Condendas, Sertânia, Vertentes e Cabrobó, o qual se notabiliza por encerrar vários jazimentos de rochas ornamentais que já foram objetos de exploração. Nesta sequência existem ocorrências de ortognaisses e migmatitos de natureza indiscriminada, apresentando coloração cinza-clara de composição tonalítica, em alternância com porções de neossoma róseo-avermelhado, ricas em feldspato potássico. Associados a estas unidades têm-se os jazimentos de granitos vermelhos comercialmente denominados de Frevo e Carnaval, no município de Sertânia.

O Neoproterozóico encontra-se extensivamente representado em todos os seguimentos da província. Foi afetado por intensos e extensos processos de intrusão de magmas graníticos, que resultaram na colocação de inúmeros corpos de composição variada, compondo um quadro geológico favorável para ocorrência de jazidas de rochas ornamentais, tanto dos tipos comuns, quanto dos materiais mais nobre, passíveis de negociação no mercado internacional de blocos. Associadas a este evento tem-se as rochas de tonalidades marrons e granulação grosseira, comercialmente conhecidas como granito Marrom Imperial, estes associam-se a plutonitos da Suíte Shoshonítica e composição quartzo-sienítica, (MENDES; SANTOS, 2003).

Nesta Província, a excelência de sua geodiversidade em rochas para fins ornamentais ocasionou a instalação de vários polos produtores de rochas ornamentais, os quais acham-se localizados na Figura 17.

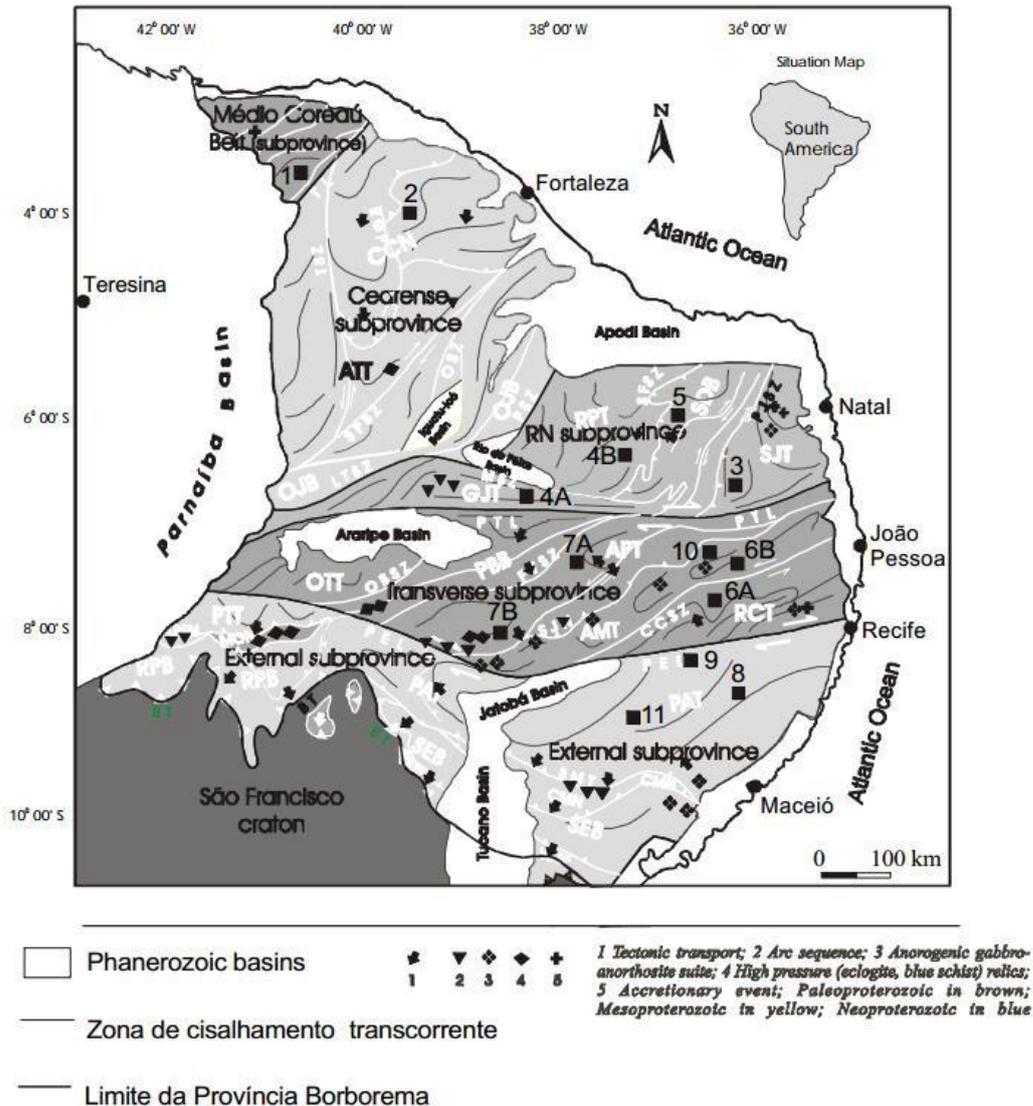


Figura 17. Mapa de localização dos principais polos de produção de rochas ornamentais na Província Borborema. Fonte: Mendes e Santos (2003).

1. Verde Meruoca, Verde Ceará, Rosa Iracema, Amarelo Lamartine, Green- Pantanal e Palladium;
2. Red Symphony, Yellow Symphony, Casa Branca, Branco Ceará, Branco Cristal, Branco Abelha e Asa Branca;
3. Juparana Rosa, Preto São Marcos, Rosa Caique, Caramelo Picuí e Branco Floral;
4. 4A - Juparaíba Rosa;
5. 4B - Verde tipo Ubatuba;
6. 5 - Dália (Star White), Branco Borborema, Rosa Florença, Juparana Branco, Verde Gaugan, Verde Fashion e Verde Reis Imperial;
7. 6A - Marrom Imperial e Lilás Imperial;
8. 6B - Verde Chateaubriand e Greenspace;
9. 7A - Bianco Jabre, Imaculada, Cinza Taperoá, Azul Sucuru e Amarelo Cabaça; 7B - Vermelho Carnaval e Frevo;
10. Rosa Imperial e Cinza Prata;
11. Vermelho Relíquia, Samba, Vermelho Ipanema e Vermelho Ventura; 10 - Branco Acará e Amarelo Gurinhém;
12. 11 - Ouro Branco, e Amêndoa Maravilha.

2.8 Geologia Regional:

A área estudada é constituída por rochas cristalinas pré-cambrianas, submetidas a vários estágios de deformação e metamorfismo de médio a alto grau chegando a atingir o fácies anfibolito. Situa-se no interior do denominado Subdomínio Zona Transversal da Província Borborema, limitado a sul e a norte pelos lineamentos Pernambuco e Patos, respectivamente. Do ponto de vista tectônico, pertence ao Terreno Rio Capibaribe, o qual apresenta uma história geológica, que se estende do Paleoproterozóico ao recente, incluindo eventos datados do Meso e Neoproterozóico.

Em termos estruturais notabiliza-se por apresentar uma forte tectônica tangencial, que resultou em várias fases de deformações plicativas, iniciada por um estilo isoclinal apertado D_1 com plano axial variando de inclinado a recumbente, afetado por uma fase D_2 também constituída por dobras apertadas, inclinadas a deitadas, redobradas em uma fase D_3 caracterizada por dobras abertas de P. A. vertical. No geral apresentam estruturação orientada para nordeste, afetada por uma fase transcorrente posterior de rejeito sinistral. As duas primeiras fases de deformação acham-se associadas nitidamente uma tectônica tangencial, enquanto a fase D_3 relaciona-se a fase de transcorrência que afetou a região.

Em termos estratigráficos tem-se inicialmente a seqüência paleoproterozóica, migmatizada, polideformada e metamorfozizada na fácies anfibolito alto, sendo formada por complexo metaplutônico de composição throndjemito-tonalítico-granodiorítico compreendendo o embasamento do Terreno Rio Capibaribe.

Sobreposto a esta unidade e datado do Mesoproterozóico, tem-se o Complexo Vertentes constituído por paragneisses, além de rochas ortoderivadas formadas por anfibólio-biotita gnaisses, metavulcânicas félsicas a intermediárias, metavulcanoclásticas, metamáficas e metaultramáficas, além de calcissilicáticas. Posicionados neste período de evolução geológica do Pré-Cambriano nordestino ocorre os ortogneisses migmatizados de granulação média a grossa e textura variando de equigranular a porfirítica. Mostra-se constituídos por quartzo, feldspatos e como máficos predominantes. No geral englobam biotita-anfibólio augengnaisses,

graníticos, granodoritos e quartzo sienitos da Suíte Serra de Taquaritinga, Relacionados ao Neoproterozóico ocorre o Complexo Surubim, o qual constitui uma sequência metassedimentar formada por biotita gnaisse, gnaisse granadífero, gnaisses a duas micas, biotita xistos, quartzitos, e lentes de cálcario cristalino.

Associados ao Plutonismo Brasileiro afloram as rochas da Suíte Shoshonítica, constituídas por quartzo-sienito grosseiro, porfirítico de cor lilás amarronzada, contendo em seu interior os “cumulatus” de mala-sienito grosseiro porfirítico, formado por fenocristais de feldspato calcosódico circundados por fenocristais de microclina de cor róseo. Apresenta coloração marrom escura, compreendendo corpos de dimensões variáveis. No geral todo o conjunto dispõe-se na direção NE-SW, com formato elipsoidal, sendo encaixado em parte pelos metamorfitos do Complexo Vertentes localizados a Nordeste. A oeste limita-se através de falha transcorrente de rejeito sinistral, com os ectinitos do Complexo Surubim. A Sudeste e a Norte faz contato com o embasamento metaplutônico.

Ainda relacionados ao Neoproterozoico tem-se ainda os granitoides da Suíte Intrusiva Itaporanga constituídos por Biotita-anfibolio granitóides grossos a porfiríticos, com enclaves dioríticos e fácies sieníticas inclui também termos dioríticos de granulação fina poem predominar. Afloram ainda os granitos finos, róseos, com porções sieníticas e thronjemíticas. Também relacionados a Orogenia brasilana têm-se os metagranitoides a biotita indiscriminados em termos litogeoquímicos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS

3.1 Localização, características fisiográficas e econômico-sociais sobre a área estudada.

A área em questão situa-se na região agreste do Estado de Pernambuco, mais precisamente no Sítio Pau Santo, distrito de Umari do município de João Alfredo, inserindo-se na Folha Surubim SB.25-Y-C-IV. No geral as vias de acesso são consideradas boas, permitindo o tráfego de veículos pesados o ano todo, conforme visto na Figura 18. O acesso à referida área, a partir do Recife, pode ser efetuado por via terrestre inicialmente através da PE-90 até o Distrito de Umari, neste ponto à esquerda, percorre-se por estrada de terra no sentido sul cerca de 2,5 km até a ocorrência.

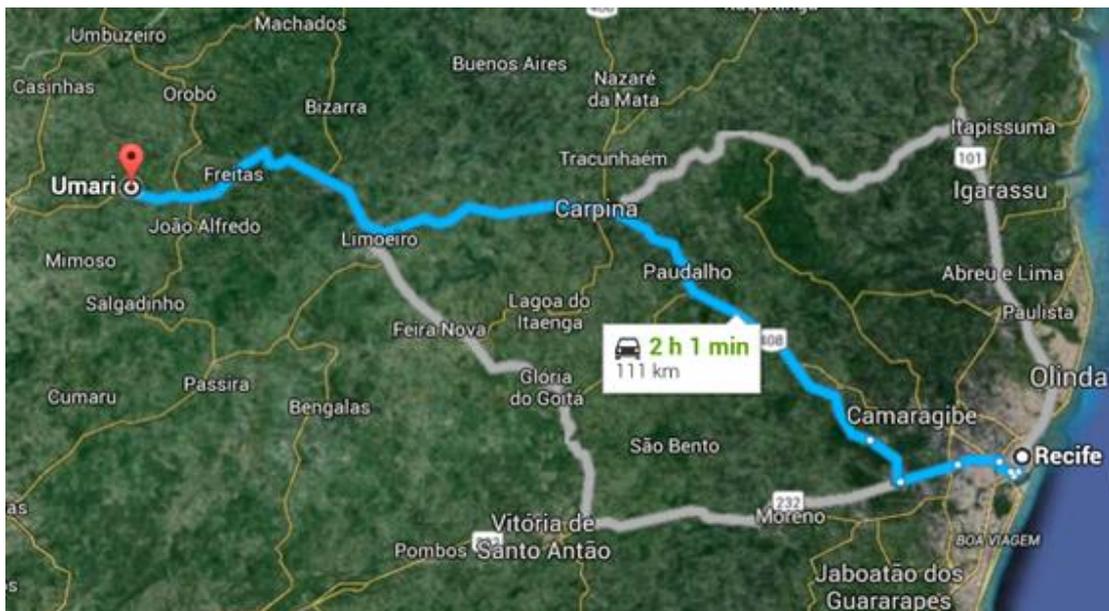


Figura 18. Mapa de acesso à área de exploração – Umari/PE. Fonte: Google Maps.

A área que contém o litotipo de interesse possui 150 hectares de superfície, cuja poligonal é formada pelos quatro pontos dispostos na Tabela 02 a qual contém rumos e distâncias entre os diversos vértices.

O ponto de amarração é o vértice 1 da poligonal, localizada através das coordenadas medidas com auxílio de GPS com 070 50' 27,506" de latitude Sul e 350 38' 30,00" de longitude Oeste.

Tabela 02. Poligonal da área de interesse.

Lados	Extensão (m)	Rumo
1 – do vértice 1 ao vértice 2	1.000 m	Norte-Sul
2 – do vértice 2 ao vértice 3	1.500 m	Leste-Oeste
3 - do vértice 3 ao vértice 4	1.000 m	Sul-Norte
4 – do vértice 4 ao vértice 1	1.500 m	Oeste-Leste

A região em estudo faz parte da Zona Fisiográfica do Agreste Setentrional–Microrregião Bom Jardim-João Alfredo onde predomina um clima BSh's, segundo a classificação de Koppen, tipo transição Tropical Úmido para Semi-árido, com curta estação chuvosa outono-inverno e temperatura média anual de 25°C.

A vegetação dominante é a que caracteriza a Caatinga com cactáceas e a arbustiva que, neste caso, devido às proximidades com regiões de maior pluviosidade, é conhecida particularmente de caatinga úmida, apresentando vegetação típica de agreste. A rede de drenagem é do tipo dentrítico, sendo comandada pelas bacias dos rios Capibaribe e Tracunháem.

A área pesquisada oferece razoáveis condições de infra-estrutura para a atividade de extração de granito de cantaria. As frentes de lavra situam-se a 2,5 Km das margens da rodovia asfaltada que liga as cidades de Carpina, Surubim. O trajeto em direção ao Recife é feito através de rodovia pavimentada (PE-90), a distância entre João Alfredo e a capital pernambucana, principal centro de consumo e escoamento do produto é de cerca de 111 km.

Além de contar com as sedes de Bom Jardim, João Alfredo e Surubim para o apoio logístico mais simples às operações de lavra, pode-se ainda obter nas cidades de Limoeiro, Carpina apoios mais completos, pois tais cidades contam com centros comerciais e de serviços mais desenvolvidos.

3.2 Geologia Local

A área estudada faz parte de um extenso corpo plutônico com características de um “batólito”, o qual se encontra intrudido no Complexo Migmatítico-Granitóide. A rocha

constitui um mela-sienito grosseiro, textura porfirítica, onde os megacristais de feldspato potássico de cor marrom escura dispõem-se em uma matriz rica em anfibólio, biotita e feldspato, além de aureolas de microclina rósea que circundam os megacristais de feldspato. Esta rocha constitui cumulos inclusos em um quartzo sienito porfirítico pertencente a denominada suíte shoshonítica de amplitude regional. Os minerais têm dimensões médias de 1cm x 0,5cm subparalelamente orientados e dispostos numa matriz fanerítica, fina, com variações para média.

A Suíte Shoshonítica constitui uma das unidades mais prospectivas do Neoproterozóico pernambucano. Localmente mostra-se representado pelo quartzo-sienito porfirítico de cor lilás, com enclaves máficos e “cumulatus” de mela-sienito porfirítico grosseiro de cor marrom escura, conhecido no mercado como granito Marrom Imperial.

A encaixante desse litotipo, o quartzo-sienito, também se presta ao setor de rochas ornamentais, constituindo um material comum, comercializado no mercado interno de chapas e padronizados sob o nome de Lilás Imperial.

Nos mela-sienitos os feldspatos aparecem sob a forma de cristais, variando de retangular a sub-retangular, de bordas arredondadas, com dimensões médias de 1 a 2 cm de comprimento por 0,5 cm de largura. Contém microfraturas regeladas, restritas aos limites dos grãos. Apresentam frequentemente um zoneamento muito nítido, com uma aureola de feldspato róseo (augita) em torno dos grãos.

A placa polida da rocha apresenta excelente aspecto estético-decorativo, com coloração marrom escura dominante, devida ao feldspato marrom (ortoclásio), observa-se notável homogeneidade litológica, outrora a presença de veios é notável em algumas áreas de exploração. Possui textura porfirítica bem desenvolvida. Apresenta em certos casos a hornblenda como máfico separando os cristais maiores de plagioclásio, em outros casos possui tonalidade mais escura. É comum a presença de xenólitos de quartzo sienito inclusos nos cumulatus de mela – sienitos porfiríticos. Comumente mostra um zoneamento de cores muito nítidas, formado por película de feldspatos rosa em torno dos grãos maiores de feldspatos de cor marrom, o qual pode, vez por outra, mostrar uma forte iridescência de cor cinza

preta, conforme notado na Figura 19. Os mapas geológicos de detalhe e semi-detalhe seguem em ANEXO I e II, respectivamente.

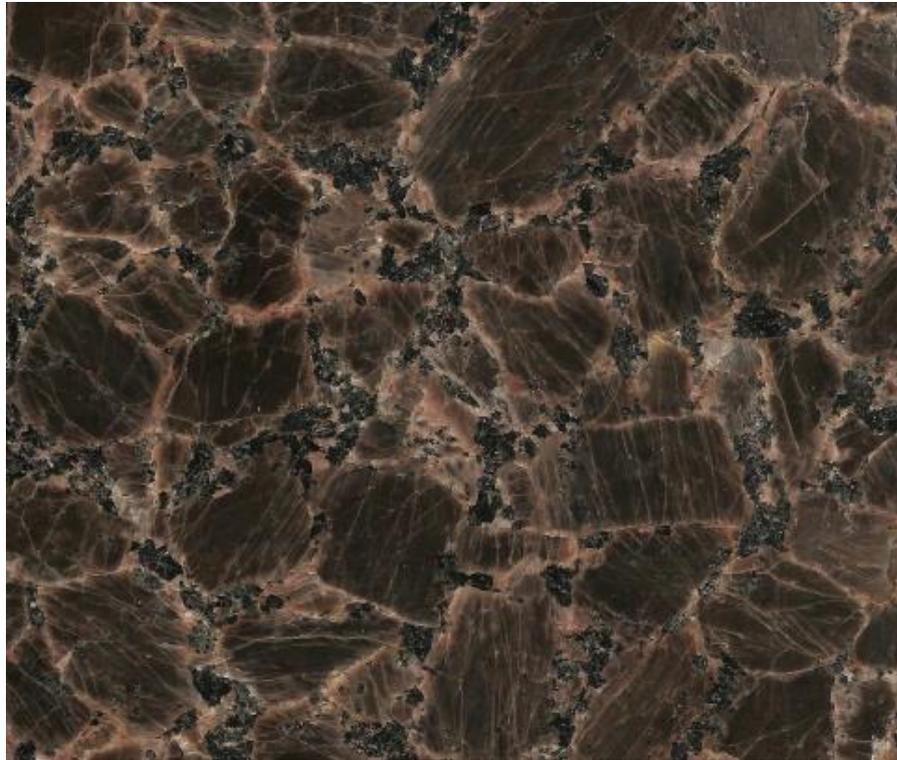


Figura 19. Placa polida de Marrom Imperial. Fonte: AUTORA.

Na Tabela 03 tem-se a composição mineralógica do litotipo pesquisado.

Tabela 03. Composição mineralógica do Marrom Imperial

Mineral	Porcentagem (%)
Ortocásio	80
Quartzo	4
Augita	8
Biotita	2
Hornblenda actinolítica	5
Ortocásio	80

3.3 Análise das tensões no maciço estudado

Devido à falta de conhecimento da atuação dos campos de tensões naturais em maciços rochosos, muitos insucessos têm ocorrido com as rochas ornamentais

durante a fase de lavra. Por isso se faz necessário um estudo prévio das fraturas e tensões residuais.

A Figura 20 mostra um par de fraturas cisalhantes na área de pesquisa. Nota-se semelhança com a Figura 15 encontrada no livro de Ladeira e Loczy (1976) que mostra o desenvolvimento de fraturas de cisalhamento desenvolvidas sob ensaios de compressão.

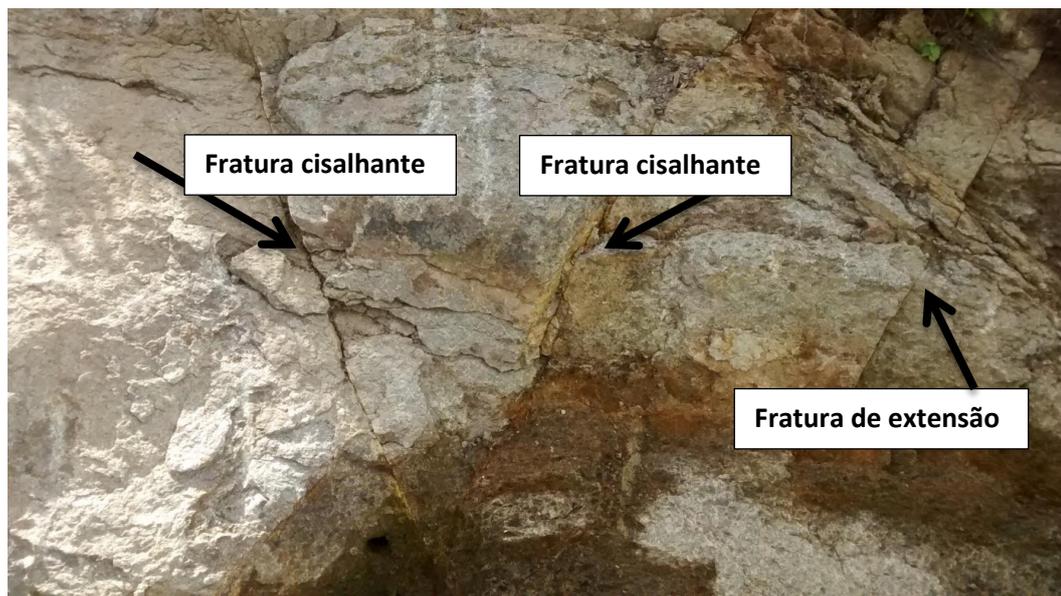


Figura 20. Fratura de cisalhamento em Umari-João Alfredo. Fonte: Autora.

Uma forma de fácil de identificar o resultado do cisalhamento é através da análise das fraturas, pela sua face perfeitamente lisa, com minerais orientados e estirados de acordo com a direção de movimento da força. As fraturas de cisalhamento formam um par conjugado, cuja bissetriz do ângulo agudo formado entre eles constitui o eixo de compressão σ_1 , enquanto as fraturas de tensão dispõem-se paralelos e perpendiculares a este eixo. A partir da Figura 21 e 22 nota-se o baixo ângulo de rake, característico das fraturas de cisalhamento.



Figura 21. Minerais orientados segundo uma lineação de estiramento I_x no plano.

Fonte: Autora.



Figura 22. Face mostrando a superfície de cisalhamento. Fonte: Autora.

Segundo Ladeira e Loczy (1976), em muitos ensaios de compressão em corpos rochosos, em formatos prismáticos ou cilíndricos, estes se rompem por meio de fraturas ou lascas paralelas à clivagem de fratura e as faces verticais do prisma e, em outros casos, após a ação do esforço compressivo devido ao alívio gerado, as fraturas se dispõem perpendiculares ao eixo de compressão. Figura 23.

Ensaio de laboratório descritos em Ladeira e Loczy (1976) mostram que se um

prisma submetido a uma carga compressiva estiver em meio fluido, que lhe exerça uma pressão hidrostática elevada, encerrada a compressão e retirando se o prisma da máquina, observar-se-ão numerosas fraturas normais ao eixo de compressão. O mesmo acontece com o corpo rochoso em profundidade, quando sofre alívio de carga causado pela retirada do capeamento rochoso que a comprimia, o que provoca o aparecimento de fraturas paralelas a superfície do relevo. Ou seja, as fraturas de acomodação ou alívio constituem fraturas de tensão geradas pela expansão do corpo rochoso, após se suprimir a atuação da tensão compressiva. A imagem Figura 24 exibe uma fratura de alívio encontrada durante a visita técnica.

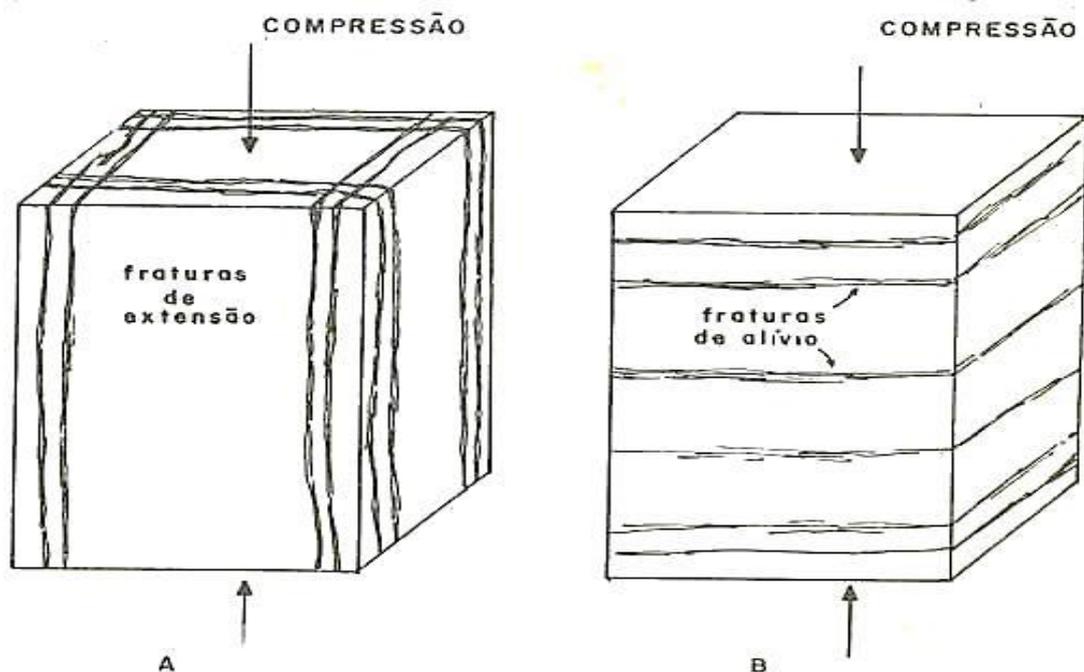


Figura 23. Desenvolvimento de fraturas de tensão e alívio em corpos rochosos por ensaios de compressão. Fonte: Ladeira e Loczy (1976).

Em (A) desenvolvimento de fraturas de tensão paralelas aos lados do prisma e da direção da compressão máxima. (B) fraturas de alívio isoladas paralelamente ao topo do prisma e perpendicular à direção de compressão máxima.



Figura 24. Fratura de alívio na Pedreira de Marrom Imperial. Fonte: Autora.

Interpretando o estudo representado pela Figura 25 compreende-se perfeitamente o mecanismo de geração das fraturas de cisalhamento desenvolvidas em rochas plutônicas (graníticas e granodioríticas).

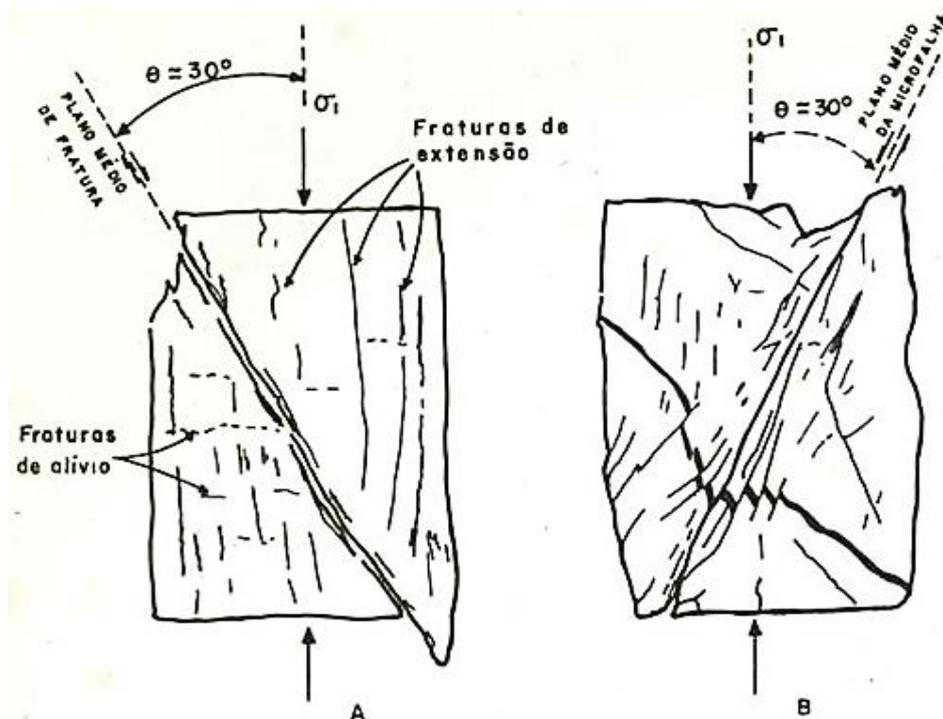


Figura 25. Desenvolvimento de fraturas de cisalhamento (inclinadas), de tensão (verticais) e as de alívio (horizontais), estabelecidas em espécimes rochosos submetidos à compressão.

Fonte: Ladeira e Loczy (1976).

Em (A) observam-se fraturas subsidiárias. (B); mostra que a fratura de cisalhamento principal constitui uma microfalha. Tais testes foram realizados por Borg e Handin (1966), simulando-se uma situação de crosta a 17,7 km de profundidade, correspondente a uma pressão de 5 Kb e a uma temperatura de 500°C.

3.4 Ensaios de caracterização tecnológica

3.4.1 Análise petrográfica

Uma das ferramentas básicas para avaliação da susceptibilidade preliminar do material rochoso à alteração é fornecida pela análise petrográfica (RIBEIRO, 2011).

A análise petrográfica é realizada através de exames macroscópicos de amostra *in natura* e microscópico de lâminas delgadas das rochas, com espessura de 30µm ao microscópio de luz transmitida; consiste na descrição dos minerais e suas inter-relações (ou arranjo textural), que permitem identificar a natureza ou tipo de rocha, os minerais presentes e suas inter-relações, o grau de alteração, o estado microfissural dos cristais, sua granulação e textura, além de outras características que possam influenciar na durabilidade da rocha.

Através dessa análise é possível se fazer uma reconstituição histórica da rocha, em que se incluem informações que vão desde as condições físico-químicas atuantes na época de sua formação até a identificação de eventos geológicos (tectônicos, hidrotermais, metassomáticos, intempéricos) a que foi submetida ao longo de sua existência (VIDAL; BESSA; LIMA, 1999).

As análises petrográficas foram desenvolvidas no Laboratório de Mineralogia Óptica do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco, aplicando-se a norma NBR 15845/2010, como uma das etapas iniciais deste projeto.

As lâminas para desenvolvimento do estudo petrográfico foram confeccionadas no Laboratório do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco.

3.4.2 Índices físicos

Os ensaios para a determinação dos índices físicos (massa específica aparente, porosidade e absorção aparentes), foram desenvolvidos no Laboratório de Rochas Ornamentais do PPGEMinas da Universidade Federal de Pernambuco, utilizando-se a norma ABNT NBR 15845:2010, Anexo B. Estes índices definem relações básicas entre a massa e o volume das amostras de um determinado tipo de rocha.

Segundo Chiodi (2009), a massa específica aparente é expressa em g/cm^3 , kg/m^3 ou t/m^3 , indicando o peso das unidades de volume de uma determinada rocha. A porosidade aparente e a absorção d'água são expressas em porcentagem, indicando respectivamente a porcentagem total de espaços vazios em um volume de rocha e a porcentagem de espaços vazios intercomunicantes nesse mesmo volume. O índice de absorção d'água nunca é, portanto, superior ao índice de porosidade aparente, destacando-se que uma rocha com alta porosidade não tem necessariamente alta absorção d'água, pois seus poros e cavidades podem não ser comunicantes.

A massa específica aparente e a porosidade aparente mostram relação direta com a resistência físico-mecânica das rochas mediante esforços compressivos e de flexão; e o índice de absorção d'água, com a possibilidade de infiltração de líquidos. Além disso, essas propriedades permitem indiretamente inferir possíveis patologias como manchas e escamações, já que a maioria das alterações observadas em rochas de revestimento está associada à percolação e/ou acumulação de soluções nos ladrilhos de rocha, (FRASCÁ, 2001).

Para a realização deste ensaio são necessários 10 corpos de prova com dimensão entre 5 cm a 7 cm e com relação base: altura 1:1. Os corpos de prova são lavados em água corrente com escova de cerdas macias, após retirado o excesso de água com papel toalha são pesagem e submetidos à estufa por 48 horas, temperatura de $70^\circ\text{C}(+/-)$ para completa secagem. Após isso, retirá-los e deixá-los esfriarem à temperatura ambiente e por conseguinte determinar as massas secas (Msec).

Em seguida, para a saturação, colocam-se os corpos-de-prova numa bandeja e adiciona-se água até 1/3 de suas alturas. Após 4 horas, adiciona-se água até 2/3. Depois de 8 horas, os corpos-de-prova são totalmente cobertos com a água destilada e deixados por mais 40 horas submersos. Transcorridas as 40 horas de submersão, enxuga-se a superfície dos corpos de prova e determinam-se suas massas saturadas (M_{sat}). Finalmente, determinam-se os valores de suas massas submersas (M_{sub}), utilizando-se uma balança para pesagem hidrostática.

Os cálculos são feitos utilizando-se as seguintes expressões (NBR 15845/2010):

Densidade aparente:

$$\rho_a = \frac{M_{sec}}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 1000 \quad \text{Equação (1)}$$

Porosidade aparente:

$$\eta_a = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

Absorção d'água:

$$\alpha_a = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} \times 100 \quad \text{Equação (3)}$$

3.4.3 Resistência à compressão uniaxial

O ensaio de compressão uniaxial determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. Segue a Normativa da ABNT NBR 15845/2010 – ANEXO E - (Rochas para revestimento - Determinação da resistência à compressão uniaxial).

Sua finalidade é avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física (FRASCÁ, 2001).

A tensão suportada varia de acordo com a composição mineralógica, a textura, o estado de alteração e a porosidade do material (KALIX, 2011).

Segundo Santos e Barrosos (2002), as propriedades geomecânicas de rochas são dependentes do volume afetado pelo ensaio. Pelo fato de as rochas possuírem micro descontinuidades (“defeitos”), que reduzem a resistência, quanto maior o volume ensaiado, também será maior a quantidade de microdescontinuidades que influenciam a resistência.

O procedimento consiste em submeter os corpos-de-prova cúbicos, com dimensões 7 x 7 x 7 cm, à condição seca. Antes do ensaio, os corpos de prova foram deixados na estufa (70°C +/- 5 °C) por 48 horas. Decorrido o tempo estimado para a secagem, as amostras foram inseridas uma por vez na prensa hidráulica da marca WPM, e submetidas à ação de uma força de compressão, sob uma taxa de menor que 0,7 MPa/s.

A determinação da compressão uniaxial foi obtida através da seguinte fórmula:

$$T = (F / A) \quad \text{Equação (4)}$$

Onde,

T = tensão (carga de ruptura - MPa);

F = força exercida no corpo de prova (kN);

A = área de aplicação da carga (mm²)

3.4.4 Resistência ao impacto de corpo duro

O ensaio de resistência ao impacto de corpo duro possibilita a obtenção de informações relativas ao grau de tenacidade de um material rochoso, e, conseqüentemente de sua capacidade de suportar ações mecânicas instantâneas, (VIDAL; BESSA; LIMA, 1999). O objetivo deste ensaio é simular a queda de objetos em um piso e observar os danos causados.

A norma utilizada para este procedimento é a NBR 15845/2010 – ANEXO H –

(Rochas para revestimento – Determinação da resistência ao impacto de corpo duro), que consiste em deixar uma esfera de aço, com massa de 1 kg, cair sobre um corpo-de-prova com dimensões de (20 x 20 x 3) cm, assentado em um colchão de areia. A altura inicial de queda é 20 cm sendo acrescida de 5 cm até que ocorra a ruptura, fissura ou lascamento da placa. Deve-se preparar pelo menos 5 corpos de prova.

Utiliza-se da energia potencial gravitacional, que é a energia acumulada no corpo por causa da ação da gravidade. Expressa-se pelo produto de sua massa, aceleração da gravidade e altura em relação ao referencial. A energia (W , em Joule) necessária para danificar a placa é dada pela seguinte equação:

$$W = m \times g \times h \quad \text{Equação (5)}$$

Em que:

m – massa da esfera (Kg)

g - aceleração da gravidade ($9,806\text{m/s}^2$);

h - altura de queda (m).

O valor da energia liberada pelo impacto de um corpo que provoque a ruptura de uma placa é importante para subsidiar o dimensionamento e a caracterização dos materiais utilizados em revestimentos de piso, soleiras, degraus, mesas, balcões e pias. Quanto menor os resultados do ensaio, menor a resistência ao choque do material, tornando-se imprescindíveis cuidados quanto ao transporte, estocagem, colocação e restrições a aplicações.

3.4.5 Módulo de ruptura (flexão em 3 pontos)

O ensaio de flexão por carregamento em três pontos, ou ainda, módulo de ruptura determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores, permitindo avaliar sua aptidão para uso em revestimento ou elemento estrutural, e também fornece um parâmetro indicativo de sua resistência à tração, (FRASCÁ, 2001).

3.2.6 Desgaste abrasivo Amsler

Para o ensaio de desgaste abrasivo, devem ser confeccionados quatro corpos-de-prova com dimensões de 10 x 10 x 2 cm, suas espessuras são medidas (mm) antes e após o desgaste abrasivo, em um percurso inicial de 500 metros e posteriormente de 1000 metros, frente ao atrito com areia quartzosa seca nº 50 com 92% de sílica (SiO₂) na sua composição, realizada na Máquina de ensaio *Amsler*, segundo a norma da ABNT NBR 12042:1992.

Os cálculos da redução de espessura (em mm) para cada amostra são efetuados de acordo com as fórmulas a seguir:

$$d = a - b \quad \text{Equação (6)}$$

$$e = a - c \quad \text{Equação (7)}$$

Sendo:

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

b = Altura média das 4 faces (mm) após 500 metros;

c = Altura média das 4 faces (mm) após 1000 metros;

d = Desgaste médio após 500 metros (mm);

e = Desgaste médio após 1000 metros ou Desgaste *Amsler* (mm).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Orientação das tensões no maciço estudado

Observações de campo mostram que a área apresenta um par conjugado de fraturas de cisalhamento disposto em direção N30E e N40W, cuja bissetriz do ângulo formado entre as duas direções é de 5°NE, indicando a direção do eixo de maior esforço atuante sobre a área e que ocasionou a geração das atuais fraturas existentes no setor estudado, vistas nos diagramas de projeção estereográfica das figuras 26 e 27. A interpretação destes diagramas, construídos com o uso do *software Openstereo* do Instituto de Geociências da USP, permite visualizar que paralela a σ_1 tem-se uma das direções das fraturas de tensão, e uma outra perpendicular ao eixo de compressão máxima disposta nas direções entre 30°Az e 340°Az.

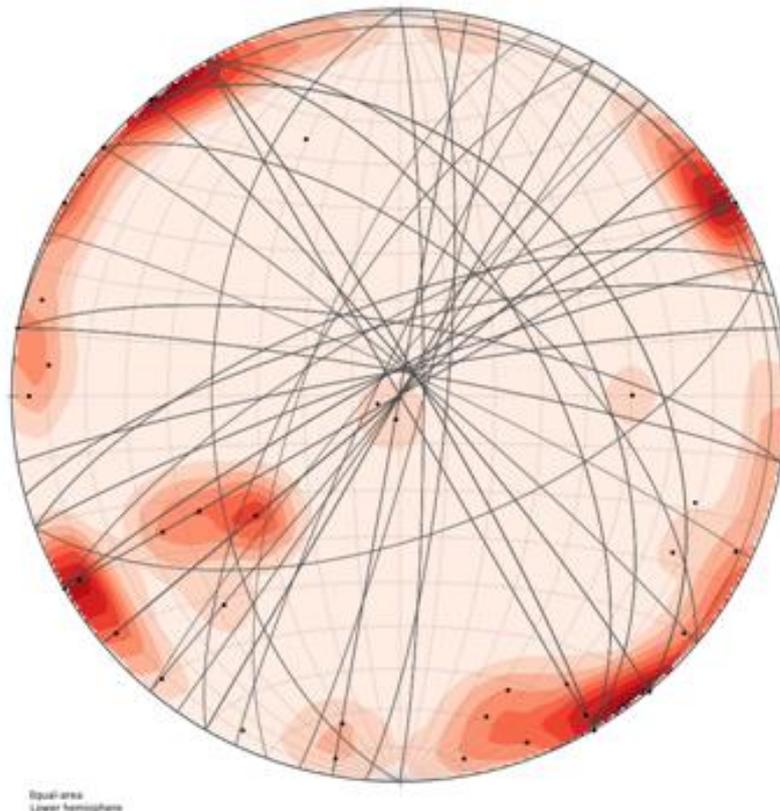


Figura 26 - Diagrama da rede de Schmidt com os planos de fratura de cisalhamento, cuja bissetriz do ângulo formado entre eles representa a direção de compressão máxima.

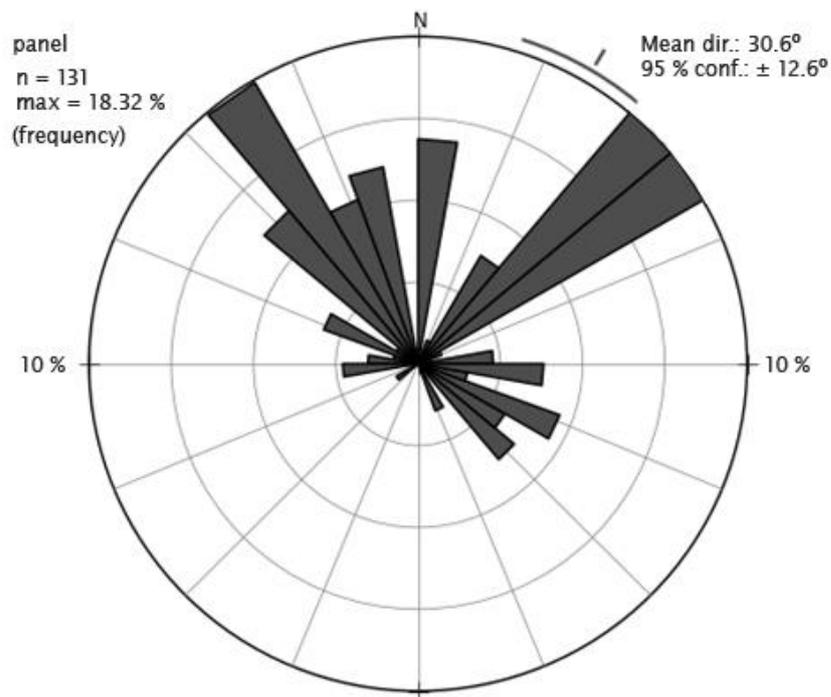


Figura 27 - Diagrama de rosetas onde se visualiza um par conjugado de cisalhamento nas direções 30° Az e 340° Az.

4.2 Caracterização tecnológica

4.2.1 Descrição petrográfica

O litotipo estudado exibe textura inequigranular, fanerítica, estrutura maciça e granulação fina a média.

O feldspato alcalino é o principal constituinte mineralógico, representado principalmente por grandes cristais de ortoclásio e subordinadamente por microclínio. Exibe geminações Carlsbad e/ou albita+periclina gerando aspecto axadrezado e com presença de pertitas (exsolução), onde a fase sódica dispõe-se em filetes e/ou chamas, e ocorre também como hóspede no plagioclásio de composição albítica (antipertita). Comumente seus cristais exibem zonamento oscilatório. Ocorre predominantemente na forma de grandes cristais ripiformes, subédricos, com dimensões médias de 15 mm x 12,5 mm, e aspecto turvo devido ao processo de alteração. São frequentemente circundados por grãos menores (auréolas) de cor rosa, branco ou laranja e minerais máficos de cor preta a preta esverdeada e raramente quartzo. Estas auréolas ocorrem principalmente nos tipos

tradicional e rosado. No tipo escuro, as auréolas são incipientes e/ou ausentes.

O plagioclásio é representado pela albita e oligoclásio. Comumente ocorrem como hóspedes no feldspato potássico, formando pertitas em filetes e/ou chamas e também como hospedeiros em feldspato potássico, formando antipertitas. Apresenta-se também como grandes cristais ou como constituinte das auréolas. Exibe geminações polissintéticas do tipo albita e periclina, com dimensões médias de 12,5 mm x 10 mm.

Em suma, há um predomínio de intercrescimentos pertíticos, porém os intercrescimentos antipertíticos são substancialmente encontrados.

Fortes correlações entre $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}$ refletem a presença de feldspatos potássicos (Kf), como principal mineral silicático destes fácies. Os minerais máficos estão representados pela biotita, piroxênio e anfibólio; titanita, apatita e opacos como acessórios e sericita, argilominerais e epidoto, como minerais secundários.

O anfibólio (clinoanfibólio) é representado pela hornblenda, que se apresenta com pleocroísmo verde-oliva a verde-claro, dimensões médias de 0,875 mm x 0,400 mm, ocorrendo como agregados ou em prismas anédricos e subédricos contendo inclusões de minerais opacos, apatita e biotita. Ocorre frequentemente substituindo o piroxênio e substituído pela biotita. Está associado também aos cristais de epidoto, este com dimensão máxima de 0,250 mm x 0,400 mm.

A biotita ocorre comumente subédrica, cor castanha com tonalidade avermelhada, e dimensões médias de 1,6 mm x 1,0 mm. Associa-se aos anfibólios e piroxênios. Costuma ser produto de alteração do anfibólio (hornblenda). Ocorre principalmente como inclusões nos feldspatos.

O piroxênio (clinopiroxênio) é representado pela aegerina-augita. Subédrico, dimensões médias de 1,4 mm x 1,1 mm, tons variando de verde-amarelado a castanho.

A apatita é um dos acessórios mais frequentes, mostrando hábito prismático e acicular, e se apresentando como inclusões nos feldspatos e nos minerais máficos,

com dimensão 0,45 mm x 0,20 mm; enquanto a titanita apresenta-se subédrica, com dimensão média de 0,5 mm, e em proporção. Associa-se aos anfibólios e aos minerais opacos.

Os minerais opacos são primários e ocorrem dispersos em grãos paralelogrâmicos ou cúbicos, e dimensões médias de 0,10 mm. Provavelmente trata-se de cristais de ilmenita e magnetita.

O quartzo raramente ocorre e mostra-se anédrico com extinção ondulante, disposto em zonas concêntricas nos intercrescimentos, com dimensões de até 2 mm x 0,75 mm. Os contatos entre os grãos são do tipo plano, quando entre cristais de feldspatos (predominantemente no tipo escuro) e côncavo-convexos, quando entre minerais máficos e félsicos.

As alterações minerais variam de incipiente a moderada associadas aos cristais de anfibólio, piroxênio e feldspatos, concentradas ora nas bordas ora no centro do grão e ao longo dos planos de clivagens. São representadas pela sericita, argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro. A pequena quantidade de microfissuras e de minerais de alteração presentes nos permite afirmar que a rocha deve apresentar baixo índice de absorção e porosidade, tendo conseqüentemente boa resistência à flexão e à compressão. Imagens petrográficas são observadas nas Figuras 28, 29 e 30.

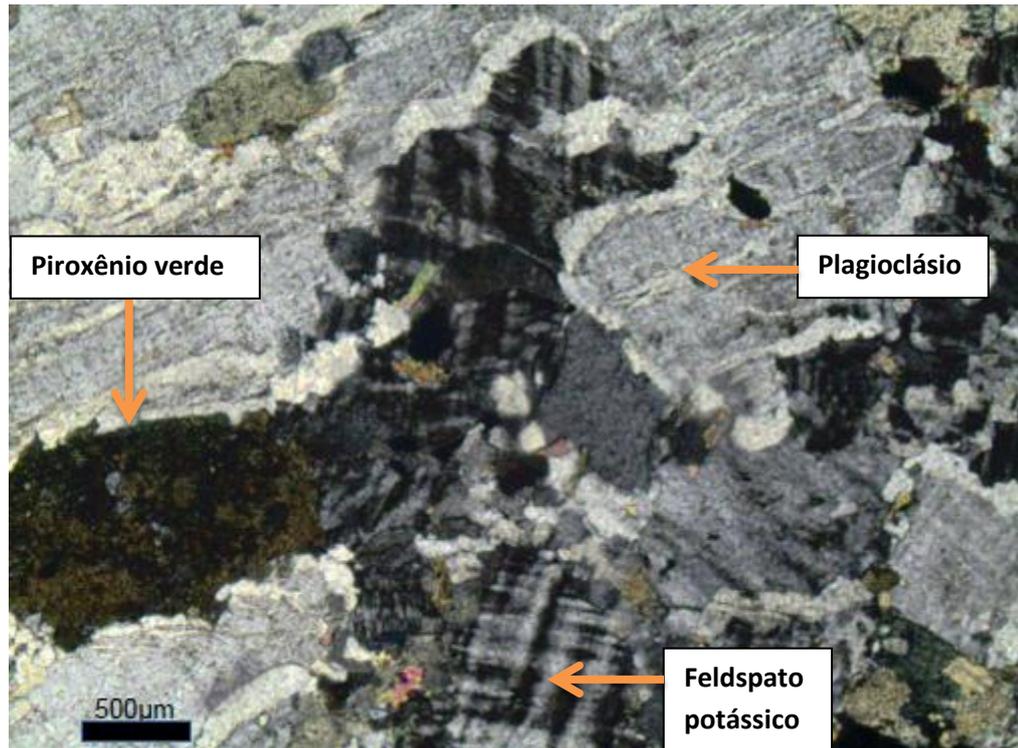


Figura 28. Textura perítica, interstícios com piroxênio cor verde.

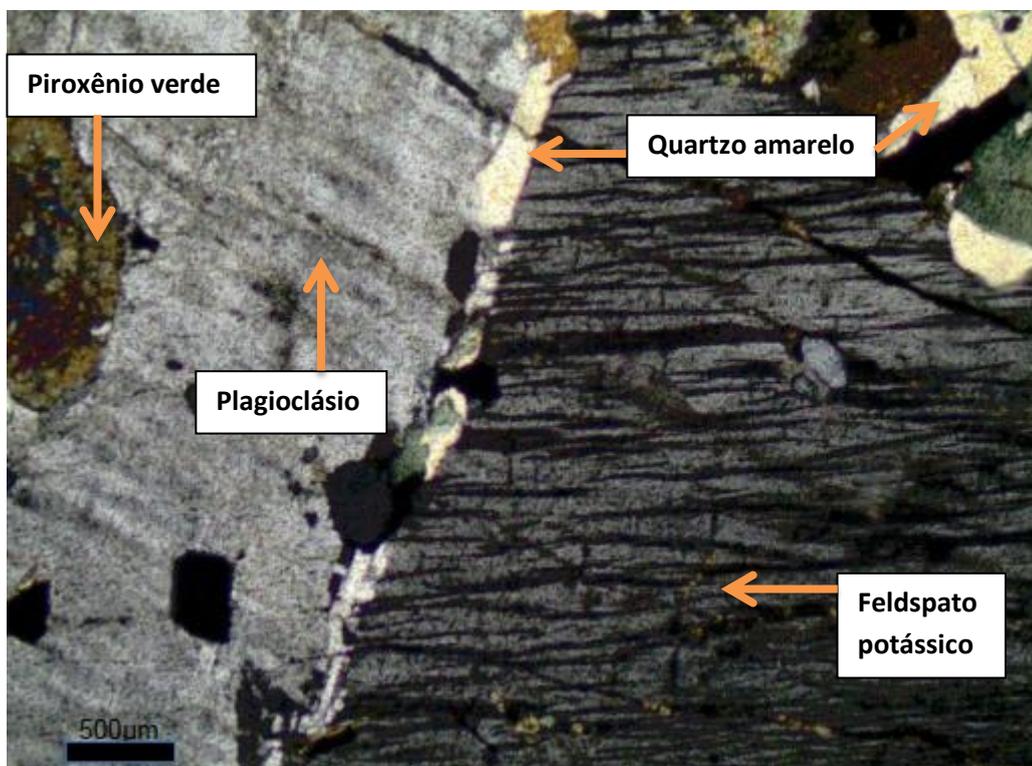


Figura 29. Cristais de quartzo (amarelo) em contato com feldspato Potássico e plagioclásio.

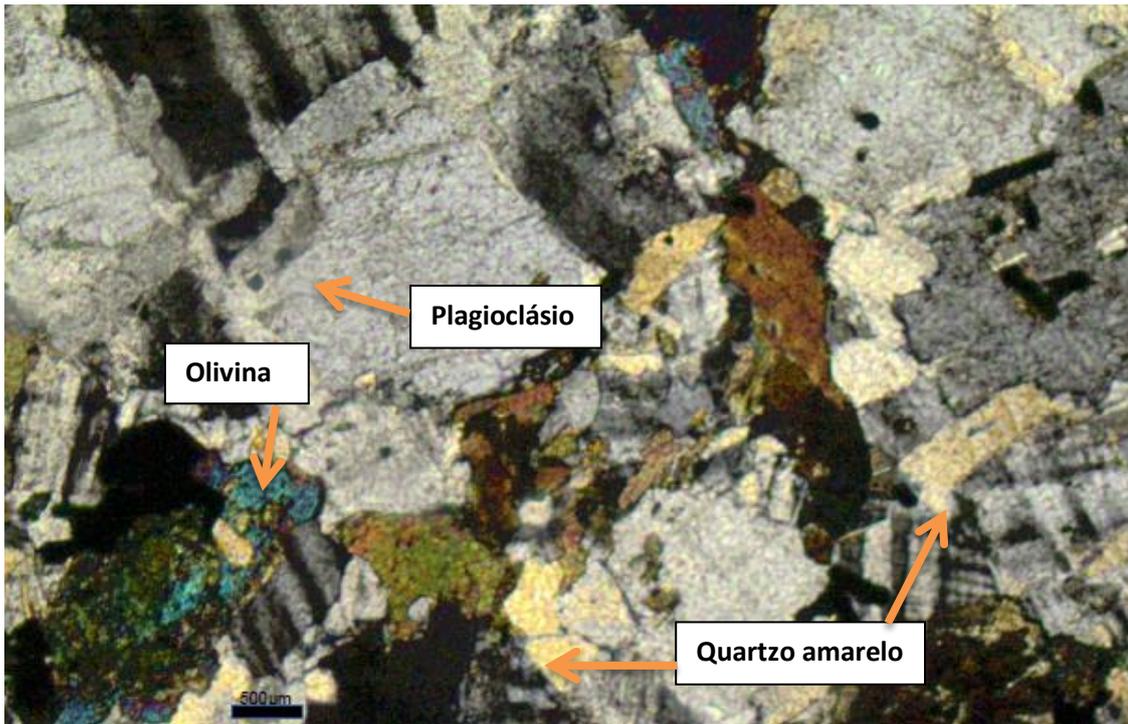


Figura 30. Cristais anedral de olivina cor de interferência azul esverdeada, em contato com plagioclásio e vezes com inclusões de quartzo amarelo.

4.2.2 Índices físicos

Como parâmetros de comparação foram usadas as especificações da ABNT através de sua norma NBR 15844:2010 e a norma americana da ASTM C 615:1992, ambas dizem respeito a materiais graníticos. A Tabela 04 apresenta a média dos índices físicos do “Granito Marrom Imperial” (GMI).

Tabela 04. Média dos valores referentes aos índices físicos.

Densidade Aparente (Kg/m³)	Porosidade (%)	Absorção (%)
2.807	0,782	0,40

A partir da Figura 31, é possível observar que o resultado obtido no ensaio de densidade nas amostras é acima dos valores estipulados pelas normas brasileira e americana. Valores elevados de densidade podem indicar que a rocha apresenta baixa porosidade e também baixa absorção de água, assim como sugerem que o material possivelmente apresenta boa resistência à compressão.

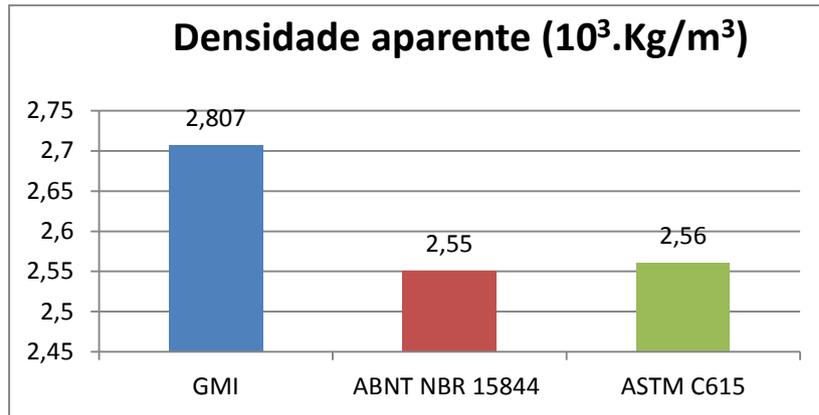


Figura 31. Gráfico comparativo dos índices de densidade obtidos nos ensaios e normas ABNT 15844 e ASTM C615.

Quanto à porosidade, o comparativo se restringiu aos valores obtidos nos ensaios realizados e àqueles da norma da ABNT NBR 15844:2010, tendo em vista que a ASTM C615:1992 não apresenta especificação para esta propriedade. Assim, ao correlacionar o dado existente observou-se que o valor de 0,782% de porosidade obtida através das amostras ensaiadas, apresenta-se dentro da margem sugerida pela norma da ABNT NBR 15844:2010 de 1,0. Porosidades baixa associada à densidade elevada indica que este material contém poucos vazios em sua massa.

Quanto à absorção de água, é possível observar no gráfico da Figura 32, que os valor obtido está dentro do limite aceitável tanto para NBR 15844:2010 quanto a ASTM C615:1992, que apresentam os mesmos valores ($\leq 0,4\%$) para esta propriedade. Assim rochas que apresentem estes índices podem ser usadas sem restrições em áreas internas ou externas, secas ou úmidas.

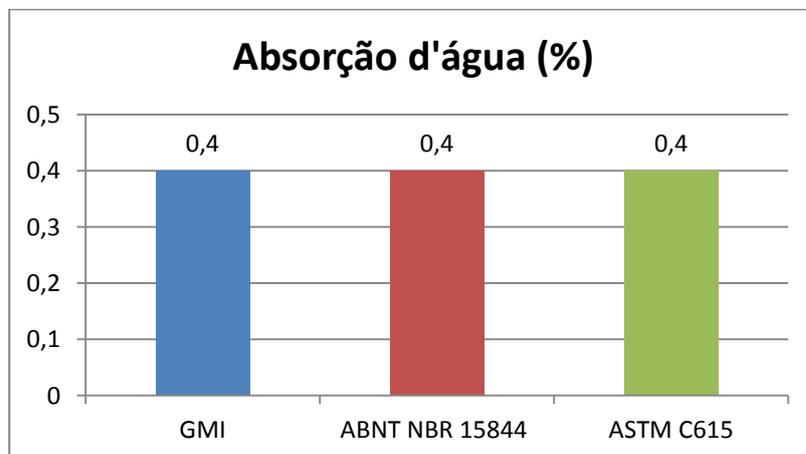


Figura 32. Gráfico comparativo dos valores de absorção d'água do e valores sugeridos pela ABNT NBR 15844 e ASTM C615.

Os valores acima expostos denotam uma rocha de boa qualidade para uso com fins ornamentais. Vale salientar que o valor da absorção de água (0,40%) está no limite dos valores das normas. Este resultado ratifica o diagnóstico da petrografia quanto à pequena presença de microfissuras e textura inequigranular. Além disso, provavelmente a resistência mecânica será mediana a baixa.

Quanto à aplicação indica-se a de impermeabilização do material para aplicações em ambientes úmidos. Evitar áreas úmidas como banheiros, cozinhas e áreas externas. Aconselhado para ambientes internos.

Segundo Chiodi (2009), pode-se assim deduzir que os valores dos índices físicos são inter-relacionados. Por exemplo, quanto menor a densidade aferida para granitos de uma mesma linhagem, tanto maior se pode estimar o volume de espaços vazios existentes na rocha. Quanto maior a absorção d'água e porosidade esperada para a rocha, provavelmente menor a sua resistência físico-mecânica. Logo, as propriedades relacionadas aos índices físicos estão diretamente relacionadas entre si. Quanto à densidade, ela depende grandemente da composição mineral e do grau de compactação ou da inter-relação entre os cristais, resultando em uma relação inversamente proporcional entre a densidade e a porosidade do material. Contudo, de acordo Kalix (2011), deve-se observar variações mineralógicas, a existência ou não de microfissuras, relações de contato entre os grãos minerais, granulação, aspectos estruturais, entre outras, pois, influenciam diretamente sobre a porosidade, densidade e absorção d'água.

4.2.3 Compressão uniaxial

Os ensaios realizados para a determinação da resistência à compressão uniaxial na condição seca foram realizados no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da UFPE, não se levando em consideração os efeitos da variação da temperatura.

A carga de compressão é aplicada na direção perpendicular ao plano de fraqueza da rocha, que representa o sentido de maior resistência do material, conforme visto no gráfico da Figura 33. Isto acontece porque a força aplicada nesta direção não

possui componente ou a componente é mínima na direção do plano de fraqueza do material que provoca o cisalhamento capaz de rompê-lo.

Os valores obtidos são resultados da interrelação entre aspectos intrínsecos da rocha, entre os quais é possível citar a composição mineralógica, granulometria, as fraturas e as microfraturas da rocha.

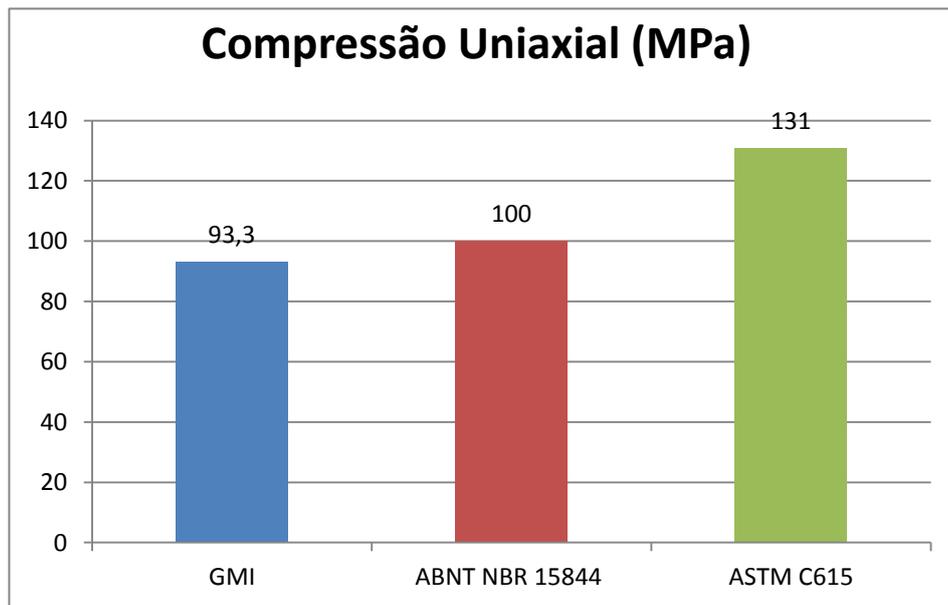


Figura 33. Gráfico da relação entre os resultados da resistência à compressão uniaxial e os valores estabelecidos nas normas ABNT 15844 e ASTM C615.

O Marrom Imperial possui resistência à compressão simples abaixo dos limites estabelecido pela norma ASTM C-170 e muito próximos ao limite sugerido por Frazão & Farjallat (1995), portanto, não é aconselhada a utilização em pisos.

4.2.4 Módulo de ruptura (flexão por 3 apoios)

Neste ensaio três corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tração sem tela. Na Figura 34, pode-se observar o resultado em comparação com as normas. Esse é um dos ensaios mais importantes e necessários para revestimento externo de fachadas com rochas ornamentais para dimensionamento de placas a serem utilizadas no revestimento de fachadas com o uso de sistemas de ancoragem metálica para a sua fixação.

O granito Marrom Imperial apresenta média resistência à flexão. Devido a isto não deve ser aplicada em áreas constantemente solicitadas à tração, como em painéis de edifícios sob a ação dos ventos, entre outras situações.

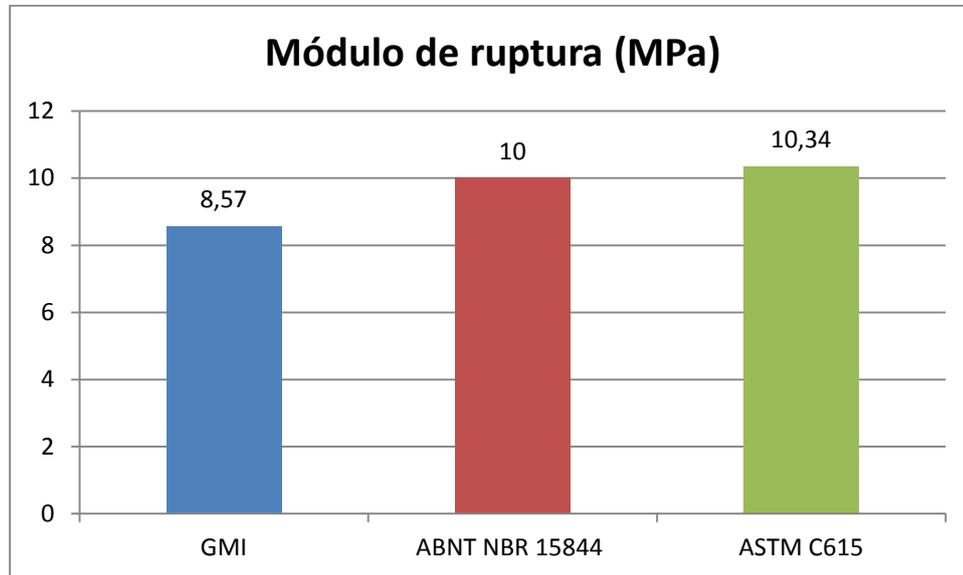


Figura 34. Gráfico da relação entre os resultados da resistência à flexão e os valores estabelecidos nas normas ABNT 15844 e ASTM C615

4.2.5 Desgaste *Amsler*

Os ensaios de desgaste abrasivo executados nas amostras tiveram seus resultados expressos através das médias mostradas na Tabela 05. Estes valores foram comparados apenas com as especificações da norma ABNT 15844:2010, já que a norma ASTM C615:1992 não especifica valores limites como referência para o desgaste abrasivo. A ABNT, através da NBR 15844:2010 estabelece para o desgaste, o limite de $\leq 1,0$ mm para percursos de 1000 m para que as rochas sejam consideradas de boa qualidade para serem utilizadas em revestimentos de pisos de grande pisoteio.

Tabela 05. Valores médios do Desgaste *Amsler* referente aos ensaios com Granito Marrom Imperial

Material	Desgaste após 500m	Desgaste após 1000 m
GMI	0,38mm	0,81mm

O limite para a resistência à abrasão foi atendido para uso em ambientes de grande pisoteio. Mas levando em consideração a composição mineralógica e pela baixa resistência a compressão é indicado para piso, principalmente para áreas de grande tráfego de transitantes.

4.2.6 Resistência ao impacto de corpo duro

Os valores expostos na Figura 35 denotam uma rocha com satisfatória resistência ao impacto, reflete sua coesão e indica sua maior ou menor capacidade de suportar ação mecânica instantânea (golpe ou impacto).

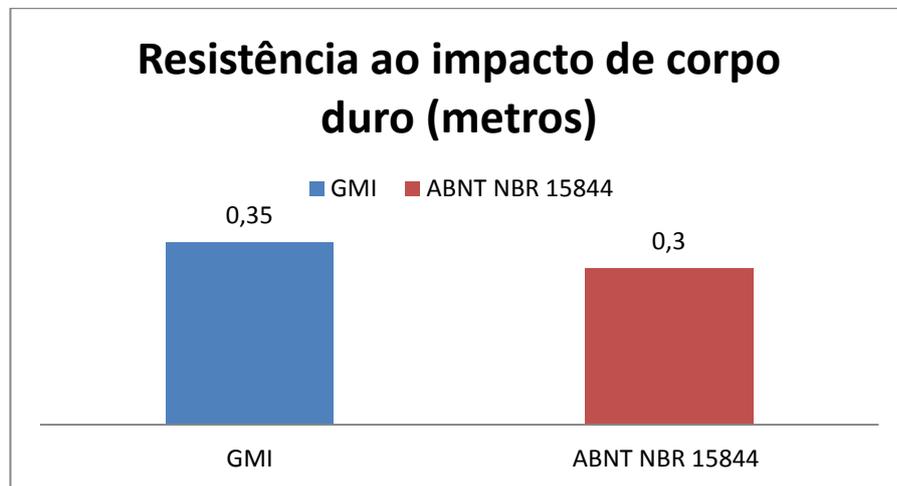


Figura 35. Gráfico comparativo dos valores de resistência ao impacto de corpo duro do Granito Marrom Imperial e valores sugeridos pela ABNT NBR 15844.

Pelos resultados dos ensaios realizados do granito Marrom Imperial pode ser utilizado com restrições como rocha ornamental, pois obteve resultado próximo ao mínimo recomendado. Devido aos choques, deve-se ter cuidados no transporte, estocagem, colocação e restrições a aplicações. A Tabela 06, apresenta um quadro resumo com todos os valores dos ensaios realizados.

Tabela 06. Resumo dos ensaios de caracterização tecnológica.

Resultado/Referências	Abs. de água (%)	Massa seca (Kg/m ³)	Porosidade (%)	Res. Compr. (Mpa)	Res. Flexão (Mpa)	Res. Imp. (m)	Desg. Amsler (mm/1000m)
GMI	0,4	2,807	0,782	93,3	8,57	0,35	0,81
ABNT NBR 15844	<0,4	>2,55	1	>100	>10	0,3	<1,0
ASTM C615	<0,4	>2,56	N.E.	>131	>10,34	N.E.	N.E.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa buscou conhecer o padrão geoestrutural da jazida de sienito Marrom Imperial, localizada no Sítio Pau Santo, João Alfredo - PE, apontando a orientação da lavra segundo a direção de alívio do campo de tensões atuantes sobre o maciço rochoso, buscando sua melhor produtividade e geração de menor passivo ambiental, assim como avaliar as características físico-mecânicas, petrográficas e mineralógicas da rocha ornamental para uma aplicação adequada.

Os parâmetros obtidos durante o levantamento foram tratados em projeção estereográfica (rede de Schmidt), com a finalidade de determinarem-se os eixos de compressão máxima e mínima. A análise do fraturamento distinguiu a tensão máxima de compressão, cuja direção é 5°Az e a tensão mínima de compressão, cuja direção é 95°Az , conforme observado na Figura 36. A interpretação dos diagramas permitiu concluir que a melhor direção para se efetuar o corte da pedreira, de forma a provocar o alívio das tensões, sem fissurar a rocha é a de SE-NW.

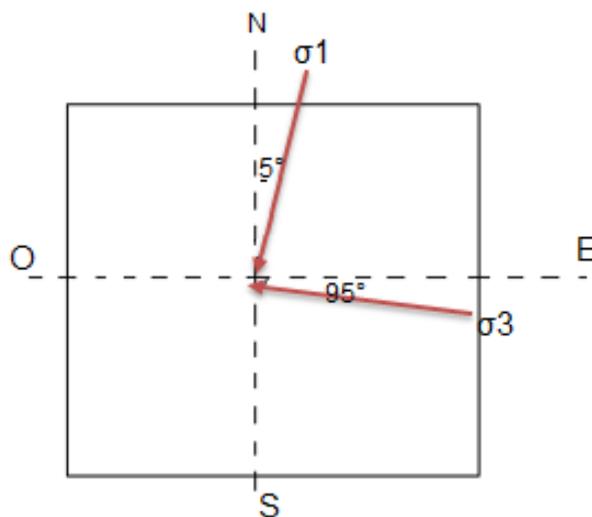


Figura 36. Direção das tensões principais atuantes no maciço estudado: σ_1 direção de compressão máxima, σ_3 direção de compressão mínima. Fonte: Autora.

Os índices físicos, densidade aparente, porosidade e absorção d'água atendem satisfatoriamente aos requisitos da ABNT NBR 15844:2010, e americana ASTM 615:1992, o que significa que o material objeto de estudo pode ser usado em lugares úmidos como balcões e pias assim como também em áreas externas.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão simples e de ruptura por flexão quando comparados com os valores requisitados para granitos permite afirmar que o granito “Marrom Imperial” suporta uma compressão mediana.

O resultado do ensaio de desgaste Amsler ficou abaixo de 1mm/m, especificado pela norma brasileira. Apesar disto, considerando a composição mineralógica e pela baixa resistência a compressão não é muito indicado para piso, principalmente para áreas de grande tráfego de transitantes.

Comparando os resultados obtidos de 0,35 m com os requisitados para granitos, podemos afirmar que o granito “Marrom Imperial” tem resistência ao impacto mediana a moderada, tornando imprescindíveis os cuidados quanto ao transporte, estocagem e colocação.

A avaliação dos ensaios do “Marrom Imperial” possibilitou um melhor conhecimento da inter-relação dos resultados, possibilitando uma melhor aplicação do material objeto de estudo.

Os mapas de detalhe e semi detalhe permitem maximizar a extração e otimizar a lavra, aumentando a rentabilidade da jazida. Convém frisar, que o levantamento estrutural de detalhe, seguido do estudo do campo de tensões atuantes sobre o maciço, constituem ferramentas importantes para o planejamento das operações de extração.

Recomenda-se que em futuras pesquisas sejam incluídos outros ensaios tais como o de alterabilidade, tendo em vista que o material possui grande concentração de mica, como também a granada. Além disso, devido a grande aceitação no mercado exterior, o ensaio e gelo e degelo se faz necessário. Com relação à análise estrutural para fins de planejamento de lavra sugere-se a medição da densidade de fraturamento (fraturas/metro) para previsão do blocos de partição e conseqüente recuperação da jazida.

REFERÊNCIAS

- ABIROCHAS - **Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais**. Disponível em: <www.abirochas.com.br>. Acesso em: 13/04/2015.
- ABNT NBR 12042. **Materiais Inorgânicos. Determinação do Desgaste por Abrasão**. 1992.
- ABNT NBR 15845. **Rochas para revestimento. Métodos de Ensaio. ANEXO A (normativo) Análise Petrográfica**. 2010.
- _____. **Rochas para revestimento. Métodos de Ensaio. ANEXO B (normativo) Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água**. 2010.
- _____. **Rochas para revestimento. Métodos de Ensaio. ANEXO E (normativo) Resistência à Compressão Uniaxial**. 2010.
- _____. **Rochas para revestimento. Métodos de Ensaio. ANEXO G (normativo) Módulo de Ruptura (Flexão por carregamento de três pontos)**. 2010.
- _____. **Rochas para revestimento. Métodos de Ensaio. ANEXO H (normativo) Resistência ao Impacto de Corpo Duro**. 2010.
- ASTM C 615. **Standard Specification for Granite Dimension Stone**. 1992.
- Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Balanço das importações e exportações de rochas de janeiro a agosto de 2015**. Disponível em <http://www.abirochas.com.br/noticia.php?eve_id=3565>. Acesso em 1/11/2015.
- Amadei, B. e Stephansson, O. **Rock Stress and Its Measurements**. London: Chapman and Hall. 1997. 490p.
- CHIODI, F. C.; RODRIGUES, E. P. **Guia de Aplicação de Rochas Ornamentais**. Projeto bula. São Paulo: ABIROCHAS. 2009. 119p.
- FERREIRA, G. S. **Estudo de Estabilidade e Tensões in situ na Extração de Rochas Ornamentais no Município de Santo Antônio de Pádua – RJ**. 2004. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2004.
- FRASCÁ, M. H. B. O. **Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso**. In: III Simpósio sobre Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais, Recife, PE. 2002.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Estudos experimentais de alterabilidade acelerada de rochas graníticas para revestimento**. 2003. 282 f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Programa de Pós Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo, 2003.

FRASCÁ, M. H. B. O. CURSO: **Qualificação de Rochas Ornamentais e para Revestimento de Edificações**: Caracterização Tecnológica e Ensaio de Alterabilidade. Anais I Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador, Bahia. p:128-135. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2001.

FRAZÃO, E. B.; FRAJALLAT, J. E. S. **Características Tecnológicas das Principais Rochas Silicáticas Brasileiras Usadas como Pedras de Revestimento**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA PEDRA, 1., Lisboa. 1995.

KALIX, T. M. F. **Estudos de Caracterização Tecnológica com ênfase em Alterabilidade dos tipos comerciais do granito Marrom Imperial**. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

LADEIRA, E.A.; LOCZY L. **Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica**. São Paulo: Edgard Blücher. 1976. 528p.

MACÊDO, A. J. B. **Análise Empírica de Maciços Rochosos para Rochas com Fins Ornamentais**. 1998. 217 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1998.

MENDES, V. C. **Estudo Geoestrutural do Maciço de Granito Vermelho Frevo Sertânia-PE**. 2008. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

MENDES, V. A.; SANTOS. C. A. **Jazimentos de Rochas Ornamentais da Província Borborema**. IV SRONE - Fortaleza-CE/Brasil. 12 p. 2003.

OLIVEIRA, F. M. C. et al. Rochas ornamentais silicáticas do estado de Pernambuco. **Revista Holos**, Natal, v. 4, jun/set. 2013.

PACHECO, A. R. **Estudo das tensões**. Rio Grande do Sul, 5. Trabalho não publicado

RIBEIRO W.J.M. **Estudo comparativo de alterabilidade acelerada de três fácies comerciais do sienito Marrom Imperial**. 2011.130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

SANTOS, J. B. e BARROSO, E. V. **Resistência de rochas ornamentais**: uma discussão sobre o efeito da geometria e das dimensões dos corpos-de-prova.

Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, 1; Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2. 28 nov. – 01 dezembro 2001, Salvador. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 2002. 5 p.

SILVA, C. T. **Modelo para Análise de Tensões Gravitacionais a partir de Características Geomecânicas dos Maciços Rochosos.** 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

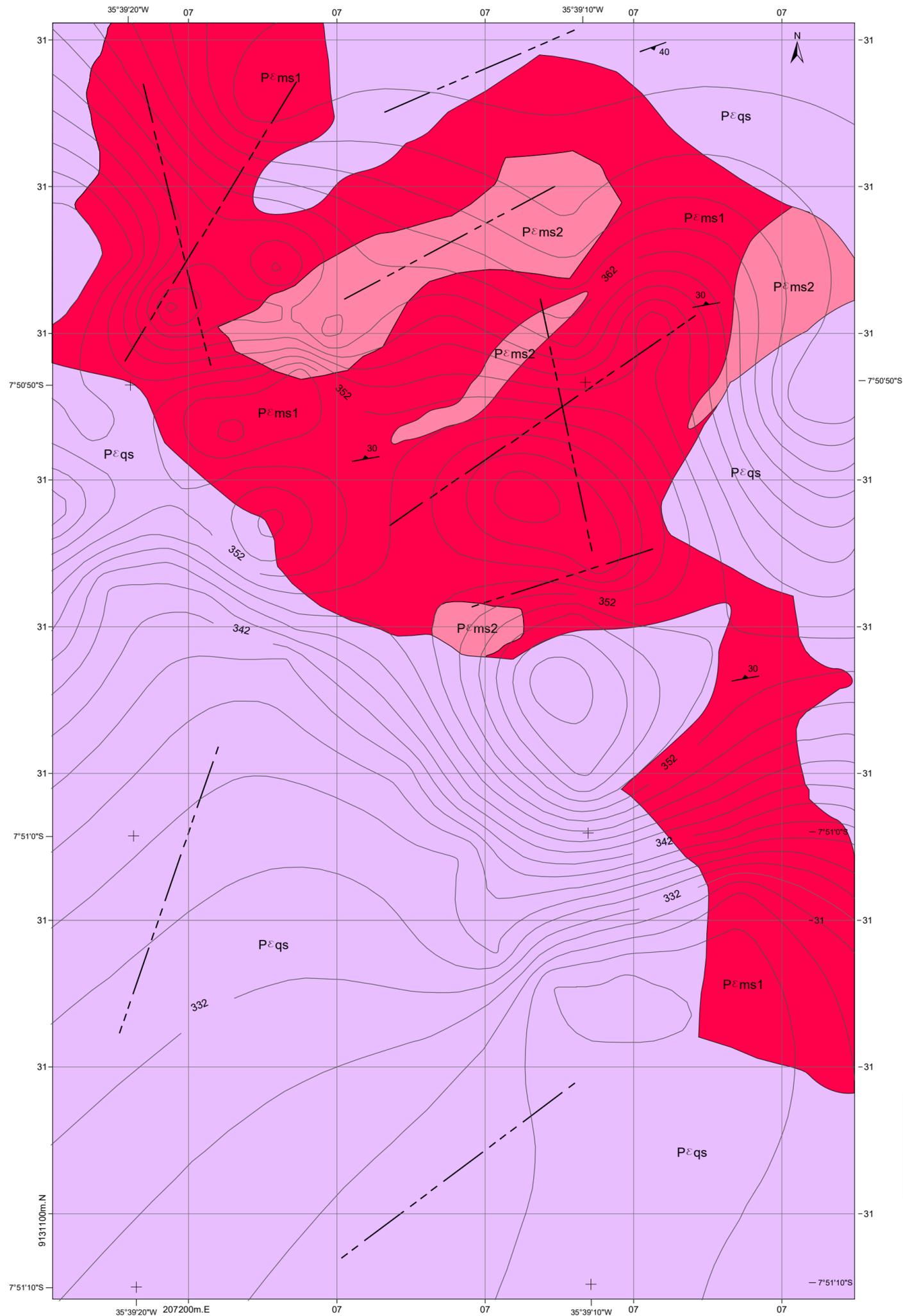
SOUZA, V. C. **Diagnóstico do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado de Pernambuco.** 2008. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário mineral 2014.** Disponível em < <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>>. Acesso em 30 de julho de 2015

VIDAL, H. C. A. et al. **Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento.** 1ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. 700 p. 2013.

VIDAL, F. W. H.; BESSA, M. F.; LIMA, M. A. B. **Avaliação das rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas.** - Rio de Janeiro: CETEM/MCT - (Série Tecnologia Mineral, 74). 1999. 30 p.

ANEXO I



DESCRIÇÃO LITOESTRATIGRÁFICA

- Pεms1** Mela sienito porfírico marrom escuro, destituído de veios e fraturas, onde se destacam os porfiroblastos de feldspato marrom envolvidos por auréolas de microclina rósea.
- Pεms2** Mela sienito porfírico marrom escuro, cotado por veios e pegmatitos de coloração rósea.
- Pεqs** Quartzo-sienito de coloração lilás, textura porfírica e destituído de deformação, petencente a Suíte Shoshonítica.

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- Foliação
- Contato geológico
- Falhas ou fratura de natureza indeterminada
- Curva de nível

MAPA GEOLÓGICO DE DETALHE

Escala 1:2.500



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

Origem da quilometragem UTM: "Equador e Meridiano Central 33° W. Gr. acrescidas as constantes: 10.000Km e 500Km, respectivamente
Datum horizontal: WGS84

2016

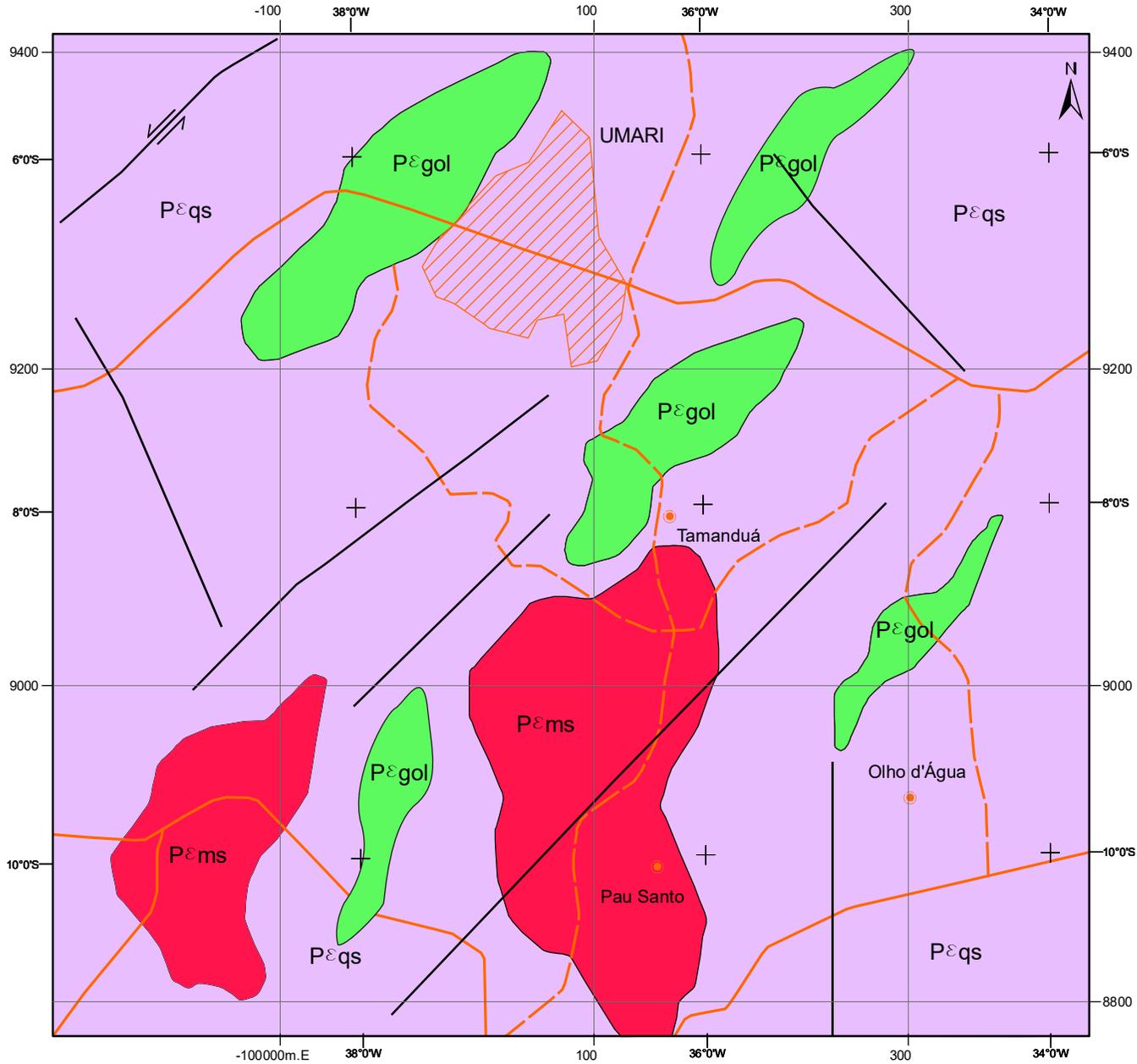
Substância: Rocha Ornamental

Local: Sítio Pau Santo
Município: João Afredo/PE

Litologia: Mela sienito porfírico

Dissertação de Mestrado
Maria Carolina de Albuquerque Feitosa

ANEXO II



DESCRIÇÃO LITOESTRATIGRÁFICA

- Pεqs** Quartzo-sienito lilás, textura porfírica, pertencente a Suíte Shoshonítica de abrangência regional.
- Pεgol** Rocha leucocrática, cor cinza, equigranular, granulometria média a grosseira, de composição granodiorítica a granítica.
- Pεms** Mela sienito porfírico marrom escuro, com pórfiros de feldspato marrom envolvidos por auréolas de microclina rósea, apresenta ainda enclaves de máficos ricos em anfibólio e de quartzo-sienito da Suíte Shoshonítica.

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- Falha ou fratura de natureza indeterminada
- Falha transcorrente de rejeito sinistral
- Contato geológico

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Cidade
- Localidade
- Estrada pavimentada
- Estrada sem pavimentação, tráfego permanente

MAPA GEOLÓGICO DE SEMI-DETALHE

Escala Gráfica



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

Origem da quilometragem UTM: "Equador e Meridiano Central 33° W. Gr. acrescidas as constantes: 10.000Km e 500Km, respectivamente Datum horizontal: WGS84"

2016

Substância: Rocha Ornamental	Local: Sítio Pau Santo Município: João Alfredo/PE
Litologia: Mela sienito porfírico	Dissertação de Mestrado Maria Carolina de Albuquerque Feitosa