



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

**GLENDAPARECIDA RODRIGUES DE OLIVEIRA**

**ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESPÍRITO SANTO E DO NORDESTE: AVALIAÇÃO  
DA APLICABILIDADE ATRAVÉS DA CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA**

Recife, 2015

GLEND A APARECIDA RODRIGUES DE OLIVEIRA

**ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESPÍRITO SANTO E DO NORDESTE: AVALIAÇÃO  
DA APLICABILIDADE ATRAVÉS DA CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA**

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

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Felisbela Maria da Costa Oliveira  
Co-Orientador: Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira  
Campos Barros

Recife, 2015

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

- O48r Oliveira, Glenda Aparecida Rodrigues de.  
Rochas ornamentais do Espírito Santo e do Nordeste: avaliação da aplicabilidade através da caracterização tecnológica / Glenda Aparecida Rodrigues de Oliveira. - Recife: O Autor, 2015.  
68 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientadora: Profa. Dra. Felisbela Maria da Costa Oliveira.  
Coorientador: Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2015.  
Inclui Referências.
1. Engenharia Mineral. 2. Rocha ornamental. 3. Caracterização Tecnológica. 4. Litotipos. I. Oliveira, Felisbela Maria da Costa. (Orientadora). II. Barros, Márcio Luiz de Siqueira Campos. (Coorientador). III. Título.

UFPE

622.35 CDD (22. ed.)

BCTG/2015-243

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL  
PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE  
MESTRADO DE

**GLENDAPARECIDA RODRIGUES DE OLIVEIRA**

**ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESPÍRITO SANTO E DO NORDESTE: AVALIAÇÃO  
DA APLICABILIDADE ATRAVÉS DA CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ROCHAS ORNAMENTAIS

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo sob a presidência da Dr<sup>a</sup>.  
Felisbela Maria da Costa Oliveira, considera a candidata

**GLENDAPARECIDA RODRIGUES DE OLIVEIRA, Aprovada.**  
Recife, 03 de Julho de 2015.

---

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Felisbela Maria da Costa Oliveira

---

Co - Orientador: Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros

---

Prof. Dr. Antônio Augusto Pereira de Sousa

---

Prof. Dr. Evenildo Bezerra de Melo

A  
*Ilcemar, minha mãe, por todo amor e dedicação.*  
*Meu esposo, Leonardo França, pelo amor e compreensão.*  
*Meu filho, Alexander Oliveira, pela paciência.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela minha vida;

Aos meus pais, José Luiz Matias e Ilcemar Rodrigues de Oliveira, por todo apoio, amor e carinho;

À família França, especialmente ao meu querido esposo Leonardo, pelo companheirismo e carinho;

À Universidade Federal de Pernambuco, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, pela oportunidade;

À Secretária da Pós-Graduação em Engenharia Mineral e a todos os funcionários da Universidade Federal de Pernambuco, especialmente Edna, Voleide, Ezequiel e Maurílio;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro;

À minha orientadora e professora, Dra. Felisbela Maria da Costa Oliveira, pela amizade, pela paciência, pelo profissionalismo que sempre apresentou em todos os trabalhos;

Ao meu Co-Orientador, o professor Dr. Márcio Luiz Siqueira Barros;

À FUJI, por ter cedido as amostras para a realização dos trabalhos;

Aos meus amigos que auxiliaram na realização deste trabalho, pela amizade e carinho, especialmente Alinne Marianne, Ailma Medeiros, Maria Carolina, Rafaella Ribeiro, Socorro Melo e Audennille Marinho.

*É preciso correr riscos. Só entendemos direito o milagre da vida quando deixamos que o inesperado possa se manifestar.*

*Paulo Coelho*

## RESUMO

Este trabalho consiste na avaliação dos resultados obtidos por meio de análise petrográfica e ensaios tecnológicos de sete litotipos de colorações cinza e amarela do Espírito Santo (Cinza Andorinha, Cinza Corumbá, Arabesco e Santa Cecília) e do Nordeste (Cinza Pocinhos, Cinza Corumbá e Amarelo Ipanema). Estes materiais são utilizados como rochas ornamentais e a determinação das correlações existentes entre essas características têm fundamental importância na investigação do desempenho e da durabilidade da rocha na função que lhe é destinada. Em se tratando de rochas de composição granítica, os resultados obtidos foram comparados àqueles estabelecidos pelas normas ABNT NBR 15844 (brasileira) e ASTM C 615 (americana). Segundo a NBR 15844 da ABNT, os ensaios necessários para a caracterização de rochas com finalidade ornamental são: análise petrográfica, índices físicos, resistência à flexão, resistência ao impacto de corpo duro, resistência à compressão, congelamento e degelo conjugados à compressão, desgaste Amsler e dilatação térmica, embora nem todos tenham sido realizados para os vários tipos de rochas estudados. Problemas técnicos impediram algumas análises. Os resultados dos materiais cinzas, independentemente de sua origem, são compatíveis com aqueles preconizados pela NBR 15844 e ASTM C 615, entretanto, os de coloração amarela apresentam valores muito próximos dos limites das normas. Isto pode ser explicado a partir da cor que é indício de processos de alteração, principalmente de minerais ferromagnesianos, (oxidação, hidroxidação, hidratação) que modificam as características de resistências dos materiais através de aumento de porosidade e absorção de água aparentes. Sabe-se que o aumento de porosidade diminui a resistência à compressão e conseqüentemente a resistência à tração (flexão). A maioria dos litotipos estudados apresentam valores adequados para utilização como material ornamental, com restrições para os litotipos de coloração amarela, que necessitam de impermeabilização quando de seu uso em áreas úmidas. Observa-se ainda que uma análise petrográfica/mineralógica mais aprofundada dos litotipos é recomendada para a previsão e aferição das propriedades físicas e mecânicas, bem como a correlação dos mesmos, com outros ensaios tecnológicos não apresentados neste trabalho para os litotipos estudados.

Palavras-chave: Rocha ornamental. Caracterização Tecnológica. Litotipos.

## ABSTRACT

This work consists in the evaluation of the results obtained through petrographic analysis and technological tests of seven gray and yellow lithotypes from Espírito Santo, (Cinza Andorinha, Cinza Corumbá, Arabesco and Santa Cecília) and Brazil Northeast (Cinza Pocinhos, Cinza Corumbá and Amarelo Ipanema). These materials are used as ornamental rocks and the existing correlations among these traits have fundamental importance in performance and durability researches from the rock for the function which is intended. When it comes to rocks of granitic composition, the results obtained were compared to those established by the standards ABNT NBR 15844 (Brazilian) and ASTM C 615 (American). According to NBR ABNT 15844, the necessary tests for characterization of rocks with ornamental purpose are: petrographic analysis, physical indexes, flexural strength, impact resistance of hard body, compressive strength, freezing and thawing combined to compression, wear Amsler and thermal expansion, although not all of them have been carried out for the various rock types studied. Technical problems prevented some analysis. The results of grey materials, independently, are compatible with those recommended by NBR 15844 and ASTM C 615, however, the yellow rocks values are very close to the limits of the rules. This can be explained from the color that is indication of change processes, mainly ferromagnesian, mineral (rust, hidroxidation, moisturizing) that modify the resistance characteristics of materials through increased porosity and water absorption. It is known that the increase of porosity decreases the compressive strength and tensile strength (bending). Most of the lithotypes studied present suitable values for use as ornamental material, with restrictions to the lithotypes of yellow colour, in need of proofing when its use in humid areas. Note that further petrographic/mineralogical analysis of lithotypes is recommended for the prediction and measurement of physical and mechanical properties, as well as the correlation of the same with other technological tests presented in this work to the lithotypes.

Keywords: Ornamental rock. Technological characterization. Lithotypes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo das Rochas .....	17
Figura 2 – Rochas ígneas plutônica e vulcânica.....	18
Figura 3 – Conglomerado .....	19
Figura 4 – Gnaisse .....	19
Figura 5 – Granito Cinza Mauá (biotita granito porfiróide).....	21
Figura 6 – Mármore ônix, rocha bandada e translúcida. ....	22
Figura 7 – a) Quartzito foliado branco amarelado (MG) e b) Metaconglomerado polimitico negro (BA). ....	22
Figura 8 – Ardósias: Variedades texturais e cromáticas de ardósias ferrugem/ multicolor ou rusty (MG). ....	23
Figura 9 – Verde Dunito: Serpentinito (GO).....	24
Figura 10 - Corpos de prova durante o ensaio de índices físicos .....	35
Figura 11 - Corpo de prova durante o ensaio de flexão.....	36
Figura 12 - Ensaio de compressão uniaxial simples.....	38
Figura 13 - Ensaio de resistência ao impacto de corpo duro. ....	39
Figura 14 - Conjunto de equipamentos para a obtenção do coeficiente de dilatação térmica linear. ....	42
Figura 15 – Máquina de ensaio <i>Amsler</i> .....	42
Figura 16 – Granito Cinza Pocinhos – PB, respectivamente, em (A) foto macroscópica, em (B) foto em microscópio petrográfico. ....	45
Figura 17 – Foto da petrografia do Granito Amarelo Arabesco – ES, respectivamente, em (A) foto macroscópica, em (B) foto em microscópio petrográfico. ....	48
Figura 18 – Foto da petrografia do Granito Amarelo Santa Cecília – ES, respectivamente, em (A) foto macroscópica, em (B) foto em microscópio petrográfico. ....	49

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução anual do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais.....	26
Gráfico 2 – Exportações mensais do setor de rochas ornamentais.....	26
Gráfico 3 - Comparativo dos índices de densidade dos granitos cinzas obtidos nos ensaios e normas ABNT NBR 15844 e ASTM C615. ....	50
Gráfico 4 - Comparativo dos índices de densidade dos granitos amarelos obtidos nos ensaios e normas ABNT NBR 15844 e ASTM C615. ....	51
Gráfico 5 – Comparativo dos índices de porosidade dos granitos cinzas obtidos nos ensaios e valores sugeridos pela ABNT NBR 15844.....	51
Gráfico 6 – Comparativo dos índices de porosidade dos granitos amarelos obtidos nos ensaios e valores sugeridos pela ABNT NBR 15844.....	52
Gráfico 7– Comparativo dos índices de absorção d’água dos granitos cinzas obtidos nos ensaios, na ABNT NBR 15844 e ASTM C615.....	53
Gráfico 8 – Comparativo dos índices de absorção d’água dos granitos amarelos obtidos nos ensaios, na ABNT NBR 15844 e ASTM C615. ....	53
Gráfico 9– Relação entre os resultados da resistência à compressão uniaxial dos granitos cinzas e os valores estabelecidos nas normas ABNT 15844 e ASTM C615. ....	54
Gráfico 10– Relação entre os resultados da resistência à compressão uniaxial dos granitos amarelos e os valores estabelecidos nas normas ABNT 15844 e ASTM C615. ....	55
Gráfico 11 - Relação das médias antes e após congelamento/degelo associados à compressão uniaxial. ....	57
Gráfico 12– Módulo de Ruptura dos granitos cinzas. ....	58
Gráfico 13– Modelo de Ruptura dos granitos amarelos.....	58
Gráfico 14– Relação entre os valores obtidos dos granitos cinzas em ensaios e os sugeridos como limites do Desgaste de Amsler pela norma ABNT NBR 15844.....	60
Gráfico 15– Relação entre os valores obtidos dos granitos amarelos em ensaios e os sugeridos como limites do Desgaste de Amsler pela norma ABNT NBR 15844.....	60
Gráfico 16- Comparativo dos valores obtidos dos ensaios dos granitos amarelos com a norma da ABNT NBR 15844.....	61
Gráfico 17 - Comparativo dos valores obtidos dos ensaios de dilatação térmica dos litotipos estudados com a norma da ABNT NBR 15844. ....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores especificados para granitos pela ABNT NBR 15844 E ASTM C 615.....	28
Tabela 2 – Ensaio recomendado para rochas de revestimento, conforme situação de uso. ...	28
Tabela 3 – Aspecto visual dos litotipos estudados. ....	31
Tabela 4 – Ensaio realizado nos litotipos estudados. ....	33
Tabela 5 – Composição mineralógica do Granito Cinza Corumbá - PB.....	44
Tabela 6 – Composição mineralógica do Granito Cinza Pocinhos - PB.....	45
Tabela 7 – Composição mineralógica do Granito Cinza Corumbá - ES.....	46
Tabela 8 – Composição mineralógica do Granito Cinza Andorinha - ES.....	47
Tabela 9 – Composição mineralógica do Granito Amarelo Ipanema - PE. ....	47
Tabela 10 – Composição mineralógica do Granito Amarelo Arabesco - ES.....	48
Tabela 11 – Composição mineralógica do Granito Amarelo Santa Cecília - ES.....	49
Tabela 12- Resultados da compressão uniaxial antes e após o ensaio de congelamento e degelo e seus respectivos valores de coeficiente de enfraquecimento ( <i>K</i> ).....	56

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	16
2.1	Rochas .....	16
2.1.1	O ciclo das rochas.....	16
2.2	Origem das rochas ornamentais.....	19
2.3	Tipos comerciais.....	20
2.3.1	Granitos .....	20
2.3.2	Mármore.....	21
2.3.3	Quartzitos, arenitos e conglomerados.....	22
2.3.4	Ardósias .....	23
2.3.5	Serpentinitos .....	23
2.4	Comércio de rochas ornamentais no Brasil .....	24
2.4.1	Produção e consumo interno aparente .....	24
2.4.2	Importação .....	25
2.4.3	Exportação .....	25
2.5	Caracterização tecnológica de rochas ornamentais .....	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1	Materiais .....	31
3.2	Ensaio de caracterização tecnológica.....	33
3.2.1	Análise petrográfica.....	33
3.2.2	Índices físicos .....	34
3.2.3	Resistência à flexão (módulo de ruptura).....	36
3.2.4	Resistência à compressão uniaxial .....	37
3.2.5	Resistência ao impacto .....	38
3.2.6	Perda de resistência após congelamento e degelo .....	40
3.2.7	Dilatação térmica.....	41
3.2.8	Desgaste abrasivo <i>Amsler</i> .....	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1	Análise petrográfica.....	44
4.1.1	Granito Cinza Corumbá – PB.....	44
4.1.2	Granito Cinza Pocinhos – PB .....	44
4.1.3	Granito Cinza Corumbá -ES.....	46

4.1.4	Granito Cinza Andorinha -ES .....	46
4.1.5	Granito Amarelo Ipanema-PE .....	47
4.1.6	Granito Amarelo Arabesco -ES .....	47
4.1.7	Granito Amarelo Santa Cecília - ES .....	48
4.2	Índices físicos .....	50
4.3	Resistencia a compressão uniaxial .....	54
4.4	Congelamento e degelo associado à compressão uniaxial .....	56
4.5	Resistência de flexão (módulo ruptura).....	57
4.6	Desgaste Amsler .....	59
4.7	Resistência ao impacto de corpo duro .....	61
4.8	Dilatação térmica.....	62
5	CONCLUSÕES .....	64
	REFERÊNCIAS .....	66

## 1 INTRODUÇÃO

O trabalho restringe-se às rochas ornamentais, silicáticas, do Espírito Santo e Nordeste, de onde foram estudados 7 (sete) diferentes tipos desses materiais, e os resultados obtidos foram comparados com aqueles estabelecidos pelas normas ASTM C 615 e ABNT NBR 15844.

A caracterização tecnológica das rochas deve ser realizada na etapa de pesquisa mineral, ou seja, antes de começar a exploração comercial do material, para se ter conhecimento de qual será o melhor tipo de aplicação.

Os principais ensaios realizados na caracterização das rochas ornamentais e de revestimento são: análise petrográfica, índices físicos (massa específica, porosidade e absorção d'água), desgaste Amsler, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão (módulo de ruptura), coeficiente de dilatação térmica linear, resistência ao impacto, congelamento/degelo.

O conhecimento das propriedades físico-mecânicas e das características químico-mineralógicas das rochas utilizadas como revestimento são fatores técnicos que podem afetar o preço do produto, as opções de uso e a valorização do material mediante as exigências do mercado. O valor comercial da rocha é consequência direta das características técnicas da rocha ornamental, bem como das características estéticas. A utilização mais adequada para uma dada rocha deve ser aquela que apresente o valor técnico, estético e comercial mais elevado (MOURA et. al., 2000).

O objetivo geral do trabalho intitulado “Rochas ornamentais do Espírito Santo e do Nordeste: avaliação da aplicabilidade através da caracterização tecnológica” é caracterizar, do ponto de vista tecnológico, sete (7) litotipos utilizados como rocha ornamental e determinar as correlações existentes entre suas características físicas e mecânicas. Discutem-se, ainda, os limites propostos e sugeridos por órgãos regulamentadores e entidades de pesquisa para algumas características, tais como índices físicos, desgaste Amsler, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão, coeficiente de dilatação térmica linear, resistência ao impacto, congelamento/degelo.

As informações, dados, resultados e interpretações são apresentados a seguir com a seguinte organização:

A Introdução aborda o assunto relativo ao tema estudado;

- A seção 2 expõe a fundamentação teórica sobre o contexto de estudo;
- A seção 3 aborda o material utilizado e a metodologia empregada nesta pesquisa;
- A seção 4 corresponde à apresentação, interpretação e discussão dos resultados obtidos a partir dos ensaios realizados nos litotipos em estudo;
- Finalmente, a seção 5 traz as considerações finais com relação ao tema estudado.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Nesta seção, foram realizadas várias pesquisas que abordaram assuntos sobre os grupos de rochas, rochas ornamentais e de revestimento, comércio de rochas ornamentais no Brasil e caracterização físico-mecânica de rochas ornamentais.

### **2.1 Rochas**

Rochas são corpos sólidos naturais resultantes de um processo geológico determinado, formadas pelo agregado de um ou mais minerais, arranjadas segundo as condições de temperatura e pressão existentes durante a formação, cujas características permitem a separação em três grandes grupos: ígneas, sedimentares e metamórficas, cada qual com propriedades peculiares, que as tornam mais ou menos adequadas para o uso na construção civil. (FRASCÁ, 2013)

#### **2.1.1 O ciclo das Rochas**

As rochas estão em constante transformação, em virtude da dinâmica interna e externa da formação da Terra, seja na superfície da crosta terrestre, seja através do intemperismo e da erosão (Figura 1).

Figura 1– Ciclo das rochas



Fonte: profwladimir.blogspot.com

Diante disso, as rochas se dividem em 3 grandes grupos:

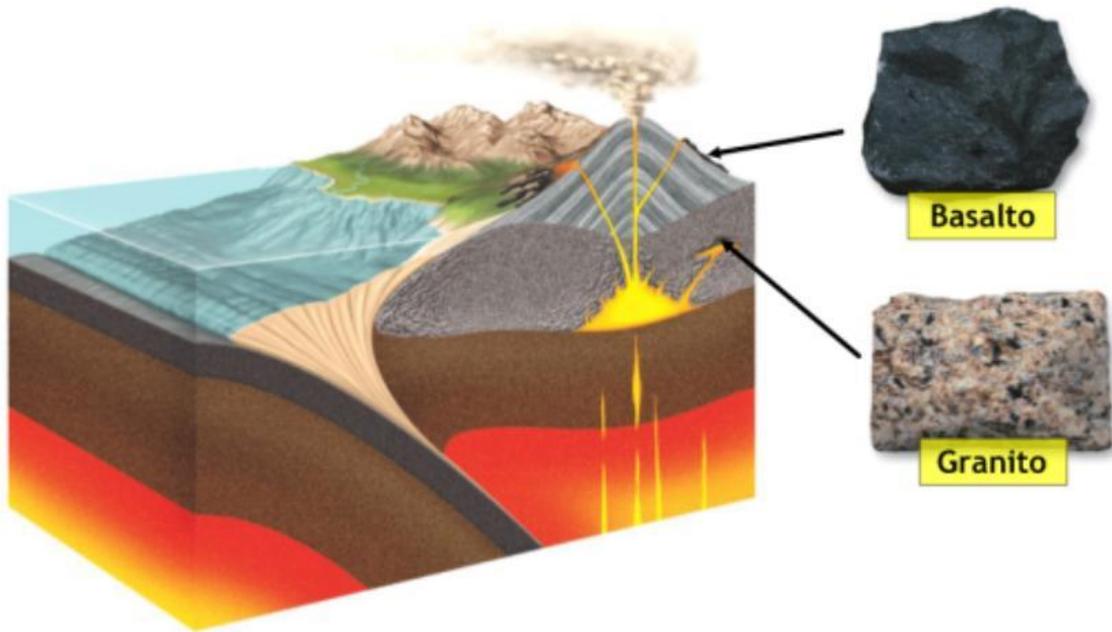
a) As **Rochas Ígneas** correspondem a aproximadamente 95% dos 16 km mais superiores da crosta terrestre. Contudo, sua grande abundância na superfície da Terra é encoberta por uma camada relativamente fina, ainda que amplamente espalhada, de rochas sedimentares e metamórficas. As rochas ígneas cristalizam-se a partir de uma fusão silicatada denominada magma (KLEIN & DUTROW, 2012).

Rochas ígneas **extrusivas** ou **vulcânicas** são aquelas que atingiram a superfície da Terra em um estado fundido ou parcialmente fundido. Tais rochas extrusivas tendem a resfriar e a cristalizar rapidamente, e o resultado final é um tamanho de grão geralmente pequeno. Se o resfriamento foi tão rápido a ponto de não permitir a formação nem mesmo de pequenos cristais, a rocha resultante será um vidro (KLEIN & DUTROW, 2012).

Rochas ígneas **intrusivas** ou **plutônicas** são resultantes da cristalização de um magma que não conseguiu atingir a superfície da Terra. Um magma situado a grande profundidade na crosta terrestre normalmente resfria lentamente, e o tempo é suficiente para que os minerais

cristalizem, atingindo um tamanho considerável (mm a cm), originando a textura com granulometria variando de média a grossa. (KLEIN & DUTROW, 2012).

**Figura 2 – Rochas ígneas plutônica e vulcânica**



Fonte: [www.geografando.com](http://www.geografando.com)

b) **Rochas Sedimentares** cobrem aproximadamente 80% da superfície da Terra, mas a sua contribuição total para os 16 km mais superiores da crosta é de aproximadamente 5%. Como tal, as sequências sedimentares representam somente uma camada superficial sobre a crosta (KLEIN & DUTROW, 2012).

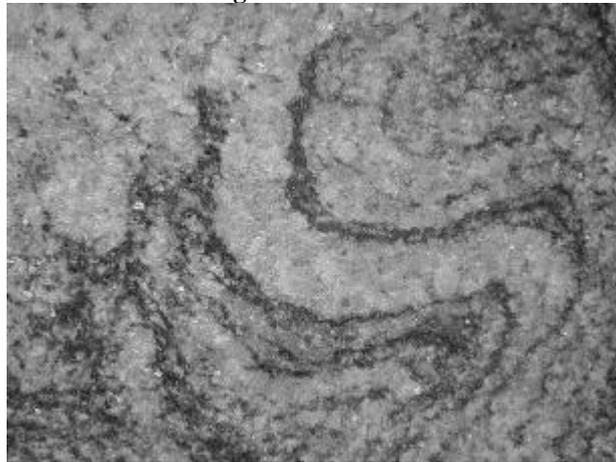
**Figura 3 – Conglomerado**



Fonte: [domingos.home.sapo.pt](http://domingos.home.sapo.pt)

c) **Rochas Metamórficas** são derivadas de rochas pré-existentes (ígneas, sedimentares ou metamórficas) por recristalização no estado sólido. Isso resulta em mudanças mineralógicas texturais e estruturais. Tais mudanças podem ser o resultado de marcantes variações na temperatura, pressão, fluidos e no *stress* cisalhante em profundidades consideráveis na crosta da Terra. (KLEIN & DUTROW, 2012).

**Figura 4 – Gnaiss**



Fonte: [www.rc.unesp.br](http://www.rc.unesp.br)

## 2.2 Origem das Rochas Ornamentais

As rochas comumente usadas na construção civil envolvem dois grandes grupos: as rochas carbonáticas, que abrangem os mármore, dolomitos e etc., e as rochas silicáticas, cujo estudo é o objetivo do presente trabalho.

A caracterização tecnológica desses materiais deve ser realizada logo na etapa da pesquisa mineral, e nessa fase já se deve ter conhecimento do tipo de aplicação para o qual os produtos se destinam. Muitos insucessos têm ocorrido com as rochas ornamentais devido à falta de conhecimento (i) das características naturais que o material traz e (ii) das propriedades induzidas pelos métodos de lavras e processos de beneficiamento, aplicação, uso/adequação, que podem provocar alterações (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).

As rochas ígneas têm origem no resfriamento do magma. A grande maioria dos magmas observados possui uma composição silicática, com seus principais componentes sendo o oxigênio e o silício. Há ainda, presentes nos magmas silicatados, os componentes Fe, Ca, Mg, Na, K, Al, Ti, que compõem a grande parte da composição da rocha e, por isso, são tratados como elementos principais; e outras substâncias, como P e Mn, que são conhecidos como traços. (SIAL & McREATH, 1984).

### **2.3 Tipos comerciais**

O conceito comercial de granito corresponde a qualquer rocha não-calcária, capaz de receber corte e polimento e ser usado como material de revestimento; o que interessa para o mercado são os aspectos estéticos e as características tecnológicas dessas rochas.

Desse modo, o termo *granito* designa um abrangente conjunto de rochas silicáticas compostas por minerais principalmente definidos à base de feldspatos, feldspatóides e quartzo. Dependendo da variedade, pode incluir minerais máficos (escuras) acessórios, biotita, anfibólios e piroxênios.

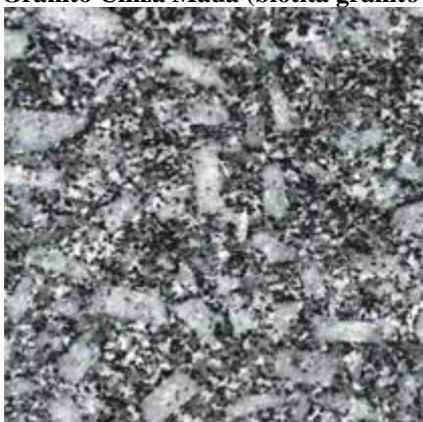
#### **2.3.1 Granitos**

O “granito comercial” inclui tanto rochas ígneas quanto metamórficas, abrangendo, neste sentido, uma variada gama de tipos textural, estrutural e composicionalmente distintos, o que reflete em cores e padrões estéticos diversos. A exploração e beneficiamento dos granitos são mais difíceis, entretanto, têm alto brilho no polimento e alta durabilidade mecânica, sendo, portanto, tratados como rochas ornamentais de alta qualidade.

Os granitos *strictu sensu*, os quartzomonzonitos, os granodioritos e os quartzodioritos, são rochas ígneas utilizadas como rocha ornamental e de revestimento. As rochas metamórficas comercialmente “graníticas”, também conhecidas como “rochas movimentadas”, têm nos gnaisses e migmatitos seus representantes mais expressivos.

Os migmatitos são rochas textural e estruturalmente bastante heterogêneas, são requisitadas no mercado devido à padronagem complexa. Os charnockitos são bastante explorados para fins ornamentais e de revestimento, devido à sua textura “não movimentada”.

**Figura 5 – Granito Cinza Mauá (biotita granito porfiróide).**



Fonte: Chiodi Filho, 2009.

### **2.3.2 Mármore**

No sentido comercial, os mármore incluem rochas de composição carbonática, sedimentares e metamórficas. Os minerais predominantes são calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , em geral com o predomínio da primeira. Minerais acessórios são quartzo, pirita, siderita, feldspatos, entre outros, além de impurezas, tais como argilas. Os mármore são rochas pouco abrasivas e de baixa resistência aos agentes intempéricos. Reagem ao ataque do ácido clorídrico (ou muriático).

**Figura 6 – Mármore ônix, rocha bandada e translúcida.**



Fonte: Chiodi Filho, 2009.

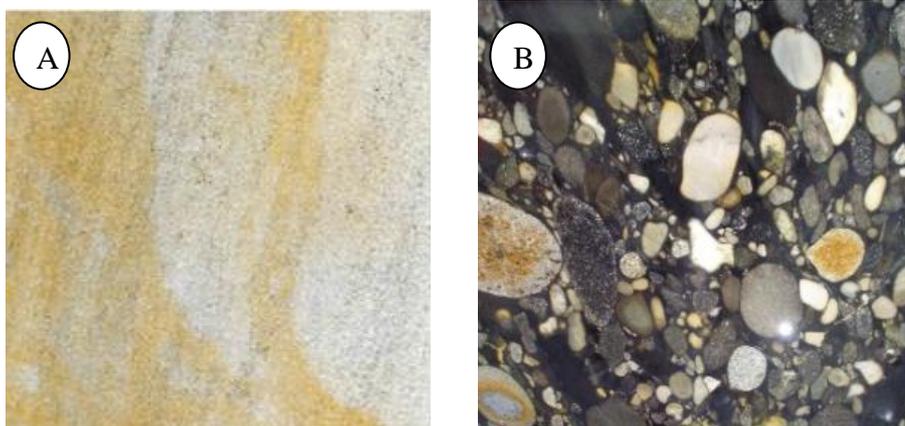
### 2.3.3 Quartzitos, arenitos e conglomerados

Os quartzitos e arenitos originam-se a partir de metamorfismo de rochas sedimentares. São estruturalmente maciços a laminados, compostos basicamente de quartzo, com percentuais de 70% a 95%.

Em função do elevado conteúdo de quartzo, os arenitos e quartzitos são rochas naturalmente resistentes ao risco e ao desgaste abrasivo.

Conglomerados são rochas sedimentares clásticas, apresentam sedimentos superiores a 2,0mm. Os conglomerados – quando afetados pelo metamorfismo, o que lhes confere maior coesão entre os grãos e maior resistência mecânica – são utilizados como rocha ornamental.

**Figura 7 - a) Quartzito foliado branco amarelado (MG) e b) Metaconglomerado polimitico negro (BA).**



Fonte: Chiodi Filho, 2009.

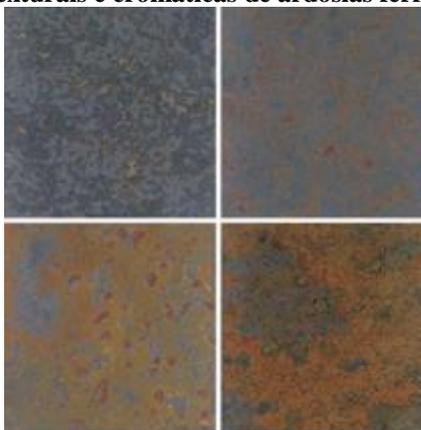
### 2.3.4 Ardósias

As ardósias são rochas sedimentares ou metamórficas de composição metapelítica de grau metamórfico muito baixo, cripto a microcristalina, cor cinza-escuro a preta.

Os minerais acessórios incluem quartzo, clorita, illita, carbonatos, feldspatos e opacos. As ardósias são rochas geralmente impermeáveis e pouco resistentes ao desgaste abrasivo.

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).

**Figura 8 – Ardósias: Variedades texturais e cromáticas de ardósias ferrugem/ multicolor ou rusty (MG).**



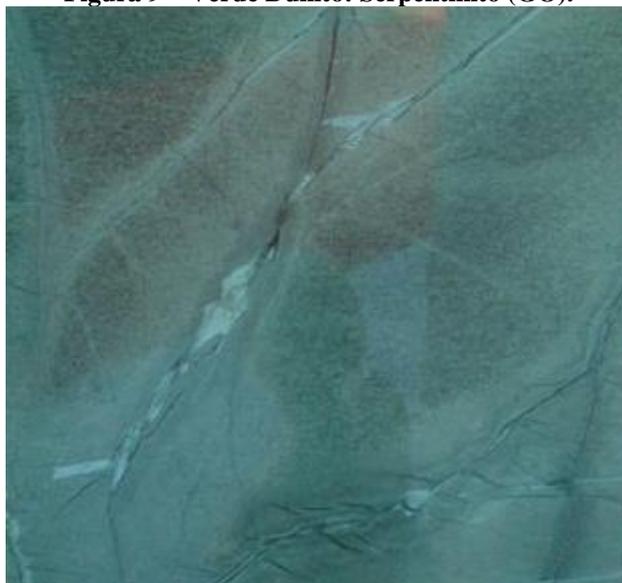
Fonte: Chiodi Filho, 2009.

### 2.3.5 Serpentinóis

Os serpentinóis são produtos de alteração hidrotermal de rochas ígneas ultrabásicas magnesianas, principalmente dunitos e peridotitos, e compostos basicamente por minerais do grupo da serpentina, os quais se formam às expensas da hidratação de olivinas e piroxênios (ELHERS & BLATT, 1982).

No tocante aos serpentinóis, esses litotipos são equivocadamente comercializados como granitos. (COSTA et al, 2002).

**Figura 9 – Verde Dunito: Serpentinito (GO).**



Fonte: Chiodi Filho, 2009.

## **2.4 Comércio de rochas ornamentais no Brasil**

### **2.4.1 Produção e consumo interno aparente**

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS), o setor de rochas ornamentais encerra 2014 com um desempenho aquém do vislumbrado há um ano, mas ainda bastante satisfatório frente a outros segmentos produtivos. A desaceleração das vendas no mercado interno já era, de certa forma, esperada para 2014. A estabilização das vendas para o mercado externo não foi projetada para 2014, pois se previa maior incremento dos embarques para os EUA e não se contava com o impacto da desaceleração do crescimento da economia chinesa.

De acordo com levantamentos efetuados pela ABIROCHAS, a produção brasileira de lavra estaria esse ano estimada em 10,13 milhões de toneladas, das quais 64% atribuídas à região Sudeste e 26% à região Nordeste. Os granitos e rochas similares contribuíram com 50% do total da produção, sendo 20% relativos a mármore, travertinos e calcários.

Considerando a produção estimada, bem como as exportações e importações de rochas brutas e processadas, estima-se que o consumo interno aparente tenha recuado de 78,0 milhões m<sup>2</sup> equivalentes, no ano de 2013, para 75,7 milhões m<sup>2</sup>, equivalentes a chapas com 2 cm de

espessura, em 2014. Os granitos representam 45% do consumo interno, com 25% atribuíveis a rochas carbonáticas. (ABIROCHAS, 2014)

#### **2.4.2 Importação**

Em 2014, as importações brasileiras de materiais rochosos naturais somaram 98.917,30 t, o que representou variação negativa de respectivamente 2,86% e 9,43% frente a 2013. As rochas processadas compuseram 77,9% do valor e 72,7% do total do volume físico dessas importações. As chapas de rochas carbonáticas compuseram 62,75% do total do volume físico importado, com 24,17% correspondentes a material bruto (blocos) dessas mesmas rochas. (ABIROCHAS, 2014)

As importações de materiais rochosos naturais e artificiais somaram 161.663,71 t em 2014, contra 161.418,72 t em 2013. O volume físico das importações de materiais naturais recuou cerca de 10.000 t de 2013 para 2014, enquanto as dos materiais artificiais cresceu 10.000 t no período. (ABIROCHAS, 2014)

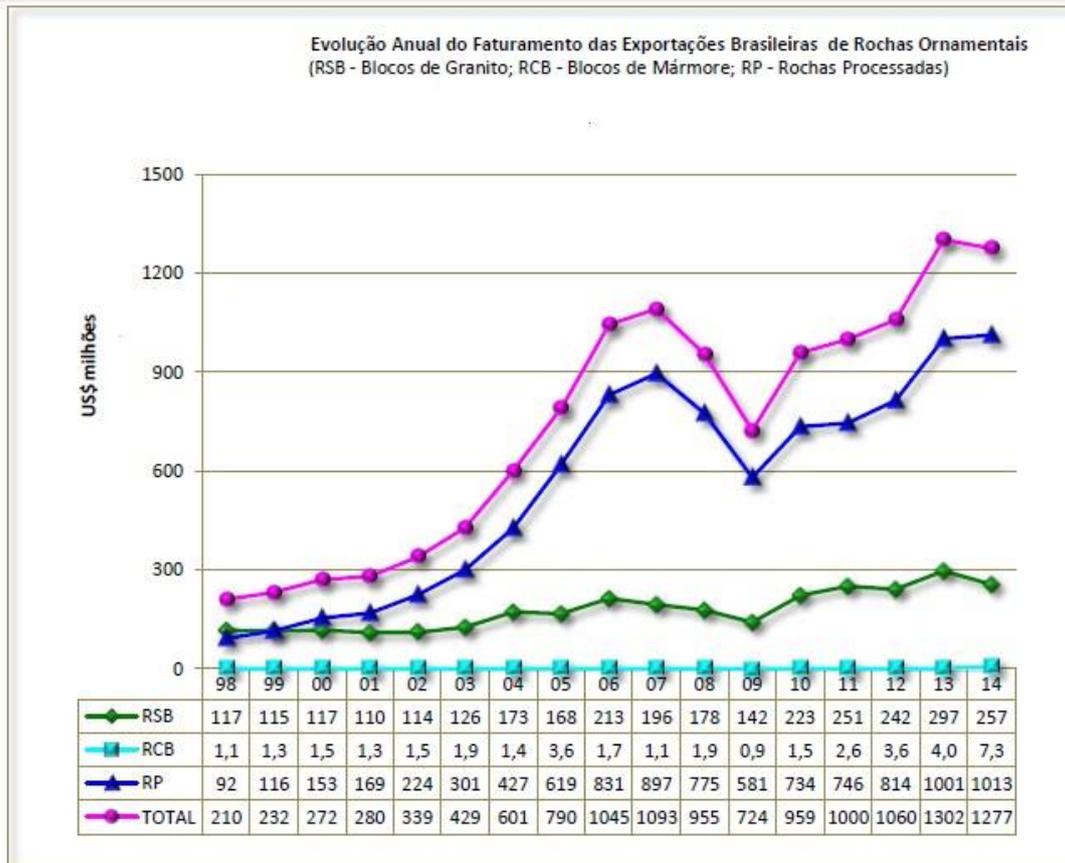
#### **2.4.3 Exportação**

Em 2014, as exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento foram correspondentes a um volume físico comercializado de 2.547.185,49 t. As rochas são processadas, tanto as simples (produtos de ardósia, quartzitos foliados, pedra morisca, etc.), quanto as especiais (chapas de granito, mármore e pedra-sabão, lajotas serradas, etc.) (ABIROCHAS, 2014).

As exportações para os EUA somaram 971.272,69 t em 2014, com variação positiva de respectivamente 2,45% e 3,19% frente a 2013. As rochas processadas representaram 99,94% do faturamento e 99,92% do volume físico exportado. (ABIROCHAS, 2014)

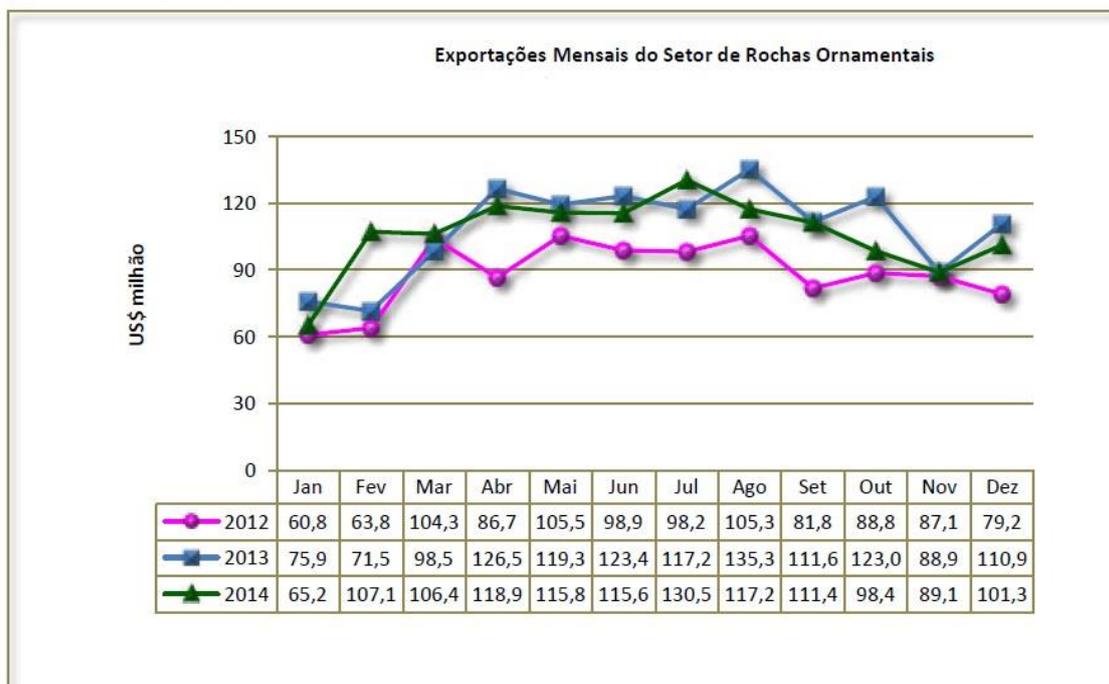
As exportações para a China recuaram 21,75% em faturamento e 23,39% em volume físico frente a 2013, somando 788.020,92 t. Este foi o primeiro recuo anual significativo desde o início da contabilização das exportações, há quase duas décadas, bem como a primeira vez em que o volume físico exportado para a China foi inferior ao volume para dos EUA (ABIROCHAS, 2014).

Gráfico 1 – Evolução anual do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais.



Fonte: ABIROCHAS, 2014.

Gráfico 2 – Exportações mensais do setor de rochas ornamentais.



Fonte: ABIROCHAS, 2014.

## 2.5 Caracterização tecnológica de rochas ornamentais

A caracterização tecnológica de rochas é realizada por meio de ensaios e análises, cujo principal objetivo é a obtenção de parâmetros petrográficos, químicos, físicos e mecânicos do material, que permitam a qualificação da rocha para uso no revestimento de edificações (FRASCÁ, 2000).

O principal condicionante para o comércio e o uso da rocha, por especificadores e consumidores, é seu aspecto estético (cor, textura e estrutura), o qual, por sua vez, está relacionado aos modismos. Entretanto, esse aspecto deve ser conjugado ao conhecimento das propriedades físicas e mecânicas para que a rocha escolhida tenha o desempenho esperado quando submetida às diversas solicitações de uso (FRASCÁ, 2001).

Para a definição desses parâmetros, recomenda-se que todos os materiais rochosos de ornamentação e revestimento sejam submetidos a ensaios de caracterização tecnológica. Estes ensaios servem para distinguir os campos de aplicação dos materiais e o seu comportamento frente às solicitações. Vidal et. al (2013) defendem que a determinação das propriedades das rochas é realizada por meio da execução de ensaios e análises normalizadoras, em laboratórios especializados, que têm por objetivo a obtenção dos parâmetros petrográficos, físicos e mecânicos característicos, cuja análise permitirá a recomendação do uso mais adequado no revestimento de edificações, bem como subsidiarão a elaboração de projetos arquitetônicos.

Entidade nacional e organizações internacionais relacionadas abaixo trabalham na padronização dos procedimentos de ensaios:

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);
- American Society for Testing and Materials (ASTM);
- Comissão Europeia de Normatização (CEN);
- British Standard Institution (BSI);
- Deutches Institutfür Normung (DIN).

Na tabela 3 abaixo, estão os ensaios para caracterização de rochas ornamentais normatizados pela ABNT NBR 15844 e ASTM C615.

**Tabela 1 – Valores especificados para granitos pela ABNT NBR 15844 E ASTM C 615.**

Propriedade	ABNT NBR 15844	ASTM C615
Densidade aparente ( $\text{Kg/m}^3$ )	>2.550	$\geq 2.560$
Porosidade aparente (%)	1,0	n.e
Absorção d'água (%)	<0,4	$\leq 0,4$
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
Coefficiente de dilatação térmica linear ( $\times 10^{-3}$ mm/m°C)	<8,0	n.e
Impacto de corpo duro (m)	>0,3	n.e
Desgaste Amsler (mm/1000m)	<1,0	n.e

**Fonte:** Frazão & Frajallat (1995).

Segundo os ensaios e análise descritos anteriormente, estão representadas na tabela 4 as solicitações às quais a maioria das rochas de revestimento estará submetida, conforme a situação de uso, de acordo com Frascá (2001).

**Tabela 2 – Ensaios recomendados para rochas de revestimento, conforme situação de uso.**

Tipos de revestimentos	Ensaios <u>N</u> ecessários, <u>R</u> ecomendados e de <u>I</u> nteresse						
	AP	AA	RDA	RF	RCU	CDTL	RICD
Horizontais de exteriores	N	N	R	R	R	N	N
Horizontais de interiores:							
Baixo Tráfego	N	N	R	R	R	R	N
Alto Tráfego	N	N	N	R	R	R	N
Verticais de exteriores (fixados com argamassa ou por ancoragem metálica)	N	N	I	N	N	N	I
Verticais de interiores	N	N	I	I	I	R	R

**Fonte:** Frascá, 2001

Legenda: **AP** = análise petrográfica; **AA** = absorção d'água; **RDA** = resistência ao desgaste abrasivo; **RF** = Resistência à flexão; **RCU** = Resistência a compressão uniaxial; **CDTL** = Coeficiente de dilatação térmica Linear ; **RICD** = resistência ao impacto de corpo duro.

Segundo SALES et. al. (2003), a análise petrográfica de uma rocha ornamental estabelece a classificação petrográfica e põe em evidência uma série de características, tais como existência de poros, alteração, deformação, descontinuidades, fissuras e outros que influenciam no comportamento mecânico e durabilidade sob as condições de uso a que será submetida.

A densidade aparente e o coeficiente de absorção d'água são obtidos a partir do mesmo ensaio e em ambos existe uma relação inversa. Para um mesmo tipo de rocha, quanto maior a densidade aparente, menor é a porosidade e menor será o coeficiente de absorção d'água. (CHIODI, 2009). Uma rocha porosa com intercomunicação entre os poros absorverá mais água e seus minerais serão mais susceptíveis ao ataque pela própria água ou por outros agentes químicos. O coeficiente de absorção d'água é de suma importância quando os materiais vão ser colocados sujeitos à ação de agentes intempéricos (ARAÚJO, 2015).

A resistência à compressão de rochas é representada pela tensão capaz de provocar a sua ruptura. Rochas que apresentam altas resistências à compressão mostram, em geral, valores adequados de outras propriedades, tais como baixa porosidade, alta resistência à flexão (IAMAGUTI, 2001). A resistência na direção ortogonal à estrutura da rocha é, em geral, maior que na direção paralela e maior ainda que na direção inclinada. Para um mesmo tipo petrográfico, amostras com granulação menor terão uma resistência à compressão maior. O estado de alteração e o microfissural têm grande influência na resistência à compressão.

A Resistência à flexão (ou flexão por carregamento em quatro pontos) é importante para dimensionamento de placas a serem utilizadas no revestimento de fachadas com o uso de sistemas de ancoragem metálica para a sua fixação. Segundo Iamaguti (2001), a resistência à flexão é bastante dependente da estrutura e da textura da rocha. Esse é um dos ensaios mais importantes e necessários para revestimento externo de fachadas com rochas ornamentais.

De acordo com Chiodi (2009), o ciclo de congelamento e degelo é um fenômeno comum nos países do hemisfério norte. A água acumulada nos poros das rochas aumenta de volume quando sob temperatura negativa, e é solicitada intensamente nas pedras em revestimento de fachadas e pisos, levando-as a um enfraquecimento progressivo. Ciclos de tensão gerados pela

expansão do gelo, seguidos da distensão pelo degelo, promovem paulatinamente a queda da resistência das pedras ou até a sua completa desagregação. O enfraquecimento se deve às tensões advindas da expansão resultante do congelamento da água, e o efeito será tanto maior quanto maior for a porosidade intercomunicante, quanto menores forem os poros e quanto maior for o seu grau de saturação. Todos esses ensaios são executados no mundo todo através de procedimentos padronizados por instituições normalizadoras, entre as quais se destacam: American Society for Testing and Material ASTM; Deutches Institut Fur Normung - DIN; Association Français du Normalisation - AFNOR; Enternacionalle Italiano de Unificazion-UNI e a norma espanhola UNE, no Brasil, ABNT.

O Desgaste Amsler simula o tráfico de pessoas ou veículos, em laboratório, através da redução de espessura (mm) que placas de rochas apresentam após um percurso abrasivo de 1.000 m na máquina Amsler.

A resistência ao impacto (tenacidade de uma rocha) é a propriedade que reflete sua coesão e indica sua maior ou menor capacidade de suportar ação mecânica instantânea (golpe ou impacto). O valor da energia liberada pelo impacto de um corpo que provoque a ruptura de uma placa é importante para subsidiar o seu dimensionamento num revestimento, tanto de pisos como de partes baixas de um revestimento vertical. A tenacidade depende grandemente do grau de embricamento dos cristais de minerais formadores das rochas, assim como da sua estrutura. (ARAÚJO, 2015)

O Coeficiente de Dilatação Térmica Linear é realizado submetendo as rochas a variações de temperatura em um intervalo entre 0°C e 50°C. Com isso, há expansão e contração térmica do material rochoso. É importante para o dimensionamento do espaçamento das juntas em revestimentos porque a dilatação térmica pode promover o imbricamento das chapas assentadas.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento metodológico aplicado no desenvolvimento deste trabalho dividiu-se em duas etapas:

1ª Etapa: análise petrográfica das amostras em estudo;

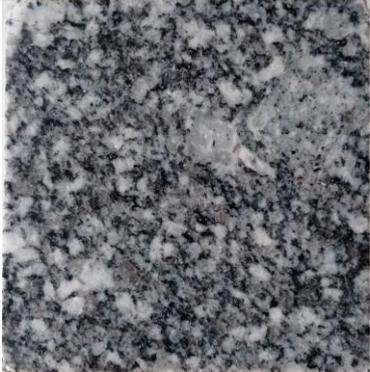
2ª Etapa: execução de ensaios de resistência à compressão, resistência à flexão, resistência ao impacto, gelo e degelo, desgaste Amsler e dilatação térmica.

As etapas permitiram conduzir uma atenção especial aos aspectos significantes que pudessem influenciar nas questões discutidas nesta dissertação.

#### 3.1 Materiais

**Tabela 3 – Aspecto visual dos litotipos estudados.**

Nome Comercial	Local	Foto
Amarelo Ipanema	Pedra - PE	
Arabesco	Barra de São Francisco/Nova Venécia - ES	

Santa Cecília	Barra de São Francisco/Nova Venécia - ES	
Cinza Corumbá	São Mamede- PB	
Cinza Pocinhos	Pocinhos - PB	
Cinza Corumbá	Castelo - ES	
Cinza Andorinha	Castelo - ES	

### 3.2 Ensaios de Caracterização tecnológica

O principal objetivo da realização de ensaios tecnológicos é a obtenção de parâmetros físicos, mecânicos e petrográficos do material *in natura*, que permitam a qualificação da rocha para uso no revestimento de edificações (FRASCÁ, 2001).

Os ensaios realizados nos sete litotipos estão na tabela 4.

**Tabela 4 – Ensaios realizados nos litotipos estudados.**

Ensaios	
Caracterização Tecnológica ABNT NBR 15845:2010	Análise petrográfica - Anexo A
	Densidade aparente - Anexo B
	Porosidade aparente - Anexo B
	Absorção d'água - Anexo B
	Coefficiente de dilatação térmica linear - Anexo C
	Resistência ao Congelamento e Degelo - Anexo D
	Resistência à compressão uniaxial - Anexo E
	módulo de Ruptura (flexão por três pontos) - Anexo F
Resistência ao impacto de corpo duro - Anexo H	
ABNT NBR 12042:1992	Resistência ao desgaste

O Cinza Corumbá – PB e o Amarelo Ipanema – PE, originários do Nordeste, não tiveram a determinação dos coeficientes de dilatação devido a problemas técnicos.

#### 3.2.1 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 das 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).

Certas estruturas, como, por exemplo, a microfissuração, pode exercer papel relevante no comportamento mecânico dos materiais rochosos, com influência significativa em suas propriedades.

Todos os litotipos estudados correspondem a rochas silicáticas. 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.

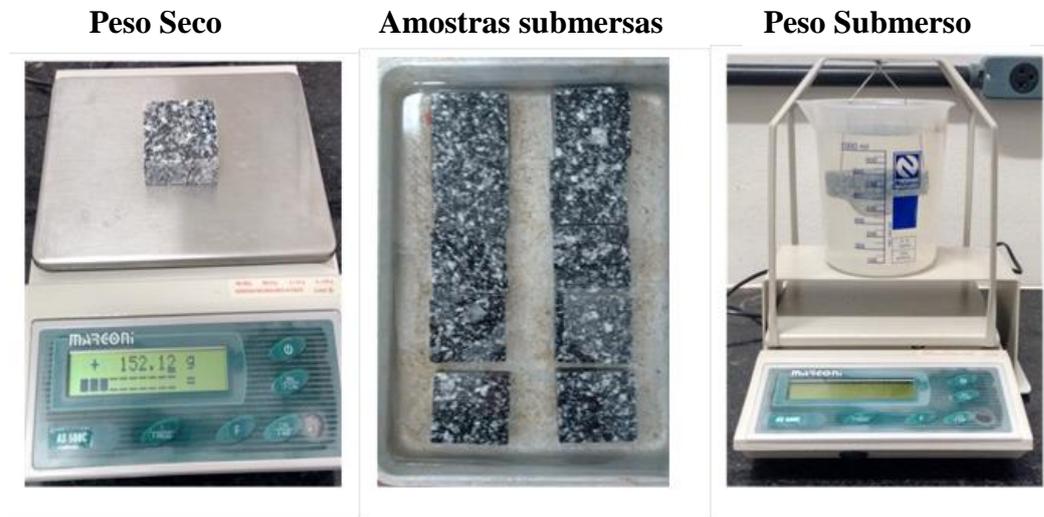
### **3.2.2 Índices Físicos**

O ensaio de caracterização física das rochas foi executado de acordo com a norma NBR 15845 (Rochas para revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente). Como exigido pela norma, foram utilizados 10 (dez) corpos-de-prova com medidas aproximadas de 5 x 5 centímetros cada. O ensaio consiste em secar os corpos-de-prova em estufa ( $80 \pm 5$  °C) por 24 horas, retirá-los e deixá-los esfriarem à temperatura ambiente. Após isso, 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 (Msat). Finalmente, determinam-se os valores de suas massas submersas (Msub), utilizando-se uma balança para pesagem hidrostática. Para

pesagem foi utilizada uma balança de precisão 0,01g., Marconi, Modelo AS500C, com capacidade máxima 500g e precisão de duas casas decimais (figura 10).

Figura 10 - Corpos de prova durante o ensaio de índices físicos



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

a) Densidade aparente:

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

b) Porosidade aparente:

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

c) Absorção d'água:

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

Todo o procedimento de ensaio foi realizado no Departamento de Engenharia de Minas, especificamente no Laboratório de Ensaios da Pós-Graduação de Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco.

### 3.2.3. Resistência à flexão (Módulo de ruptura)

A resistência à flexão é também conhecida como módulo de ruptura. Essa característica é muito importante, pois as rochas ornamentais são constantemente solicitadas à tração em seus usos, como em painéis de edifícios sob a ação dos ventos, numa quina de bancada, entre outras situações.

Os ensaios foram realizados no laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, de acordo com a norma da ABNT, NBR 15845/2010 (Rochas para revestimento - Determinação da resistência à flexão).

Foram utilizados três corpos-de-prova para cada condição de ensaio. Este tipo de ensaio consiste em submeter à flexão o corpo de prova com dimensões aproximadas (20 x 3 x 2) cm. Os corpos-de-prova inseridos um por vez na prensa hidráulica manual – SOLOTEST – de três pontos, com capacidade de 20 toneladas, e submetidos à ação de esforços flexores (figura 11).

**Figura 11 - Corpo de prova durante o ensaio de flexão.**

Prensa hidráulica.



A resistência à tração na flexão é dada pela seguinte expressão matemática:

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

Onde:

$\sigma$  – é o valor numérico do módulo de ruptura (MPa);

$P$  – força de ruptura (kN);

$L$  – distância entre os roletes inferiores (m);

$b$  – largura do corpo de prova (m);

$d$  – espessura do corpo de prova (m).

### 3.2.4 Resistência à Compressão Uniaxial

A resistência à compressão uniaxial é uma propriedade índice da rocha, que permite qualificar tecnologicamente o material. Apesar de ser uma propriedade índice, raramente uma rocha ornamental será submetida a tamanho esforço de compressão em condições normais de utilização. O ensaio foi realizado em amostras nas condições seca e saturada.

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 & 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 micro-descontinuidades que influenciam a resistência.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Estruturas, pertencente ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, e seguiu a Normativa da ABNT NBR 15845/2010 – ANEXO E - (Rochas para revestimento - Determinação da resistência à compressão uniaxial), figura 12.

O procedimento consiste em submeter seis corpos-de-prova cúbicos, com dimensões 7cmx7cmx7cm, 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 300kN/min.

Figura 12 - Ensaio de compressão uniaxial simples.

**Amostras enumeradas**

**Amostra na Prensa hidráulica**

**Amostras após compressão**



$$\sigma_c = P/A$$

onde:

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

**P** - é a força exercida no corpo de prova (kN);

**A** - área de aplicação da carga (m<sup>2</sup>).

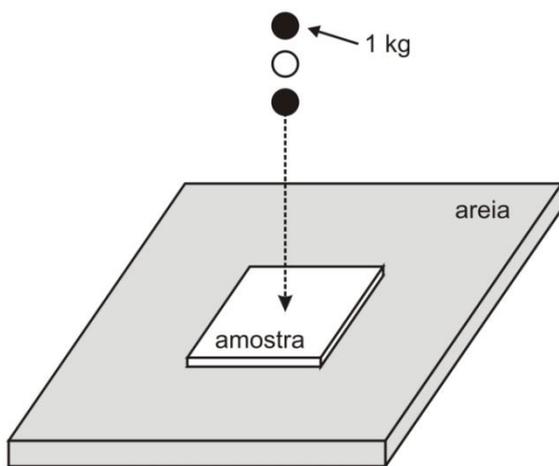
### 3.2.5 Resistência ao Impacto

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).

A norma utilizada para este procedimento foi a NBR 15845/2010 (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, conforme a figura 13.

O objetivo deste ensaio é simular a queda de objetos em um piso e observar os danos causados. Utiliza-se da energia potencial gravitacional, que é a energia acumulada no corpo por causa da ação da gravidade, e é expressa pelo produto de sua massa, aceleração da gravidade e altura em relação ao referencial.

**Figura 13 - Ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.**



Fonte: Adaptado de Iamaguti (2001)

A energia ( $W$ , em Joule) necessária para danificar a placa é dada pela seguinte equação:

$$W = (g \cdot h)/100$$

Em que:

$g$  - Aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );

$h$  - Altura de queda (cm).

Ainda de acordo com Iamaguti (2001), 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 e colocação.

### 3.2.6 Perda de Resistência após Congelamento e Degelo

A norma utilizada para o ensaio foi a NBR 15845/2010 (Rochas para revestimento – Ensaio de congelamento e degelo conjugado à verificação da resistência à compressão). A execução do ensaio consiste em colocar cada um dos corpos-de-prova nos recipientes, sobre um anteparo impermeável e inerte, e adicionar água até metade da altura do corpo-de-prova; após 4 h, adicionar água até a completa submersão dos corpos-de-prova e deixar completar o tempo total de, no mínimo, 24 h.

Levar os recipientes para o congelador e deixar por (16 +- 1) h, após estabilizar a temperatura em valor menor ou igual a - 15°C. Retirar os recipientes do congelador e deixar à temperatura ambiente por (8 + 1) h. Repetir o procedimento de congelamento e degelo por 25 vezes. Efetuar exame visual dos corpos-de-prova após cada ciclo, para verificação de eventuais danos (fisuras, fraturas, escamações, oxidação de minerais, desagregação e outros). Registrar esses eventos, se houver, e eliminar do ensaio mecânico corpos-de-prova que apresentarem tais danos. Ao final dos 25 ciclos, secar todos os corpos-de-prova em estufa a (70 + 5)°C e submetê-los ao ensaio da compressão uniaxial simples. Dessa forma, pôde-se avaliar o comportamento da resistência à compressão das rochas antes e após a variação da temperatura. Calculou-se a tensão da ruptura através da expressão utilizada para o ensaio de compressão uniaxial simples:

$$T = (F / A), \text{ onde,}$$

**T** = tensão (carga de ruptura- MPa);

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

**A** = área de aplicação da carga (mm<sup>2</sup>);

Com os valores de resistência à compressão uniaxial antes e após o ensaio, pode-se obter o coeficiente de enfraquecimento (*k*), que é a relação entre o valor da resistência à compressão

uniaxial após o congelamento-degelo ( $\sigma_{cd}$ ) e o valor no estado natural ( $\sigma_{nat}$ ), representado pela equação (NBR 15845/2010):

$$k = \sigma_{cd} / \sigma_{nat}$$

onde:

**K** = coeficiente de enfraquecimento;

$\sigma_{cd}$  = valor médio da resistência à compressão das amostras após congelamento e degelo;

$\sigma_{nat}$  = valor médio da resistência à compressão das amostras no estado natural (seco ou saturado).

O coeficiente de enfraquecimento (**K**) é calculado pela relação entre a resistência após os ciclos de congelamento e degelo e a resistência no estado natural. Valores de **K** próximo a 1 (um) são indicativos de que a rocha não sofreu modificações significativas pela ação do congelamento/degelo (FRASCÁ, 2003).

### 3.2.7 Dilatação térmica

O coeficiente é calculado pela razão entre o valor do incremento do comprimento de um corpo-de-prova e o produto do valor do seu comprimento original pela faixa de temperatura adotada nos ensaios (em geral, variando de 0° a 50°C) (FRAZÃO & PARAGUASSU, 1998).

Considerando que as rochas se dilatam e se comprimem, quando submetidas a alterações contínuas e bruscas de temperatura, é bastante importante caracterizar a reação do material rochoso a este parâmetro. Estabelecer esse coeficiente é muito importante, pois ele definirá os espaçamentos que deverão ser utilizados durante os procedimentos de assentamento.

**Figura 14 - Conjunto de equipamentos para a obtenção do coeficiente de dilatação térmica linear.**



Fonte - LMTR-CIENTEC-RS.

### **3.2.8 Desgaste abrasivo *Amsler***

Para o ensaio de desgaste abrasivo, foram confeccionados quatro corpos-de-prova com dimensões de 10cm x 10cm x 2cm, os quais tiveram suas espessuras 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 ( $\text{SiO}_2$ ) na sua composição, realizada na Máquina de ensaio *Amsler* (Figura 15).

Esse ensaio foi efetuado para obter-se o resultado do desgaste do material pétreo frente ao tráfego de pessoas e/ou veículos. Os ensaios foram executados no laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, segundo a norma da ABNT NBR 12042:1992.

**Figura 15 – Máquina de ensaio *Amsler***



Os resultados da redução de espessura do material pétreo estudado foram calculados através das fórmulas a seguir:

$$\mathbf{d = a - b}$$

$$\mathbf{e = a - c}$$

Onde:

**a** = altura inicial média das quatro faces (mm);

**b** = altura inicial média das quatro faces (mm) após 500m;

**c** = altura inicial média das quatro faces (mm) após 1000m;

**d** = desgaste médio após 500m (mm);

**e** = desgaste médio após 1000m (mm);

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados e discutidos todos os resultados obtidos a partir da análise petrográfica e dos ensaios de resistência a compressão, resistência a flexão, resistência ao impacto, gelo e degelo, desgaste Amsler e dilatação térmica, em sete amostras de rochas silicatadas do Estado do Espírito Santo e do Nordeste, comparando com os valores limites estabelecidos pela norma ABNT NBR 15844 e ASTM C615, conforme pode-se observar na Tabela 3.

### 4.1 Análise Petrográfica

#### 4.1.1 Granito Cinza Corumbá – PB

Rocha metamórfica com textura equigranular de granulação fina a média, tamanho médio dos cristais de aproximadamente 0,5 a 1,0 cm, bastante compacta, cor predominante cinza escuro devido à presença de minerais máficos e biotita, presença de feldspatos alcalinos, sem foliação aparente.

Não foram constatadas fissuras ou fraturamento a olho nu. A composição mineralógica inclui quartzo e feldspatos com esporádica presença de ripas muscovíticas de tamanho diminuto. A rocha é definida por um agregado fino de cristais de quartzo e feldspatos (oligoclásio) imbricados com predominância de quartzo. Esse conjunto é agregado por uma matriz muito fina caracterizada por um processo de silicificação micro cristalina.

**Tabela 5 – Composição mineralógica do Granito Cinza Corumbá - PB.**

<b>Composição mineralógica</b>	
Quartzo	50%
Plagioclásio (oligoclásio)	38%
biotita	7%
Acessórios (titanita, zircão, opacos)	5%

#### 4.1.2 Granito Cinza Pocinhos – PB

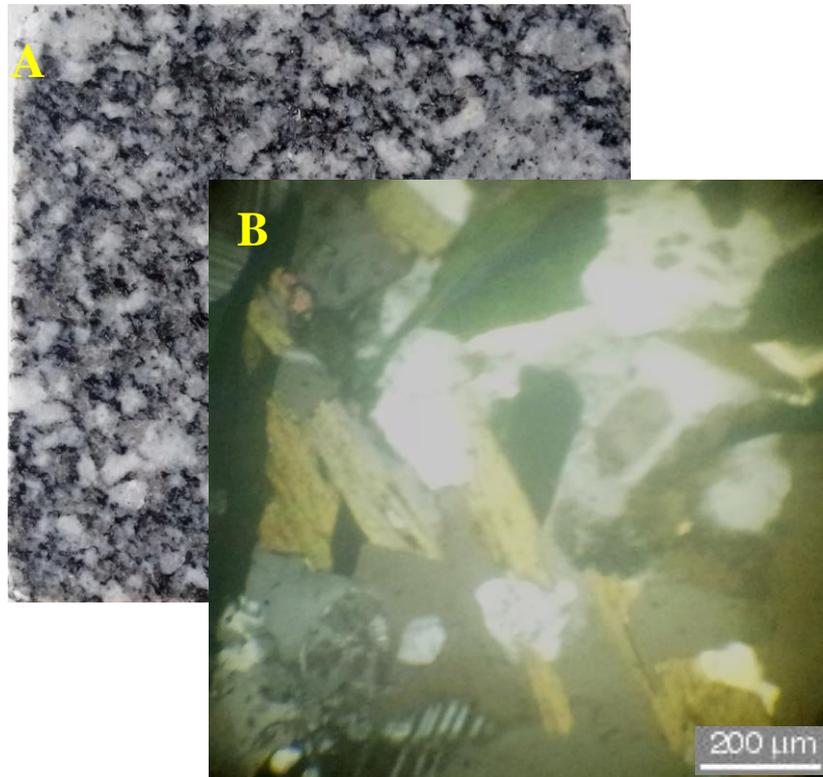
Coloração cinza com pontos brancos e pretos. Estrutura Gnáissica. Rocha metamórfica com textura porfiroblástica/granolepidoblástica inequigranular de granulação fina a média, predominante média, variando entre 0,3 mm e 2,6 mm. Microclínio ocorre como

porfiroblasto, podendo atingir proporções centimétricas em amostras de mão. Microfissuras fraco a moderado. Micro fissuramento intragranular e intergranular em quartzo e feldspatos. Preenchimento por muscovita, sericita e, mais raramente, carbonato. Moderada alteração hidrotermal evidenciada pela turvação de feldspatos por sericita. Classificação: Hornblenda-biotita gnaisse (monzogranítico).

**Tabela 6 – Composição mineralógica do Granito Cinza Pocinhos - PB.**

<b>Composição mineralógica</b>	
Plagioclásio (oligoclásio)	40%
Quartzo	25%
Microclinio	15%
Biotita	5%
Hornblenda	5%
Titanita	< 5%
Acessórios (Apatita, zircão, epídoto, opacos)	<5%

**Figura 16 – Granito Cinza Pocinhos – PB respectivamente, em (A) foto macroscópica, em (B) foto em microscópio petrográfico.**



#### 4.1.3 Granito Cinza Corumbá -ES

Caracterizado como uma rocha de composição monzogranítica de coloração cinza e textura fanerítica inequigranular a porfiritica média a grossa (2 mm a 20 mm) , com destaque para cristais de K-feldspato branco acinzentado, os quais definem uma orientação na rocha. Como minerais essenciais encontram-se: K-Feldspato (35%); biotita (10%); plagioclásio (31%) e quartzo (18%). Como minerais acessórios (6%) ocorrem: titanita e zircão, e opacos encontrados na rocha sob a forma de raras pontuações douradas identificadas como pirita. A rocha analisada apresentou baixo grau de alteração e baixo micro fissuramento.

**Tabela 7 – Composição mineralógica do Granito Cinza Corumbá - ES.**

<b>Composição mineralógica</b>	
K-feldspato	35%
Plagioclásio (oligoclásio)	31%
Biotita	10%
Quartzo	18%
Acessórios (titanita, zircão, opacos)	6%

#### 4.1.4 Granito Cinza Andorinha -ES

Material rochoso de composição monzogranítica e textura fanerítica equigranular fina a média com cristais inferiores a 3 mm. Como minerais essenciais ocorrem: K-Feldspato: cristais de coloração acinzentada, com dimensões de no máximo 3 mm, prevalecendo formas subédricas; como também na forma de aglomerados de dimensões de 5 mm juntamente com a magnetita que formam pontuações pretas que se destacam entre os demais minerais acinzentados da rocha; plagioclásio: diferencia-se macroscopicamente do k-feldspato pela coloração esbranquiçada e formas anédricas de dimensões inferiores a 1 mm; quartzo: cristais xenomórficos de coloração cinza. Como minerais acessórios ocorrem: titanita e zircão sob a forma de pequenos cristais prismáticos de coloração marrom e dimensões inferiores a 1 mm. Como minerais essenciais encontram-se: K-Feldspato (36%); biotita(18%); plagioclásio(25%); e quartzo (18%): Como minerais acessórios(3%) ocorrem: titanita, zircão e opacos. A rocha analisada apresentou baixo grau de alteração e baixo micro fissuramento.

**Tabela 8 – Composição mineralógica do Granito Cinza Andorinha - ES.**

<b>Composição mineralógica</b>	
K-feldspato	36%
Plagioclásio (oligoclásio)	25%
Biotita	18%
Quartzo	18%
Acessórios (titanita, zircão, opacos)	3%

#### **4.1.5 Granito Amarelo Ipanema-PE**

Rocha de cor clara com tonalidade dominante róseo-pálida a levemente amarelada com pontuações pretas. Entre os minerais destacam-se feldspatos esbranquiçados, róseos pálidos, quartzo e pontuações de biotita. Os agregados de feldspato permitem identificar a textura heterogranular fanerítica. Em virtude da rocha se apresentar isotrópica e ter planos bem definidos de corte. feldspatos esbranquiçados, róseos pálidos, quartzo e pontuações de biotita. Identificaram-se plagioclásio albítico (65%), K-feldspato (25%), quartzo (5%), e biotita (5%). A ocorrência de defeitos (trincas, veios e xenólitos) é pouco comum (SOUZA, 2008).

**Tabela 9 – Composição mineralógica do Granito Amarelo Ipanema - PE.**

<b>Composição mineralógica</b>	
Plagioclásio albítico	65%
K-feldspato	25%
Biotita	5%
Quartzo	5%

#### **4.1.6 Granito Amarelo Arabesco -ES**

A amostra apresenta uma textura fanerítica grossa, estrutura gnáissica, localmente porfiróide a porfiroblástica, inequigranular, granulação média a grosso ( 1 – 6mm) permitindo a distinção de pouco quartzo, contrastando com muitos feldspatos, mica escura e granada, sob aspecto geral anisotrópico, todavia prejudicado por truncamentos dos prismas de micas. Os indivíduos ou agregados minerais possuem dimensões variáveis desde sub a supracentimétricos, mas sem grandes contrastes, pois os tamanhos dos cristais maiores não ultrapassam com frequência os 20mm. Alterabilidade fraca a moderada e fissuramento moderado a forte. Identificaram-se plagioclásio albítico (75%), quartzo (4%), K-feldspato (15%) e 7% de acessórios, dentre os quais se destacam biotita (3%), sillimanita, granada (3%), sillimanita, zircão e apatita, citados

em ordem decrescente de abundância. Classificação petrográfica: **Sillimanita Albita monzosienítico**.

**Tabela 10 – Composição mineralógica do Granito Amarelo Arabesco - ES.**

<b>Composição mineralógica</b>	
Plagioclásio albitico	75%
K-feldspato	15%
Biotita	3%
Quartzo	4%
Acessórios (sillimanita, granada, zircão e apatita)	3%

**Figura 17 - Foto da petrografia do Granito Amarelo Arabesco - ES respectivamente, em (A) foto macroscópica, em (B) foto em microscópio petrográfico.**



#### **4.1.7 Granito Amarelo Santa Cecília - ES**

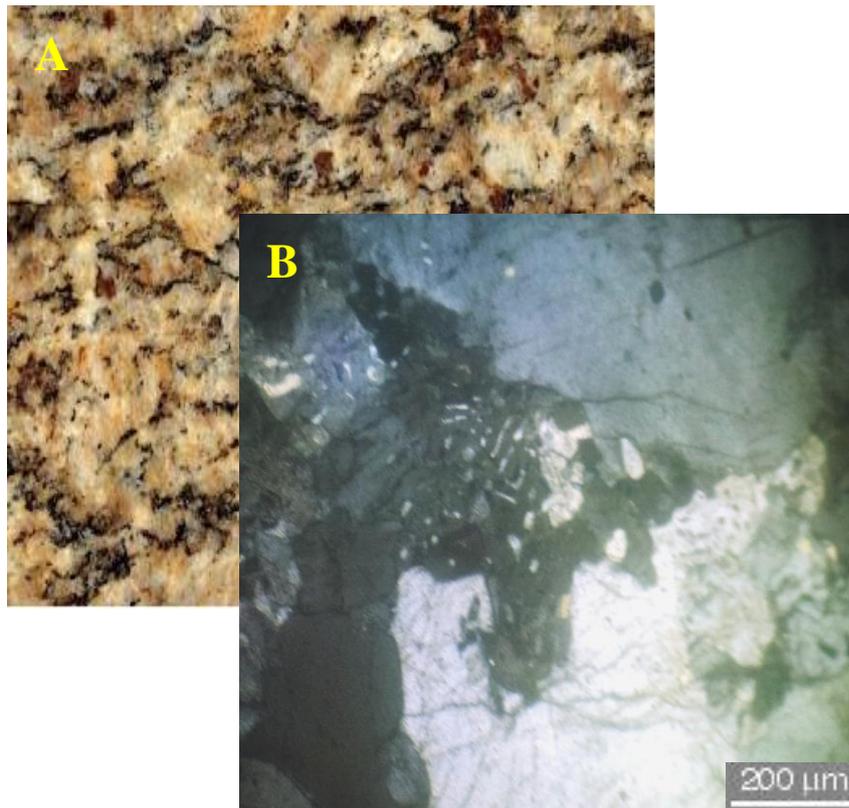
A amostra apresenta uma fábrica gnáissico-xistosa, reúne minerais de granulometria média a grossa (3 – 10mm) como os essenciais quartzo e feldspatos e o acessório granada, os quais exibem textura porfiróide e porfiroblástica. Os pórfiros de feldspatos e granada contrastam com a granulometria dos acessórios micáceos presentes. É interessante destacar as formas sigmoidais realçadas pela mica escura – preta a marrom - bordejando os indivíduos cristalinos

de feldspatos. Alterabilidade fraca a moderada e fissuramento moderado a forte. Identificaram-se plagioclásio albitico (66%), quartzo (9%), K-feldspato (4%), biotitas (8%), granada (10%) e 3% para os demais acessórios, dentre os quais se destacam epidoto, zircão, apatita e os minerais de alteração. Classificação petrográfica: **Albita Quartzomonzonito gnáissico a Albita Monzonito gnáissico.**

**Tabela 11 – Composição mineralógica do Granito Amarelo Santa Cecília - ES.**

<b>Composição mineralógica</b>	
Plagioclásio albitico	66%
K-feldspato	4%
Biotita	8%
Quartzo	9%
granada	10%
Acessórios (Epídoto, zircão e apatita)	3%

**Figura 18 – Foto da petrografia do Granito Amarelo Santa Cecília - ES respectivamente, em (A) foto macroscópica, em (B) foto em microscópio petrográfico.**



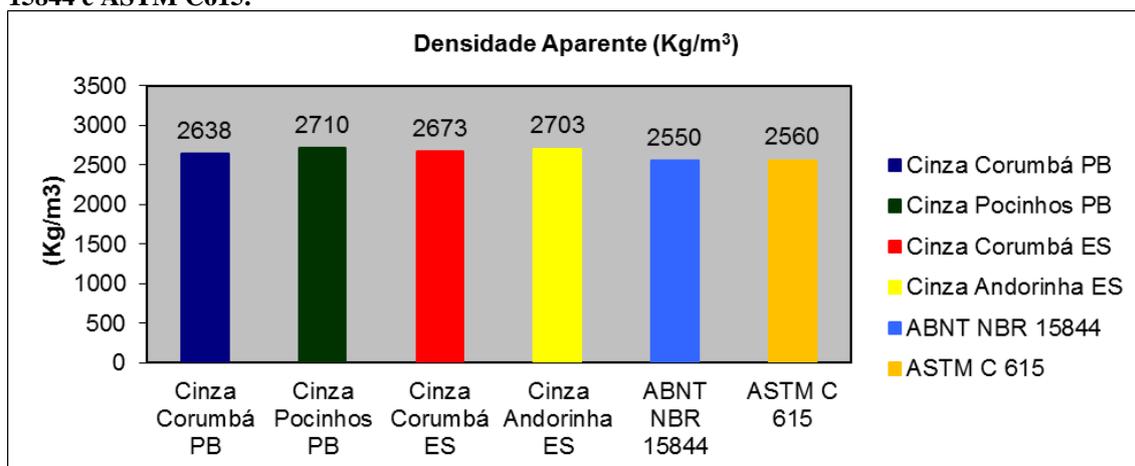
## 4.2 Índices Físicos

As propriedades de densidade, porosidade e absorção d'água, geralmente designadas de índices físicos, são consideradas, pela grande maioria dos pesquisadores, como características muito influentes na alterabilidade da rocha, pois seriam fatores determinantes para a resistência e durabilidade da rocha (WINKLER, 1997).

Para se avaliar comparativamente um conjunto de rochas utilizamos os valores de densidade, porosidade e absorção, pois fornecem indicação do estado fissural e de alteração de rochas.

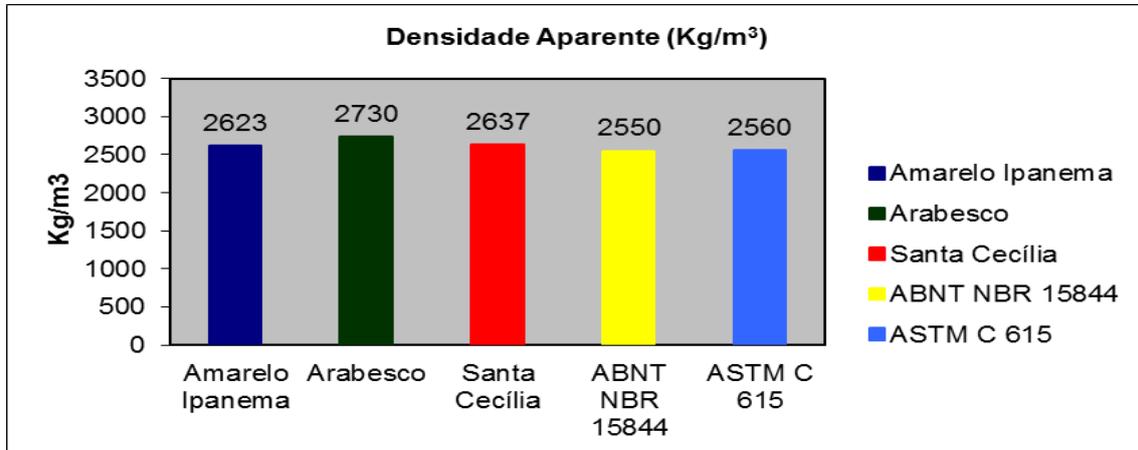
Comparando os granitos cinzas estudados observados no gráfico 9, todos apresentam resultados de densidade aparente superiores às exigências da norma ASTM C-615 ( $\geq 2560 \text{ Kg/m}^3$ ), referente a rochas silicáticas, e a Norma da ABNT NBR 15844 ( $>2550 \text{ Kg/m}^3$ ).

**Gráfico 3 - Comparativo dos índices de densidade dos granitos cinza obtidos nos ensaios e normas ABNT 15844 e ASTM C615.**



Comparando os granitos amarelos estudados observados no gráfico 10, estes litotipos apresentam resultados de densidade aparente superiores às exigências da norma ASTM C-615 ( $\geq 2560 \text{ Kg/m}^3$ ), referente a rochas silicáticas, e a Norma da ABNT NBR 15844 ( $>2550 \text{ Kg/m}^3$ ).

**Gráfico 4 - Comparativo dos índices de densidade dos granitos amarelos obtidos nos ensaios e normas ABNT 15844 e ASTM C615.**



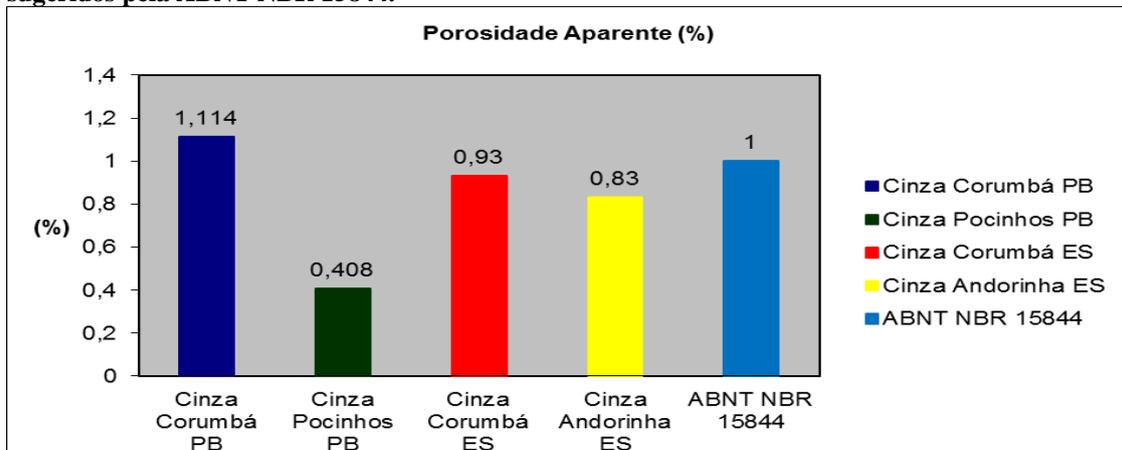
Fonte: Dados do Amarelo Ipanema (SOUZA, 2008)

Pelos resultados dos ensaios dos litotipos estudados conclui-se que valores de densidade aparente apresentam adequados para utilização como revestimentos exteriores.

No gráfico 11 e 12, os comparativos se restringiram aos valores obtidos nos ensaios realizados e nos valores da norma da ABNT NBR 15844, tendo em vista que a ASTM C615 não apresenta especificação para esta propriedade.

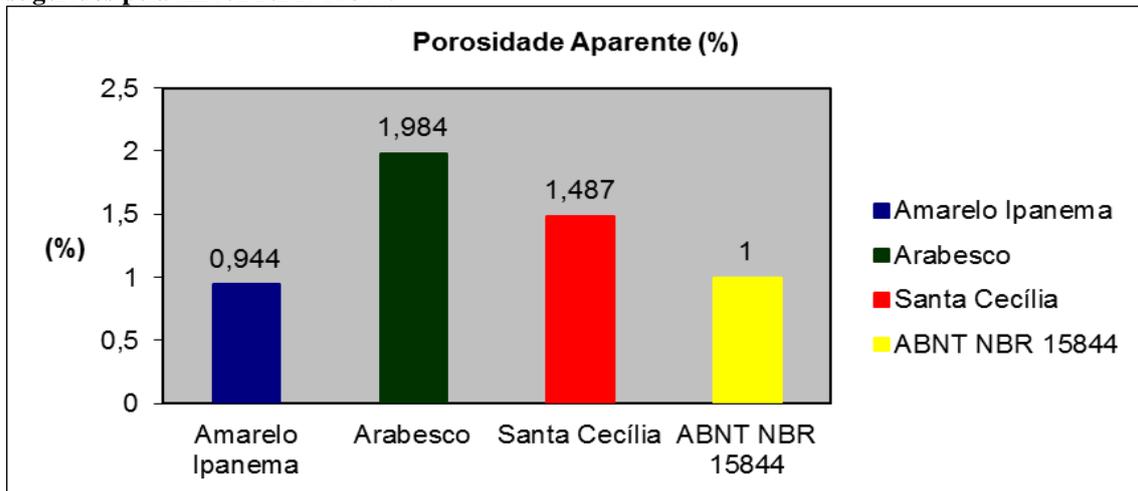
Os índices de porosidade dos granitos cinza obtidos através de amostras ensaiadas, apenas o Cinza Corumbá PB apresentou valor acima do sugerido pela norma da ABNT NBR 15844.

**Gráfico 5 – Comparativo dos índices de porosidade dos granitos cinzas obtidos nos ensaios e valores sugeridos pela ABNT NBR 15844.**



No gráfico 12, o índice de porosidade dos granitos amarelos obtidos através de amostras ensaiadas obteve-se duas amostras com valores acima do sugerido pela norma da ABNT NBR 15844 de 1,0, foram Arabesco e Santa Cecília.

**Gráfico 6 – Comparativo dos índices de porosidade dos granitos amarelos obtidos nos ensaios e valores sugeridos pela ABNT NBR 15844.**



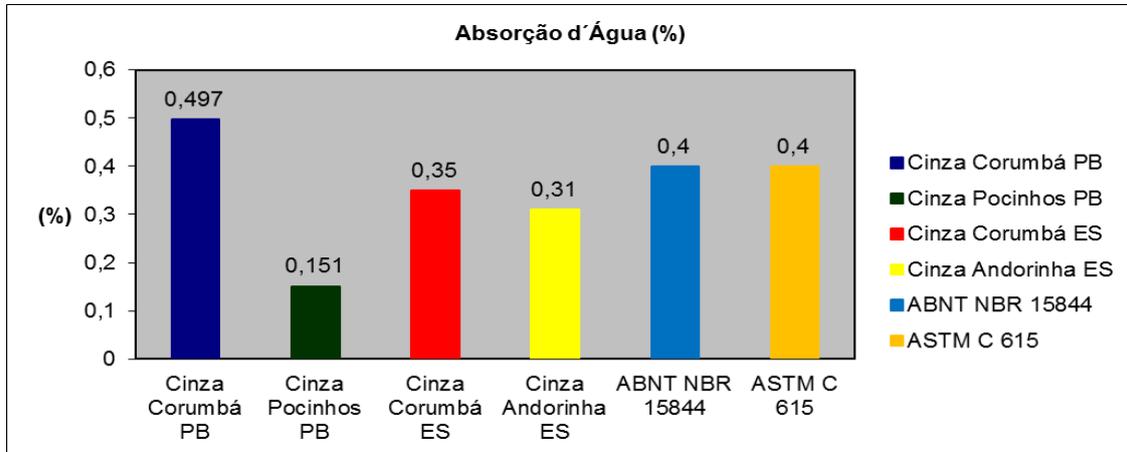
Fonte: Dados do Amarelo Ipanema (SOUZA, 2008)

As amostras dos granitos Cinza Pocinhos PE, Cinza Corumbá ES, Cinza Andorinha ES e Amarelo Ipanema indicam baixas porosidades, pois contêm menos vazios em sua massa. Estes litotipos podem ser usado sem restrição, em áreas secas ou molhadas, observando, entretanto sua composição mineralógica e textura.

Quanto à absorção de água, é possível observar no Gráfico 13 e 14, tanto a ABNT NBR 15844 quanto ASTM C615 apresentam os mesmos valores ( $\leq 4\%$ ) para o índice desta propriedade.

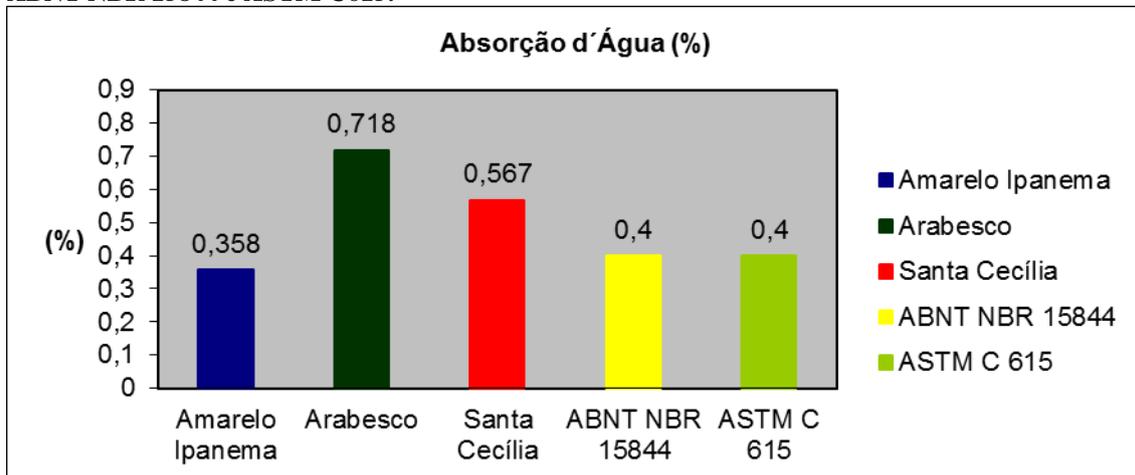
No gráfico 13 um comparativo dos índices de absorção de água dos granitos cinzas, a partir dos resultados obtidos o Cinza Corumbá PB apresentou valor acima do sugerido pelas normas da ABNT NBR 15844 e ASTM C615.

**Gráfico 7– Comparativo dos índices de absorção d'água dos granitos cinza obtidos nos ensaios, na ABNT NBR 15844 e ASTM C615.**



No gráfico 14, um comparativo dos índices de absorção de água dos granitos amarelos, obteve-se duas amostras com valores acima do sugerido pelas normas da ABNT NBR 15844 e ASTM C615, foram Arabesco e Santa Cecília, as demais amostras ensaiadas estão dentro dos parâmetros de especificação sugerida.

**Gráfico 8 – Comparativo dos índices de absorção d'água dos granitos amarelos obtidos nos ensaios, na ABNT NBR 15844 e ASTM C615.**



Fonte: Dados do Amarelo Ipanema (SOUZA, 2008)

Os resultados dos ensaios dos granitos Arabesco e Santa Cecília apresentaram índices de porosidade e absorção d'água elevadas que indicam a necessidade de impermeabilização do material para aplicações em ambientes úmidos. Com porosidade elevada, que pode indicar a existência de poros intercomunicantes, maior será a absorção d'água da rocha e provavelmente menor a sua resistência mecânica.

Os índices físicos de porosidade e absorção d'água dos granitos Cinza Pocinhos, Cinza Corumbá ES, Cinza Andorinhas e Amarelo Ipanema atendem satisfatoriamente aos requisitos da ABNT NBR 15844, o que significa que os materiais objeto de estudo pode ser usado em lugares úmidos como balcões e pias assim como também em áreas externas. O que nos permite concluir que esses materiais apresentam boa durabilidade e considerável resistência mecânica ao longo do tempo.

Entretanto, segundo Kalix (2011), devem-se observar variações mineralógicas, a existência ou não de microfissuras, relações de contato entre os grãos minerais, granulação, aspetos estruturais, entre outras, pois, influenciam diretamente sobre a porosidade, densidade e absorção d'água.

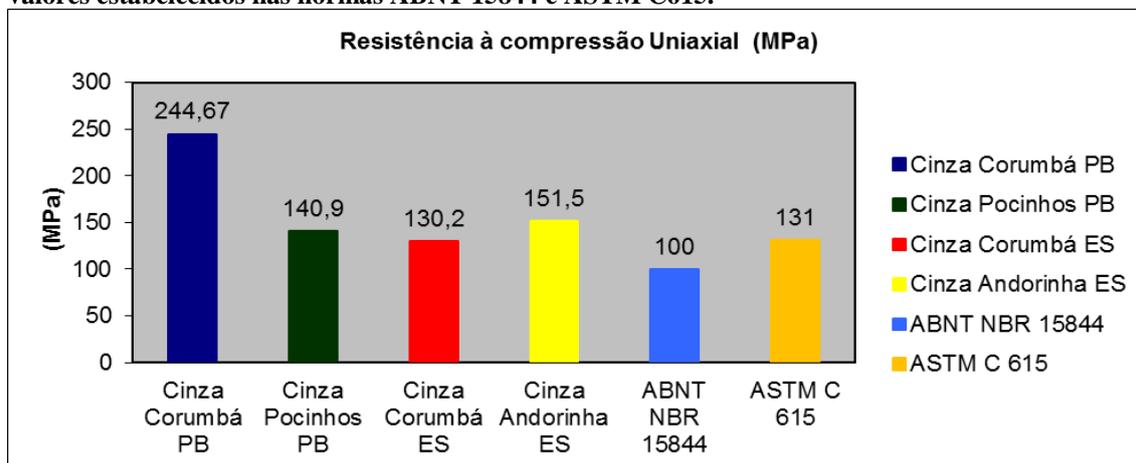
### 4.3 Resistencia a Compressão Uniaxial

Na tabela 3 são apresentados os valores correspondentes a resistência à compressão uniaxial. A ABNT NBR 15844 propõem o valor mínimo para essa propriedade de 100 MPa, enquanto para a ASTM C-615 esse limite é de 131 MPa.

É importante ressaltar que essa característica representa um valioso índice de qualidade dos materiais rochosos, estando diretamente relacionada a outras propriedades físicas, ao mesmo tempo em que depende da estrutura, textura, estado microfissural e grau de alteração das rochas (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).

Os resultados obtidos nos ensaios estão expostos no Gráfico 15. Observa-se que as amostras ensaiadas apresentam moderada a alta resistência comparadas aos limites estabelecidos pelas normas da ABNT NBR 15844:2010 e ASTM C 615 (1992).

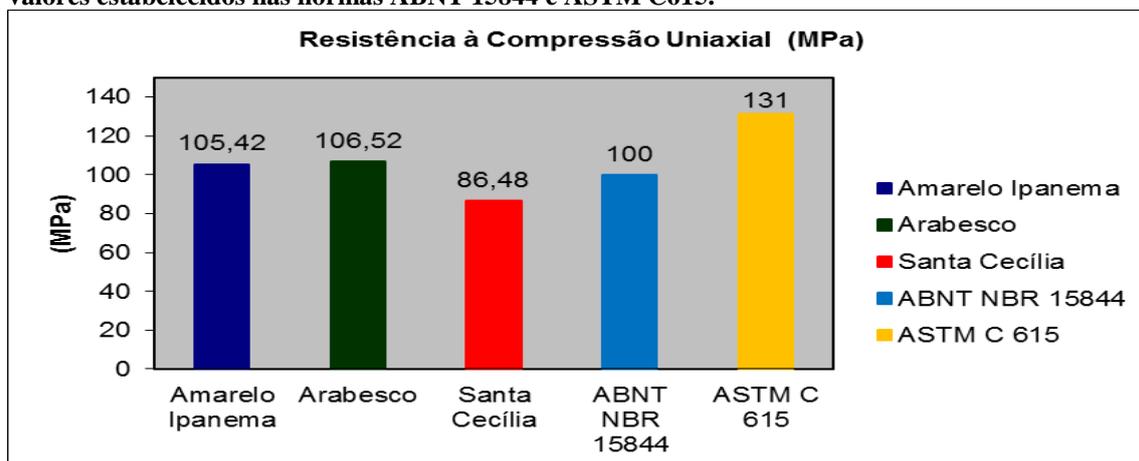
**Gráfico 9– Relação entre os resultados da resistência à compressão uniaxial dos granitos cinzas, e os valores estabelecidos nas normas ABNT 15844 e ASTM C615.**



Quanto aos granitos Cinza Pocinhos PE, Cinza Corumbá ES, Cinza Andorinha ES, eles absorvem pouca água, conseqüentemente é pouco poroso, apresentam considerável resistência à compressão uniaxial. Estes litotipos podem ser aplicados sem restrição, em áreas secas ou molhadas, em ambientes internos e externos, como pisos, paredes, fachadas, mobílias, observando, entretanto sua composição mineralógica e textura.

Os resultados obtidos nos ensaios estão expostos no Gráfico 16. Observa-se que nos granitos amarelos apresentam baixa a moderada resistência comparadas aos limites estabelecidos pelas normas da ABNT NBR 15844:2010 e quanto a ASTM C 615 (1992) as amostras ensaiadas ficaram abaixo dos limites.

**Gráfico 10– Relação entre os resultados da resistência à compressão uniaxial dos granitos amarelos, e os valores estabelecidos nas normas ABNT 15844 e ASTM C615.**



Fonte: Dados do Amarelo Ipanema (SOUZA, 2008)

O granito Amarelo Ipanema está dentro do limite de absorção d'água, porosidade moderada, boa resistência à compressão uniaxial segundo limite estabelecido pela norma da ABNT NBR 15844:2010, mas não atende a norma ASTM C 615 (1992). O granito Amarelo Arabesco indica boa resistência à compressão uniaxial segundo limite estabelecido pela norma da ABNT NBR 15844:2010, mas não atende a norma ASTM C 615 (1992). Pode ser aplicada em ambientes internos, onde não haja umidade excessiva, a fim de evitar alterações mineralógicas.

O granito amarelo Santa Cecília apresenta uma porcentagem moderada de absorção d'água, conseqüentemente sua porosidade é mais elevada, baixa resistência à compressão uniaxial. Indicada como revestimento em ambientes internos. Evitar áreas úmidas como banheiros, cozinhas e áreas externas.

O granito Cinza Corumbá PB apresenta valores de absorção d'água e porosidade acima do recomendado, é uma rocha resistente à compressão uniaxial. Pode ser aplicada em ambientes internos, em pisos, paredes, nas áreas sociais. Não se recomenda aplicá-la em cozinhas e em ambientes externos, devido à mesma apresentar um índice moderado em absorção d'água, para isso, deve-se levar em consideração o clima de região.

#### 4.4 Congelamento e Degelo associado à compressão uniaxial

Após o ensaio de gelo e degelo, para os valores de compressão uniaxial pode-se verificar que, de acordo com a ASTM C615, apenas 50% das amostras no estado seco e 25% no estado saturado estão acima do valor limite proposto. Adotando-se valores estabelecidos nas normas ABNT 15844, o resultado é mais satisfatório, com 75% no estado seco e 75% no estado saturado das amostras satisfazendo a condição proposta pela norma.

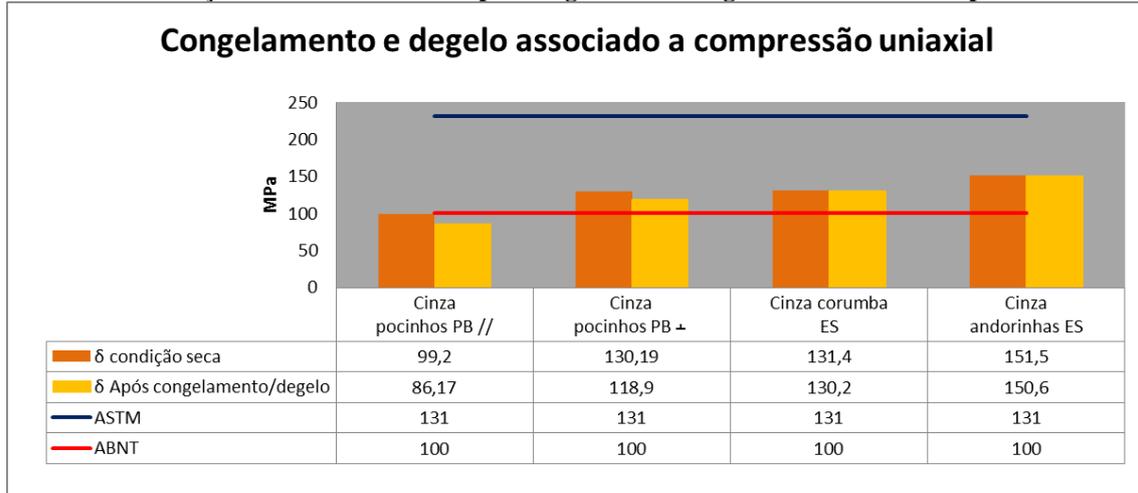
**Tabela 12- Resultados da compressão uniaxial antes e após o ensaio de congelamento e degelo e seus respectivos valores de coeficiente de enfraquecimento ( $K$ ).**

Nome Comercial	$\delta$ condição seca	$\delta$ Após congelamento/degelo	Coefficiente de enfraquecimento ( $K$ )	Varição da Resistência (%)
Cinza pocinhos PB //	99,2	86,17	0,87	-13,14
Cinza pocinhos PB $\perp$	130,19	118,9	0,91	-8,67
Cinza Corumbá ES	131,4	130,2	0,99	-0,91
Cinza andorinhas ES	151,5	150,6	0,99	-0,59

Legenda: (//) - Amostra paralela à estruturação da rocha. ( $\perp$ ) - Amostra perpendicular à estruturação da rocha.

Observa-se que os resultados apresentados na Tabela 6 ajustam-se melhor aos limites propostos pela ABNT 15844. Era um resultado esperado, pois o seu estudo foi realizado com rochas silicáticas brasileiras, de clima tropical, ao contrário dos valores fixados pela ASTM, que tem como base as rochas de clima subtropical.

**Gráfico 11 - Relação das médias antes e após congelamento/ degelo associados à compressão uniaxial.**



O ensaio de congelamento e degelo do granito Cinza Pocinhos provocou uma perda de resistência média de 13% na condição paralela e 8,67% na condição perpendicular, Gráfico 17. Pode ser em relação ao micro fissuramento moderado e alterabilidade.

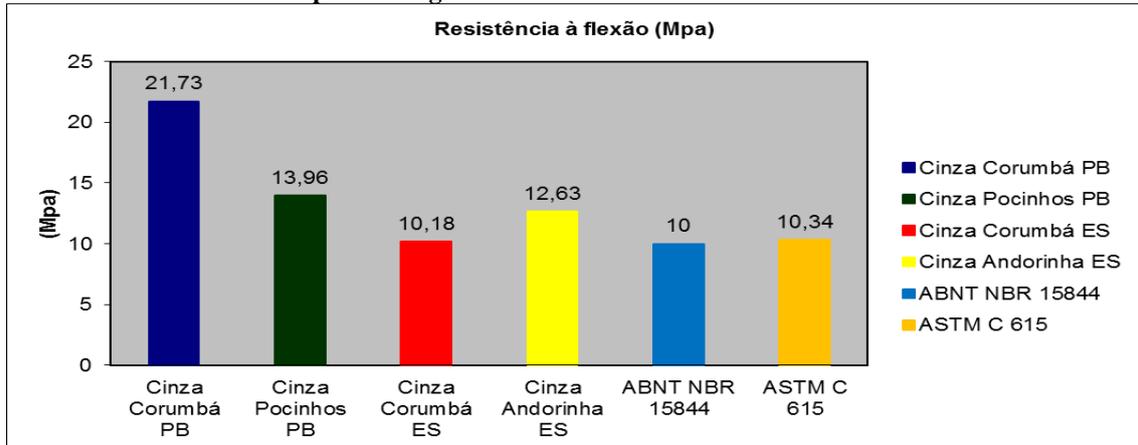
Adicionalmente detectou-se que o número de ciclos determinado pela norma é reduzido, pois como Cinza Corumbá ES e Cinza Andorinha ES têm uma baixa porosidade, os 25 ciclos foram insuficientes para causar perdas significativas na resistência à compressão, provável relação com baixo micro fissuramento e alterabilidade minerais.

#### 4.5 Resistência de Flexão (Módulo Ruptura)

É importante observar nos corpos de prova sinais de fraturas e microfraturas, elementos que podem comprometer os resultados do ensaio do material.

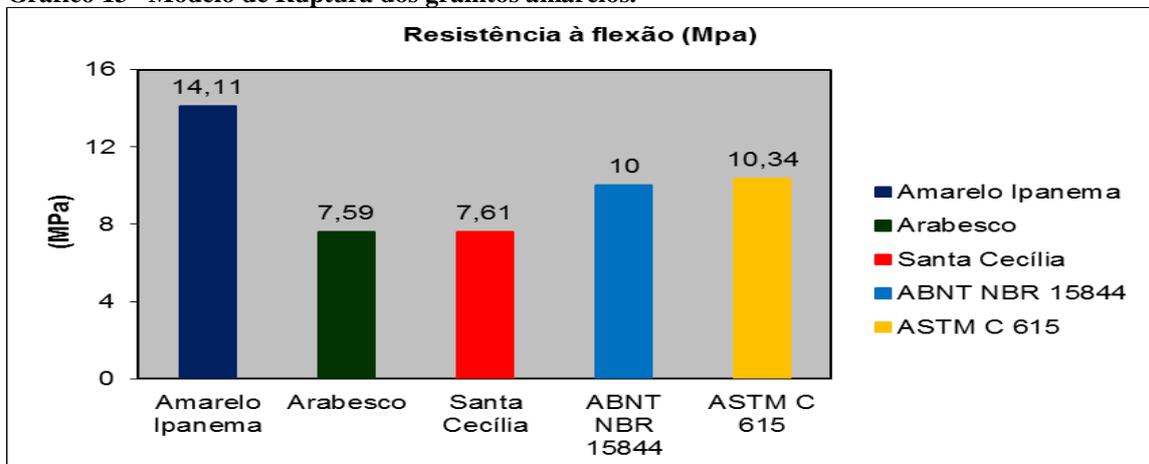
Os resultados obtidos com granitos cinzas ficaram entre  $10,18 \text{ MPa} \leq \delta \leq 21,73 \text{ MPa}$ , que comparados com o valor especificado pela NBR 15844:2010 ( $\delta \geq 10,0 \text{ MPa}$ ) e ASTM C 615 (1992) ( $\delta \geq 10,34 \text{ MPa}$ ), são bastante satisfatórios.

Gráfico 12– Módulo de Ruptura dos granitos cinzas.



No gráfico 18, os resultados obtidos com granitos amarelos ficaram entre 7,61 MPa  $\leq \delta \leq$  14,11 MPa, que comparados com o valor especificado pela NBR 15844:2010 ( $\delta > 10,0$  MPa) e ASTM C 615 (1992) ( $\delta \geq 10,34$  MPa), apenas o amarelo Ipanema mostrou ser satisfatório.

Gráfico 13– Modelo de Ruptura dos granitos amarelos.



Fonte: Dados do Amarelo Ipanema (SOUZA, 2008)

Quanto aos granitos Cinza Pocinhos PE, Cinza Corumbá ES, Cinza Andorinha ES, eles absorvem pouca água, conseqüentemente baixa porosidade, apresentam média resistência à flexão. É indicado como revestimento de ambientes internos e externos sem restrição, em áreas secas ou molhadas. O Cinza Corumbá PB apresenta alta resistência à flexão, resistente às mudanças de temperatura. Pode ser aplicada em ambientes internos, em pisos, paredes, nas áreas sociais.

O granito Amarelo Ipanema apresenta moderada resistência à flexão segundo limite estabelecido pelas normas da ABNT NBR 15844:2010 e ASTM C 615 (1992). Pode ser aplicada em ambientes internos, onde não haja umidade excessiva, a fim de evitar alterações mineralógicas.

Os granitos Arabesco e Santa Cecília apresentam baixa resistência à flexão. Indicada como revestimento em ambientes internos. Evitar áreas úmidas como banheiros, cozinhas e áreas externas.

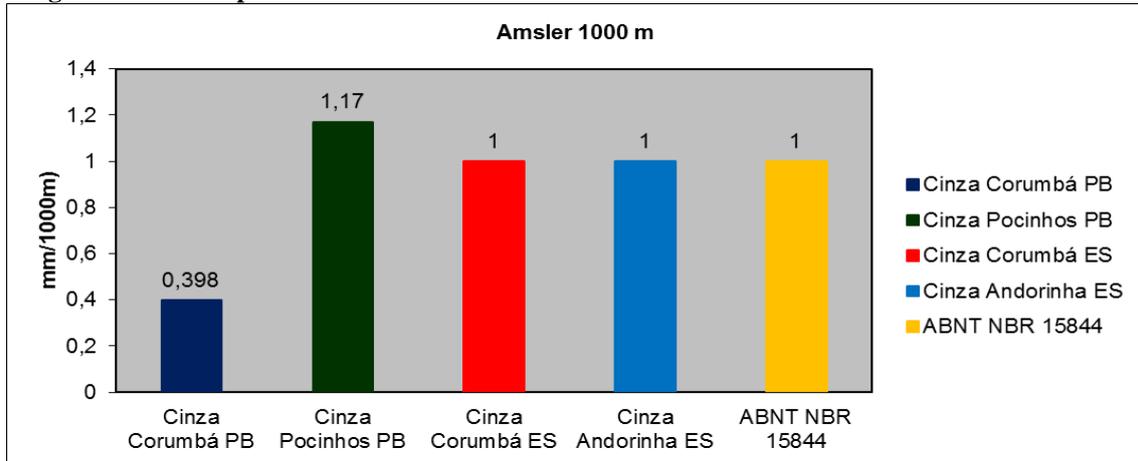
As rochas silicáticas analisadas neste estudo podem ser consideradas, como sendo de boa qualidade, sob o ponto de vista de sua aplicação para revestimentos. A resistência à flexão, assim como a compressão, também é muito dependente da estrutura e textura das rochas. Conforme as solicitações ocorram no plano paralelo ou perpendicular a essas estruturas, conduzem a resistências diferentes, conforme as solicitações ocorram no plano paralelo ou perpendicular a essas estruturas.

#### **4.6 Desgaste Amsler**

Os ensaios de desgaste Amsler executados nas amostras tiveram seus resultados expressos nos gráficos 19 e 20. Estes valores foram comparados apenas com as especificações da norma ABNT 14844:2010, 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.

Através do gráfico 19, é possível observar que os resultados para o ensaio dos granitos cinzas de desgaste abrasivo ficaram bem próximos do valor especificado pela norma da ABNT NBR 12.042:2012 ( $< 1,0$  mm/1000 m). Apenas o cinza corumbá PB mostrou bastante abaixo ao valor especificado pela norma ABNT NBR 12.042:2012.

**Gráfico 14– Relação entre os valores obtidos dos granitos cinzas em ensaios e os sugeridos como limites do Desgaste de Amsler pela norma ABNT NBR 15844.**



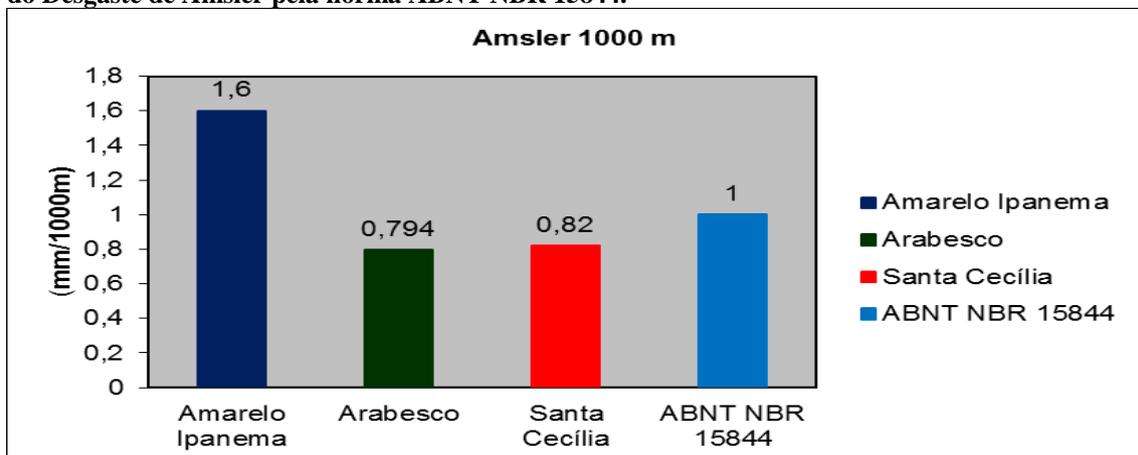
O cinza Corumbá PB apresenta uma elevada resistência o desgaste abrasivo apropriada para níveis de pisoteio alto, sem restrições em ambientes de pisoteio intenso.

O desgaste abrasivo obtido no granito Cinza Pocinhos PB foi um pouco superior ao valor especificado na norma NBR 15844, sem restrições em ambientes de pisoteio médio.

O granito Cinza Corumbá ES e Andorinha ES apresentam uma resistência ao desgaste abrasivo moderada, apropriada para níveis de pisoteio moderado a mediano, com pequenas restrições em ambientes de alto pisoteio.

Através do gráfico 20, é possível observar que os resultados para o ensaio dos granitos amarelos apenas o Amarelo Ipanema ficou acima do valor especificado pela norma da ABNT NBR 12.042:2012 ( $< 1,0$  mm/1000 m). Os ensaios do Arabesco e Santa Cecília mostraram abaixo ao valor especificado pela norma ABNT NBR 12.042:2012.

**Gráfico 15– Relação entre os valores obtidos dos granitos amarelos em ensaios e os sugeridos como limites do Desgaste de Amsler pela norma ABNT NBR 15844.**



Fonte: Dados do Amarelo Ipanema (SOUZA, 2008)

Pelos resultados dos ensaios realizados do granito Amarelo Ipanema conclui-se que a rocha apresenta uma resistência ao desgaste abrasivo alta, foi um pouco superior ao valor especificado na norma NBR 15844, podendo ser utilizada sem restrições em ambientes de pisoteio moderado a mediano.

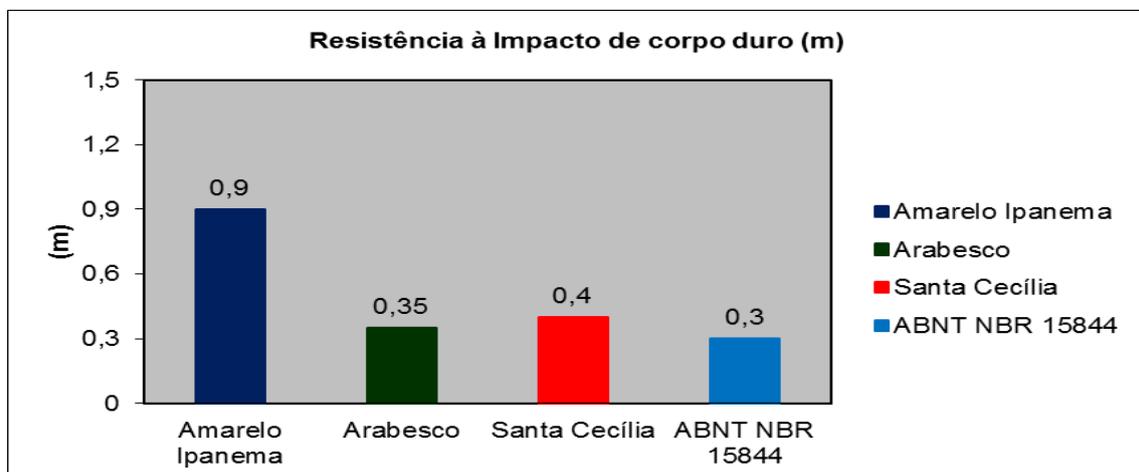
Pelos resultados dos ensaios do Granito Amarelo Arabesco e Granito Amarelo Santa Cecília apresenta uma resistência ao desgaste abrasivo moderada, apropriada para níveis de pisoteio moderado a mediano, com pequenas restrições em ambientes de alto pisoteio.

#### 4.7 Resistência ao impacto de corpo duro

Este ensaio avalia a energia de ruptura por impacto na rocha. Ross et.al. (1989) sugerem que os valores de resistência ao choque para placas colocadas em fachadas são função da situação que ocupam nas fachadas exteriores de edifícios. Para elementos de fachada até a altura de 1,5 m, os valores de energia de ruptura não devem superar 6 ou 10 joules, a depender se as placas são mais protegidas ou não. Para alturas além desta, também a depender do tipo de edificação, os valores de energia de ruptura variam de 3 a 6 joules.

Os corpos de prova de rocha foram submetidos a impactos com esferas de 1 Kg a alturas variáveis a partir de 20 cm com incrementos de 5 cm; as alturas em que apresentaram imperfeições (fraturas e ou rupturas após impacto) foram observadas e registradas sendo as mesmas em estado repetitivo estatisticamente. Através do gráfico 21, observamos que os resultados para o ensaio dos granitos amarelos ficou moderada a alta do valor especificado comparados aos limites estabelecidos pelas normas da ABNT NBR 15844:2010.

**Gráfico 16- Comparativo dos valores obtidos dos ensaios dos granitos amarelos com a norma da ABNT NBR 15844.**



Fonte: Dados do Amarelo Ipanema (SOUZA,2008).

Pelos resultados dos ensaios realizados do granito Amarelo Ipanema de resistência a impacto de corpo duro indicam uma resistência mediana a alta, com uma coesão satisfatória e integridade da matriz rochosa, podendo ser utilizada sem restrições como rocha ornamental.

Pelos resultados dos ensaios do Granito Amarelo Arabesco conclui-se uma rocha com capacidade de absorção de impacto limitada em função da foliação apresentada.

Com relação aos ensaios de resistência ao impacto de corpo, a resistência do Granito Amarelo Santa Cecília indicou ser baixa.

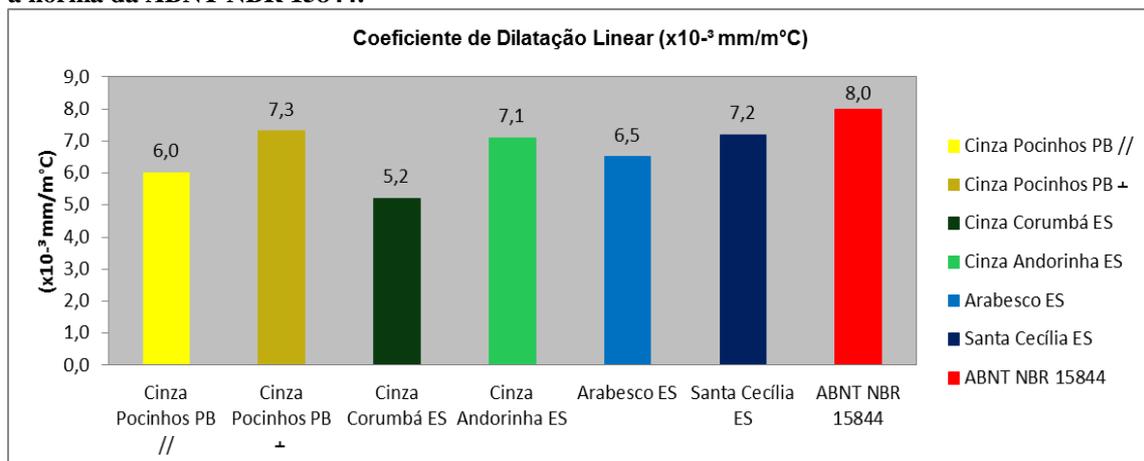
#### 4.8 Dilatação térmica

Os materiais rochosos expostos às condições da superfície da Terra estão sujeitos às oscilações de temperatura ocasionadas durante o dia e à noite, bem como ao longo das estações do ano, e dessa forma, estão submetidos à expansão e contração térmica (LIMA, 2002).

A fragmentação do material rochoso, por sua vez, facilita a alteração química do material quando exposto às intempéries (TEIXEIRA, 2009).

A compressão lateral dos pisos e fachadas devido à dilatação térmica pode promover o imbricamento das chapas assentadas. Assim, a determinação da dilatação térmica linear é de extrema importância para a quantificação das juntas de dilatação relacionadas ao assentamento das rochas como revestimento. (MEYER, 2003)

**Gráfico 17 - Comparativo dos valores obtidos dos ensaios de dilatação térmica dos litotipos estudados com a norma da ABNT NBR 15844.**



Fonte: Valores das amostras Cinza Andorinha ES, Cinza Corumbá ES, Arabesco e Santa Cecília do Catalogo Rochas Ornamentais do Brasil: Abirochas e Cetem, 2002.

De acordo com a norma da ABNT 15844, o valor máximo de coeficiente de dilatação térmica estabelecido para granitos ornamentais é de  $8,0 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m}^\circ\text{C}$ . Sendo assim, com base nos

valores apresentados no Gráfico 22, percebe-se que litotipos estudados apresentaram valores de dilatação abaixo do valor máximo ( $8,0 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m}^\circ\text{C}$ ), considerados assim, como de elevado padrão de qualidade, podem ser utilizados tanto na situação de pisos em ambientes internos e externos, bem como em paredes e fachadas convencionais e ventiladas.

## 5 CONCLUSÕES

Todos os litotipos estudados apresentaram valores de densidade aparente satisfatórios com relação às normas NBR 15844 e ASTM C 1615.

Com relação à porosidade e à absorção d'água aparentes para os Granitos Cinza, apenas o Cinza Corumbá PB (1,114% - 0,497%) apresentou valores acima dos sugeridos pelas normas da ABNT NBR 15844:2010 e ASTM C 615 (1992). Também os granitos amarelos Arabesco e Santa Cecília tiveram resultados elevados nesses índices (1,984% - 0,718% e 1,487% - 0,567%). Recomenda-se, pois a impermeabilização dos outros materiais para aplicações em ambientes úmidos.

Quanto à resistência à compressão uniaxial, o granito Cinza Corumbá PB apresenta resultado bastante elevado tendo como referência o limite estabelecido pelas normas da ABNT NBR 15844:2010 e ASTM C 615 (1992). Este valor é explicado pelo elevado teor em quartzo presente nesta rocha. O granito amarelo Santa Cecília (ES) apresenta um desempenho abaixo do recomendado pelas duas normas. Estes baixos valores são traduzidos pelo grau de alteração deste material que é indicado pela coloração amarelada, processos de oxidação, hidroxidação e hidratação.

O ensaio de congelamento e degelo do granito Cinza Pocinhos PB provocou uma perda de resistência média de 13% na condição normal. Na condição perpendicular, apresentou perda de resistência 8,67%. O Cinza Corumbá e Cinza Andorinha, ambos originários do Espírito Santo tiveram perda de resistência muito baixa. Podem ser usados em ambientes onde há congelamento da água.

Quanto à resistência à flexão, o Cinza Corumbá PB apresenta resultado elevado; o valor da resistência à flexão (tração) é cerca de 10% do valor de resistência à compressão, o que explica o elevado valor para este litotipo. Pode ser usado como revestimento com inserts metálicos pois suporta bem a ação dos ventos. No entanto, os granitos Arabesco e Santa Cecília apresentam baixa resistência, segundo limite estabelecido pelas normas da ABNT NBR 15844:2010 e ASTM C 615 (1992), o que contraindica a aplicação através dos inserts metálicos.

O cinza Corumbá PB apresenta uma elevada resistência ao desgaste abrasivo, o que está relacionado ao alto teor de quartzo, podendo pois ser usado em ambientes de grande pisoteio. Já o granito Cinza Pocinhos PB e o Amarelo Ipanema (PE) tiveram o valor acima do

especificado na norma NBR 15844. Assim estes materiais devem ser usados com restrição quando se trata de revestimentos de pisos.

O resultado do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro do granito Amarelo Ipanema (PE) indica uma resistência mediana a alta, podendo ser utilizada como rocha ornamental em revestimentos de paredes e pisos onde há possibilidade de choques como em aeroportos, supermercados e centros comerciais.

Os valores de dilatação térmica de todos os litotipos submetidos a esse ensaio apresentam abaixo do valor máximo ( $8,0 \cdot 10^{-3}$  mm/m °C), considerados assim como de elevado padrão de qualidade; podem ser utilizados tanto na situação de pisos em ambientes internos e externos, bem como em paredes e fachadas convencionais e ventiladas.

## 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 C (normativo) Coeficiente de dilatação térmica linear.** 2010.

\_\_\_\_\_. **Rochas para revestimento. Métodos de Ensaio. ANEXO D (normativo) Resistência ao congelamento e degelo.** 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.

ARAÚJO, A. M. M. **Caracterização Tecnológica do granito Dália para fins ornamentais.** Dissertação de Mestrado. UFPE: Recife, 2015.

ASTM C 615. **Standard Specification for Granite Dimension Stone.**

CASTRO, N.F.; VIDAL, F. W. H. **Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais (3.:2007: Natal).** In: VI Simpósio do Nordeste de Rochas Ornamentais, Anais, Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 2008. 380 p.

CHIODI, F. C. **A diversidade das Rochas Ornamentais: Critérios de Especificação e Aplicação em Revestimentos.** Projeto bula. São Paulo: ABIROCHAS. 2009. 118p.

CICLO DAS ROCHAS. Disponível em: <profwladimir.blogspot.com>. Acesso em 16/04/2015.

CONGLOMERADO. Disponível em: <domingos.home.sapo.pt>. Acesso em 16/04/2015.

COSTA, A.G. et al. **Rochas ornamentais e de revestimento: proposta de classificação com base na caracterização tecnológica.** In: III Simpósio sobre Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais, Recife, PE. 2002.

EHLERS, E.G.; BLATT, H. **Petrology**: Igneous, Sedimentary, and Metamorphic. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1982. 732p.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais e de Revestimento**: Estudo por meio de Ensaio e Análises e das Patologias associadas ao uso. São Paulo: IPT. 2000.

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

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**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo. 2003.

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.

FRAZÃO E. B.; PARAGUASSU A. B. **Materiais rochosos para a construção**. São Paulo, Ass. Brasil. Geol. Engenharia, In: Geologia de Engenharia, A.M.S. Oliveira & S.N.A. Brito (Org.). 1998. 331-342 p.

GNAISSE. Disponível em: <[www.rc.unesp.br](http://www.rc.unesp.br)>. Acesso em 16/04/2015.

IAMAGUTI A. P. S. **Manual de Rochas Ornamentais para Arquitetos**. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Rio Claro – SP. 2001.

KALIX, T. M. F. **Estudos de Caracterização Tecnológica com ênfase em Alterabilidade dos tipos comerciais do granito Marrom Imperial**. Dissertação de Mestrado. UFPE - Recife. 2011.

KLEIN, C. & DUTROW, B. **Manual de Ciências dos Minerais** 23. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

LIMA J. J. C. **Estudo da Dilatação Térmica em Rochas usadas revestimentos de edificações**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MEYER, A. P. **A influência da petrografia no comportamento tecnológico de rochas ornamentais do Complexo Socorro (SP) e Maciço Pedra Branca (MG)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Júlio Mesquita Filho, IGCE/UNESP, Rio Claro-SP, 2003.

MOURA, AC, GRADE, J, RAMOS, JMF, MOREIRA, AD & GOMES, L. **Granitos e rochas similares de Portugal**. IGM Editora. 2000. 179 p.

RIBEIRO W.J.M. **Estudo comparativo de alterabilidade acelerada de três fácies comerciais do sienito Marrom Imperial**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mineral. Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

ROCHAS ÍGNEAS PLUTÔNICA E VULCÂNICA. Disponível em: <[www.geografando.com](http://www.geografando.com)>. Acesso em 16/04/2015.

ROSS, K.; BUTLIN, R. N. **Durability tests for building Stones**. BRE. Watford, England. 1989.

SALES, F. A. C. B.; MORAIS. J. O. **Proposta Metodológica de Pesquisa para Rochas Ornamentais**. In: VI Simpósio do Nordeste de Rochas Ornamentais, Anais. (Org.) – Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 2003. 02-12 p.

SANTOS, J. B. & 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.

SGARBI, G. N. C. et al. **Petrografia Macroscópica das Rochas Ígneas, Sedimentares e Metamórficas**. 2. Edição. Belo Horizonte. Editora: UFMG. 2012. 632 p.

SIAL, A. N. & McREATH, I. **Petrologia ígnea**. 1. Edição. v. 1. Bahia. Editora: Bureau. 1984. 181p.

SOUZA, V. C., **Diagnóstico do setor de rochas ornamentais e de revestimento do estado de Pernambuco**, dissertação, UFPE, Recife, 2008. 167p.

TEXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. 2. Edição. São Paulo. Companhia Editora Nacional. 2009. 623 p.

VARGAS T., MOTOKI A., NEVES J. L. P. **Rochas ornamentais do Brasil, seu modo de ocorrência geológica, variedade tipológica, exploração comercial e utilidades como materiais nobres de construção**. Niterói, UFF/Inst. Geoc., Revista de Geociências. 2001. 119-132 p.

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.

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

WINKLER, E.M. **Stone in Architecture**: properties, durability. 3. Edição. Berlin: Springer-Verlag. 1997. 313p.