

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE**

**CAMPUS ARACAJU**

**DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO**

**COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL**

**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MARIA EMILIA PANDOLFO SALVATI**

**GRANITO PARA FACHADA: UMA AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS DO  
MATERIAL COMERCIALIZADO EM ARACAJU**

**MONOGRAFIA**

**ARACAJU**

**2017**

**MARIA EMILIA PANDOLFO SALVATI**

**GRANITO PARA FACHADA: UMA AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS DO  
MATERIAL COMERCIALIZADO EM ARACAJU**

Monografia apresentada como requisito parcial  
à obtenção do título de Bacharel, da  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do  
Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

**Orientador:** Prof. Msc. Adriana Virginia  
Santana Melo

**ARACAJU**

**2017**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE**

**CAMPUS ARACAJU**

**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título da Monografia Nº 38**

**GRANITO PARA FACHADA: UMA AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS DO  
MATERIAL COMERCIALIZADO EM ARACAJU**

**MARIA EMILIA PANDOLFO SALVATI**

Esta monografia foi apresentada às 08:30 (oito horas e trinta minutos) do dia vinte e quatro de janeiro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Msc. Euler Wagner Freitas

(IFS – Campus Aracaju)

Prof(a). Msc. Andrea Santana Teixeira  
Lins

(IFS – Campus Aracaju)

Prof(a). Msc. Adriana Virginia Santana  
Melo

(IFS – Campus Aracaju)  
**Orientador**

Prof(a). Msc. Rodolfo Santos da  
Conceição

(IFS – Campus Aracaju)  
**Coordenador da COEC**

Dedico este trabalho à minha mãe (*in memoriam*), pelo amor ainda que distante, pelo apoio e pela proteção.

Salvati, Maria Emilia Pandolfo.  
S182g Granito para fachada: uma avaliação dos requisitos do material comercializado em Aracaju /Maria Emilia Pandolfo Salvati. – Aracaju, 2017.  
69 f.

Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe - IFS. Coordenação do Curso de Engenharia Civil. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ma. Adriana Virginia Santana Melo.

1. Granito 2. Massa específica 3. Absorção 4 . Porosidade 5. Flexão I. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS II. Melo, Adriana Virginia Santana. III. Título.

CDU 622.35

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto Federal de Sergipe.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, proteção e pela força nas horas difíceis, sem ele eu não estaria aqui hoje concluindo mais essa etapa da vida.

Agradeço a minha família pela preocupação, apoio e acima de tudo a confiança depositada em todos os momentos. Sem eles não teria razão de chegar até aqui. Agradeço especialmente a meu pai e irmão que nunca mediram esforços para me ajudar. E a minha mãe por toda proteção, seja onde estiver sei que esteve comigo ao longo de todo o trajeto.

Aos amigos que entenderam minha ausência e nunca deixaram de me apoiar. Especialmente a Maryana e Caroline pela preocupação, apoio e ajuda em tudo.

Agradeço a professora Adriana não só pela orientação impecável, como pelo carinho e amizade depositados nesse período. Obrigada pela confiança e por acreditar nesse trabalho.

Aos professores do Instituto Federal de Sergipe obrigada pelo ensinamento durante todos esses anos.

Aos amigos que o IFS me deu, essa batalha não teria sentido sem vocês. Tiago, obrigada pela ajuda no final. E Matheus Amorim por ser sempre minha dupla, obrigada pela amizade e apoio.

Por fim obrigada a todos que de alguma forma contribuíram para esse trabalho e para a minha formação.

A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ganha com isso, mas o que ele se torna com isso (John Ruskin)

## RESUMO

SALVATI, Maria Emilia. **Granito Para Fachada:** Uma Avaliação Dos Requisitos Do Material Comercializado Em Aracaju. 69 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017

O setor da pedra natural vem crescendo em todo o mundo, e com isso surge a necessidade de análise das propriedades do produto para uso em determinados locais. No caso de uso em fachadas o granito possui características melhoradas em relação ao mármore, por isso ele é mais indicado. Então o presente trabalho avalia o granito comercializado em Aracaju, para uso em fachadas. A metodologia utilizada foi uma pesquisa bibliográfica a respeito dos ensaios para assegurar os requisitos técnicos da pedra. Além disso, foi feita uma verificação dos índices físicos e resistência à flexão em três pontos do granito Verde Ubatuba vendido em Aracaju. A análise foi feita com lotes de três marmorarias diferentes da cidade. A maior parte das amostras esteve em desconformidade em relação a norma NBR 15844:2015. Além disso, percebeu-se que ainda existe uma falta de preocupação dos compradores de Aracaju com a qualidade do produto requerido.

**Palavras-chave:** Massa Específica. Absorção. Porosidade. Flexão. Granito.

## ABSTRACT

SALVATI, Maria Emilia. **Granito Para Fachada:** Uma Avaliação Dos Requisitos Do Material Comercializado Em Aracaju. 69 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017

The natural stone sector is growing all over the world, and with this comes the need to analyze the properties of the product for use in certain locations. In case of use in facades the granite has improved characteristics in relation to marble, so it is more indicated. So the present work evaluates the granite commercialized in Aracaju, for use in facades. The methodology used was a bibliographical research about tests to ensure technical requirements of the stone. In addition, physical indexes and flexural strength at three points were verified on the Verde Ubatuba granite sold in Aracaju. The analysis was done with samples of three different marble shop of the city. Most of them were in non-conformity with the standard NBR 15844:2015. Besides that was noticed that still exists a lack of concern of buyers in Aracaju with the quality of the required product.

**Keywords:** Especific Mass. Absorption. Porosity. Flexion. Granite.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais tipos de acabamento em granito, mármore e calcário .....	25
Figura 2 - Aplicação de pedras em fachadas utilizando argamassa .....	27
Figura 3 - Fachada ventilada.....	29
Figura 4 - Componentes da fixação da fachada ventilada .....	30
Figura 5 – Granito com manchas de oxidação .....	37
Figura 6 –Eflorescência em revestimento de fachada com granito .....	37
Figura 7 - Granito Verde Ubatuba para ensaio de flexão em três pontos e índices físicos, respectivamente .....	40
Figura 8 - Corpos de prova com as dez divisões feitas para encontrar a mediana das espessuras .....	41
Figura 9 - Medições utilizando o paquímetro digital .....	42
Figura 10- Corpos de prova para ensaio de índices físicos com 1/3 de água destilada .....	43
Figura 11 - Corpos de prova para ensaio de índices físicos com 2/3 de água destilada.....	43
Figura 12 - Corpos de prova para ensaio de índices físicos submersos em água destilada.....	44
Figura 13 - Balança para pesagem hidrostática com corpo de prova .....	44
Figura 14 - Medição da Msec e Msat .....	45
Figura 15 - Corpos de prova para ensaio de flexão em três pontos com 1/2 de água destilada.....	46
Figura 16 - Corpos de prova para ensaio de flexão em três pontos submersos em água destilada.....	47
Figura 17 - Corpos de prova no dessecador para resfriamento .....	47
Figura 18 - Ensaio flexão em três pontos, prensa com roletes inferiores e superiores .....	48
Figura 19 - Granitos da marmoraria A após rompimento à flexão.....	53
Figura 20 - Granitos da marmoraria B após rompimento à flexão.....	54
Figura 21 - Granitos da marmoraria C após rompimento à flexão.....	55

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aplicações da pedra natural na Construção Civil .....	19
Quadro 2 - Normas técnicas para caracterização das pedras naturais .....	22
Quadro 3 - Propriedades importantes para a escolha e utilização em revestimentos conforme o emprego .....	23
Quadro 4 - Elementos constituintes do sistema de fachadas ventiladas e suas exigências .....	30
Quadro 5 - Principais patologias em pedras naturais .....	36
Quadro 6 - Marmorarias de Aracaju e granitos comercializados em fachadas .....	39
Quadro 7 - Fórmulas de densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água para granitos .....	45
Quadro 8 - Fórmulas para expressão dos resultados .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores limítrofes especificados pela norma ABNT NBR 15844: 2015, ASTM C615 (2008) e valores médios para rochas silicáticas brasileiras por Frazão & Farjallat (1995) .....	24
Tabela 2 - Tolerâncias dimensionais para placas e ladrilhos para revestimentos de paredes e fachadas.....	25
Tabela 3 - Valores médios de propriedades de granitos comercializados no Brasil..	26
Tabela 4 - Índices Físicos marmoraria A.....	49
Tabela 5 - Índices Físicos marmoraria B.....	50
Tabela 6 - Índices Físicos marmoraria C.....	51
Tabela 7 - Média Aritmética das amostras analisadas no ensaio de determinação dos índices físicos.....	52
Tabela 8 - Desvio padrão das amostras analisadas no ensaio de determinação dos índices físicos.....	52
Tabela 9 - Coeficiente de variação das amostras analisadas no ensaio de determinação dos índices físicos .....	53
Tabela 10 - Tensão de flexão dos granitos na condição seca em MPa .....	56
Tabela 11 - Média aritmética, desvio-padrão e coeficiente de variação granitos à flexão condição seca.....	56
Tabela 12 - Tensão de flexão dos granitos na condição saturada em MPa.....	57
Tabela 13 - Média aritmética, desvio-padrão e coeficiente de variação granitos à flexão condição saturada .....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E AGRÔNIMOS

ASTM	American Society For Testing And Materials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
AFNOR	Association Française de Normalisation
b	Largura do corpo de prova
cm	Centímetro
d	Espessura do corpo de prova
DIN	Deutsches Institut Für Normung
Kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por metro cúbico
L	Distância entre os roletes inferiores
m	Metro
máx	Máximo
mín	Mínimo
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
M <sub>sat</sub>	Massa saturada
M <sub>sec</sub>	Massa seca
M <sub>sub</sub>	Massa submersa
m/s	Metro por segundo
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
P	Força de Ruptura
SFV	Sistema de Fachada Ventilada
UNI	Ente Nazionale Italiano di Unificazione
%	Por cento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
3.1	USO DA PEDRA NA ORNAMENTAÇÃO .....	16
3.2	USO DA PEDRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	17
3.2.1	Requisitos Técnicos da Pedra Natural Para Uso na Construção Civil.....	19
3.2.2	Uso Da Pedra Natural Em Fachadas .....	23
3.2.2.1	Exigências para o granito nas fachadas ventiladas .....	32
3.2.2.2	Patologias associadas ao uso da pedra natural em fachadas .....	35
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>59</b>
	<b>APÊNDICE A – CURVAS DE FLEXÃO DA MARMORARIA A.....</b>	<b>67</b>
	<b>APÊNDICE B – CURVAS DE FLEXÃO DA MARMORARIA B.....</b>	<b>68</b>
	<b>APÊNDICE C – CURVAS DE FLEXÃO DA MARMORARIA C.....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As rochas em geral apresentam diversas propriedades que se modificam a depender do local, tanto para o uso ornamental como para a construção civil. Sossai (2006) cita que além do conhecimento estético da pedra, como cor e textura é fundamental conhecer as propriedades da rocha as quais possuem ligação com as duas primeiras. Através do conhecimento das propriedades físico-química e mecânica da rocha, obtém-se a valorização da mesma e determina-se o melhor uso.

Vale salientar que por mais que uma rocha seja “homogênea” quimicamente, ela poderá apresentar propriedades físicas diferentes em determinadas porções do corpo rochoso, dependendo de suas condições de formação (profundidade, pressão, velocidade de resfriamento, entre outras) (SOSSAI, 2006).

De acordo com Spínola *et al* (2004), as rochas ornamentais são utilizadas na indústria da construção civil como revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas e soleiras. A aplicação do granito na construção civil em substituição a outros produtos vem sendo crescente pelo fato de suas características apresentarem vantagens de uso, como: resistência, durabilidade, facilidade de limpeza e estética. Seu dinamismo de mercado está fundamentado na sua elevada capacidade de substituição em relação a outros materiais. Como é resistente ao ataque químico, ao desgaste abrasivo, a utilização do granito em revestimentos externos tem aumentado, tanto em pisos quanto em fachadas (PEITER *et al*, 2001).

Nota-se que para o uso do granito em fachadas é importante se conhecer as características e propriedades da pedra a ser utilizada, requisitos mínimos de resistência mecânica, porosidade, absorção, durabilidade e aparência. Além disso, é necessário analisar a melhor forma de fixação das rochas de modo a atender além dos requisitos de segurança, o conforto do usuário. No caso da fixação, pode ser feito com uso de argamassas ou *inserts* metálicos, neste segundo caso a fachada é conhecida como fachada ventilada. De acordo com Construlink (2006), o adjetivo “ventilada” deriva da câmara-de-ar que permite a ventilação natural e contínua da parede do edifício, através do efeito de chaminé onde o ar entra frio pela parte inferior e sai quente pela parte superior.

O intuito desse trabalho é estudar um dos tipos de pedra natural comercializada, para fixação em fachadas, na cidade de Aracaju. Essa cidade possui

um clima úmido e quente com forte ação dos ventos marítimos, o que pode aumentar a ação das patologias nas pedras. Por isso é fundamental que se conheça as características requeridas do granito que poderá ser utilizado nas fachadas em Aracaju. E a forma de fixação por meio de *inserts* metálicos é uma solução para a cidade devido ao conforto térmico que a fachada ventilada apresenta, podendo minimizar o uso de aparelhos de refrigeração. O granito foi escolhido para abordagem deste trabalho por possuir características melhores para o uso em fachadas comparando-se com o mármore, em se tratando do emprego de pedras naturais mais comumente utilizadas para esse fim.

A fim de caracterizar o granito escolhido, foram realizados ensaios para confirmar as propriedades da pedra e confrontar com os requisitos mínimos exigidos pela norma NBR 15844: 2015. Os ensaios foram selecionados pela importância para o uso em fachadas e são: o ensaio de densidade aparente, de porosidade, absorção de água e resistência à flexão em três pontos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os requisitos técnicos do granito utilizado para revestimento de fachadas em edifícios residenciais na cidade de Aracaju.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudar os requisitos técnicos do granito utilizado como revestimento de fachadas em edifícios residenciais.
2. Selecionar e ensaiar um dos tipos de granito comercializado para revestimento de fachadas na Cidade de Aracaju.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 USO DA PEDRA NA ORNAMENTAÇÃO

O setor das rochas ornamentais agrega três tipos de produto: o bloco de pedra, extraído dos recursos geológicos; a chapa serrada, que corresponde ao bloco cortado e o produto final, produto transformado resultado da chapa cortada, polida, selecionada e controlada (FERREIRA, 2008). Além disso, as pedras ornamentais para utilização passam por dois processos estruturais: a extração e transformação.

Segundo Junior (1991), de maneira geral, o segmento extrativo concentra suas atividades na pesquisa e obtenção de blocos de rocha com padrões definidos e dimensões determinadas; já o segmento de transformação desenvolve suas atividades no beneficiamento dos blocos em chapas, ladrilhos e outras peças polidas, lustradas e cortadas para sua devida aplicação.

As rochas ornamentais, pelo fato de serem aplicadas em locais com características diferentes daquelas onde foram formadas, ficam sujeitas a condições “agressivas”, sejam elas antrópicas (atrito ou desgaste, choques, contato com produtos de limpeza domésticos e industriais) ou naturais (variações de temperatura, exposição solar, água e gelo) (DUARTE, 2003). E com isso essas pedras podem ser aplicadas de inúmeras maneiras, porém as mais utilizadas são para pisos e revestimentos. Sendo assim, segundo Moreiras (2005), cerca de 35% da produção mundial de mármore e granito é utilizada na forma de pisos (internos e externos) das construções, 25% em revestimentos de paredes e fachadas, 13% em arte funerária, 8% em decoração, 7% em trabalhos especiais, 6% em escadarias e similares e 6% em outros casos.

Nos anos 80 e 90 países como a Itália, Espanha, Grécia e Portugal exerciam grande papel no mercado europeu de mármore e granito. Porém nos anos 2000 o continente asiático, a China, a Índia e o Irã, produziu mais pedras naturais comparado com a Europa, e o passou a exportar mais, o que acabou atrapalhando o mercado europeu de pedras ornamentais. A Itália, Grécia, Espanha, Portugal e Turquia são os mercados de rochas ornamentais mais tradicionais do mundo, porém a hegemonia é da Ásia. Um aliado para Ásia e África é o fato de ambos possuírem mão-de-obra de baixo custo comparando com outros países (FERREIRA, 2008).

Em Portugal, cerca de 40% da produção de pedras ornamentais são para exportação e o restante para consumo interno do país. Destacam-se as jazidas de calcários cristalinos da zona do Estremoz, Borba e Vila Viçosa onde extraem-se os mármore Rosa Aurora, Rosa Borba, Rosa Portugal e Rosa Estremoz, de tonalidades rosada com forte ou leve venado, cinzento escuro, acastanhado e esverdeado. Além dos mármore de tonalidade branca, bege ou cinzenta, na mesma região. Além da região alentejana com os mármore esverdeados em Viana do Alentejo (FERREIRA, 2008).

A rocha ornamental do Brasil ocupa o quarto lugar na produção mundial de matérias primas, e teve um crescimento acelerado nos anos 90, no entanto não existe no Brasil uma preocupação com a tecnologia empregada deixando este a desejar em alguns quesitos para importação e exportação. Um dos aspectos mais importantes e que é menos pesquisado no Brasil é a questão do polimento das pedras naturais. Além disso, ainda existe uma precariedade de tecnologia, principalmente devido à falta de conhecimento das propriedades dos materiais envolvidos além da pedra, como os materiais utilizados para fixação da mesma.

O uso das rochas ornamentais para revestimento tem crescido e para se ter conhecimento a respeito das características tecnológicas desse material é necessário a realização de ensaios onde são conhecidas todas as peculiaridades da rocha. E essa etapa deve ocorrer na fase da pesquisa mineral, baseada nas normas fornecidas pelos órgãos responsáveis.

### 3.2 USO DA PEDRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As rochas ornamentais são utilizadas na indústria da construção civil como revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas e soleiras. Compõem também peças isoladas, como estruturas, tampos, pés de mesa, bancadas, balcões, lápides e arte funerária em geral, além de edificações. As pedras ornamentais podem também ser torneadas para revestimento de colunas. A aplicação do granito na construção civil em substituição a outros produtos vem sendo crescente, pelo fato de suas características apresentarem vantagens de uso: resistência, durabilidade, facilidade de limpeza e estética. Seu dinamismo de mercado está fundamentado na sua elevada capacidade de substituição em relação a outros materiais. Como é resistente ao ataque químico, ao desgaste abrasivo, a

utilização do granito em revestimentos externos tem aumentado, tanto em pisos quanto em fachadas (PEITER *et al*, 2001).

Embora a pedra tenha sido utilizada como elemento estrutural na arquitetura e construção, a difusão de seu uso ocorreu como elemento de revestimento em pisos, paredes e fachadas. Progressivamente, a utilização da pedra como elemento estrutural foi substituída por outros materiais (VIDAL, 1995).

Utilizado durante séculos na Itália, com a evolução das comunicações e técnicas de trabalho, o mármore passou a ser utilizado nos países europeus e, finalmente, pelos demais países, empregado especialmente na construção civil. Com a Idade Média, o uso da pedra na construção ganhou um forte ímpeto e, a partir de 1200, a arquitetura gótica estimulou o desenvolvimento da estereotomia, ou seja, a arte de dividir e cortar com rigor os materiais de construção. Métodos avançados de polimento e recorte e muitas técnicas para obras de pedra talhada desenvolvidas então, encontram-se atualmente em uso (LOMBARDERO e REGUEIRO, 1992).

O emprego da pedra natural em Portugal é bem antigo e no período do Estado Novo foi o ápice da utilização da mesma. Após essa época o uso de concreto armado em estruturas se tornou mais comum e a pedra passou a ser utilizada como revestimento. Entre as pedras naturais destacam-se mármore e granitos com 90% da produção mundial, mas também se utiliza ardósias, quartzitos e basaltos.

O setor da construção civil em Portugal ganhou força após entrar para a Comunidade Econômica Europeia, e é um setor em constante mudança onde todos os portes de empresa tem espaço (pequenas, médias, grandes, multinacionais), predominando as pequenas empresas. Em relação à construção civil devido ao êxodo rural e forte emigração, e também a facilidade de créditos para habitação, prevalece em Portugal um sistema habitacional onde se tem falta de iniciativa na manutenção de edificações, tarefa comum em toda Europa. Os mercados angolanos, chinês e argelino estão criando oportunidades para Portugal.

Um estudo realizado a fim de analisar os granitos utilizados em revestimentos no Brasil demonstrou que eles estão de acordo com as exigências norma ASTM C 615:2003. Utiliza-se mais o granito como revestimento devido às patologias em maior número que o pode mármore apresentar.

As placas de granito após os ensaios de módulo de ruptura, resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, avaliação de impactos

acidentais, análise da abrasão profunda e determinação do coeficiente de atrito, podem ser usadas como lajes em edificações. Ressaltando que as placas devem ter espessura e dimensões satisfatórias, além dos materiais corretos para fixação (MOREIRAS e PARAGUASSÚ, 2012).

Através da caracterização das pedras foi possível reduzir os resíduos e aproveitá-las melhor. Com o aumento da tecnologia os cortes e ajustes estéticos foram reduzidos, já que com os ensaios de resistência a flexão é possível definir a espessura correta da rocha para determinado uso.

Para o uso na engenharia civil a principal preocupação com a rocha, após o seu beneficiamento final, deveria ser em relação às suas propriedades. Porém faltavam profissionais habilitados que pudessem identificar e exigir as propriedades adequadas, com isso muitos ensaios normativos surgiram. Sem a devida exigência das propriedades surgem os defeitos nas rochas ornamentais.

No Quadro 1 são mostradas as aplicações da pedra natural na construção civil em funções estruturais e não estruturais.

**Quadro 1 - Aplicações da pedra natural na Construção Civil**

<b>Funções estruturais</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elementos granulares inertes para a fabricação de concreto;</li> <li>- Elementos granulares para a construção de pavimentos térreos (calçada romana, calçada à portuguesa, bases pavimentos asfálticos);             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Enrocamentos em obras portuárias;</li> <li>- Balastros em vias férreas;</li> <li>- Gabions;</li> <li>- Paredes resistentes.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Funções Não Estruturais</b>	<b>Função de Revestimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revestimentos de coberturas;</li> <li>- Revestimento de paredes;</li> <li>- Revestimentos de pavimentos.</li> </ul>
	<b>Função Ornamental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esculturas</li> <li>- Balaústres</li> <li>- Baixos relevos</li> </ul>

Fonte: Adam (2004), adaptado

### 3.2.1 Requisitos Técnicos da Pedra Natural Para Uso na Construção Civil

Além do conhecimento estético da pedra, como cor e textura é fundamental conhecer as propriedades as quais possuem ligação com as duas primeiras. Através do conhecimento das propriedades físico-química e mecânica da rocha, obtém-se a valorização da mesma e determina-se o melhor uso. Essas propriedades só são exploradas através dos ensaios laboratoriais. E para qualificação e caracterização desses ensaios algumas normas nacionais e internacionais estão disponíveis,

tornando assim os ensaios imprescindíveis para testar as propriedades das rochas ornamentais (SOSSAI, 2006)

Com relação ao acabamento de superfícies, pode-se recorrer a técnicas como apicoamento e flameamento que podem conferir a alguns materiais um efeito estético e prático mais interessante em relação ao polimento, amplificando assim a variedade de litótipos utilizáveis como rocha ornamental (CHIODI FILHO *et al.*, 1995).

As propriedades essenciais no estudo da pedra são: as análises petrográficas, os índices físicos, resistência ao desgaste, resistência à compressão uniaxial, resistência a tração, módulo de elasticidade à flexão, resistência ao impacto, dilatação térmica linear, módulo de deformabilidade, velocidades de propagação de ondas ultrassônicas e resistência ao congelamento e degelo.

Para a qualificação da pedra a ser utilizada é necessário a realização dos ensaios tecnológicos. Assim, de acordo com Frazão (2002), a qualidade de uma rocha será conhecida pela sua composição química, mineralógica, petrográfica (textura e estrutura) e pelas propriedades físicas e físico-mecânica daí decorrentes. Todas as propriedades de uma rocha podem ser determinadas em laboratório e algumas em campo, por técnicas apropriadas e conduzidas por procedimentos padronizados.

Para a análise petrográfica as normas são a ABNT NBR 15845:2015 e EN 12407:2007. Nessa análise são descritas a coloração, a estrutura, a textura, a granulação, a composição mineralógica com indicação, em porcentagem, dos minerais essenciais e acessórios, a natureza e a classificação da rocha. Também é obtido o estado microfissural, o estado e o tipo de alteração dos minerais e a presença ou não de minerais deletérios. Em rochas anisotrópicas devem ser preparadas no mínimo duas seções delgadas com diferentes orientações (MOREIRAS, 2005).

Já no caso da determinação dos índices físicos obtém-se com o ensaio, seguindo as normas ABNT NBR 15845:2010, ASTM C 97:2002, EN 1936:1999 e EN 13755:2003, no qual fica definido: a massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água. A massa específica aparente é utilizada para determinar o peso próprio das placas de rochas. A porosidade aparente, e a absorção d'água, aparente e por capilaridade, são aspectos que devem ser

considerados na seleção de rochas que ficam expostas a intempéries e a ambientes de elevada umidade (MOREIRAS, 2005).

No caso da resistência ao desgaste não existe uma conformidade entre as normas ABNT NBR 12042:2012 e CEN EN14157:2004, no entanto, ambas verificam com equipamentos diferentes a resistência da pedra natural à simulação de um tráfego de pessoas sobre a rocha, sendo importante para materiais destinados a revestimento de piso. E para a resistência à compressão uniaxial obtém com as normas ABNT NBR 15845:2015, ASTM C 170:1999 e EN 1926:2006, a resistência devido a esforços de compressão. É também importante quando a rocha for submetida a cargas elevadas tanto na utilização, quanto no transporte e no armazenamento.

Na determinação da resistência a tração utiliza-se as normas ABNT NBR 15845:2015, ASTM C 1352:2004 2000 e EN 12372:2002, que são utilizadas para determinação do módulo de elasticidade na flexão com o objetivo de mensurar a tensão máxima necessária para romper a rocha à flexão, e as normas ASTM C 880:1998 e EN 13161:2002, quando são utilizados inserts metálicos para fixação das pedras.

A resistência ao impacto de corpo duro fornece a resistência da rocha em relação à altura de queda de um objeto. As seguintes normas auxiliam os ensaios ABNT NBR 15845:2010 e EN 14158:2004. Esse ensaio é de extrema importância para pedras utilizadas em pisos. Para a determinação do coeficiente de dilatação térmica linear são necessárias as normas ABNT NBR15845: 2015 e CEN EN 14581:2004, as quais possuem o objetivo, através de aquecimento e resfriamento das peças, de obtenção do coeficiente de dilatação da pedra. Esse ensaio é importante para a verificação das juntas quando a rocha é utilizada como material de piso e revestimento.

Através dos ensaios da norma ASTM D 3148:2002, com o objetivo de medir o grau de deformação da pedra devido às forças de compressão uniaxiais e obtenção da relação entre a tensão de esforço e deformação longitudinal do material, é possível analisar o módulo de deformabilidade estática da pedra. Além disso, para a determinação das velocidades de propagação de ondas ultrassônicas segue-se a norma ASTM D 2845:2008 com o objetivo de obter a velocidades de propagação das ondas longitudinais e transversais, além do módulo de elasticidade de Young.

Por fim para o ensaio de congelamento e degelo a norma ABNT NBR 12769:1992. É importante principalmente para rochas de exportação ao Hemisfério Norte.

O Quadro 2 apresenta um resumo das normas técnicas internacionais e nacionais acima citadas, existentes para caracterização de rochas ornamentais e de revestimentos.

**Quadro 2 - Normas técnicas para caracterização das pedras naturais**

Ensaio, Análise e Determinações	ASTM	DIN	AFNOR	UNI	ABNT	AENOR
Análise Petrográfica	C-295	nd	B-0301	9724/1	15845	nd
Índices Físicos	C-97	52102 52103	B-10503 B-10504	9724/2	15845	22.182
Resistência à Flexão	C-99 C-880	52112	B-10510	9724/5	15845	22.186
Resistência ao Impacto de Corpo Duro	C-170	Nd	Nd	Nd	15845	22.189
Resistência à Compressão	D-2938 C-170	52105	B-10509	9724/4	15845	22.185
Coefficiente de Dilatação Térmica Linear	E-228	Nd	Nd	Nd	15845	Nd
Congelamento e Degelo Conjugado à Compressão	ND	52104	B-10513	Nd	15845	Nd
Desgaste Amsler	C-241	52108	B-10518	2232	6481	23.183
Módulo de Deformabilidade Estática	D-3148	Nd	Nd	2234	Nd	Nd
Micro Dureza Knoop	Nd	nd	Nd	9724/6	Nd	22.188

Fonte: Sossai (2006), adaptado.

O Quadro 3 fornece informações sobre os requisitos técnicos exigidos para a pedra natural a depender do emprego da mesma, pisos, paredes, fachadas e tampos de cozinha, respectivamente.

**Quadro 3 - Propriedades importantes para a escolha e utilização em revestimentos conforme o emprego**

Características Tecnológicas	Pisos		Paredes		Fachadas	Tampos de cozinha
	Interior	Exterior	Interior	Exterior		
Análise Petrográfica	X	X	X	X	X	X
Absorção de água	X	X	X	X	X	X
Resistência ao Desgaste Amsler	X	X				
Resistência à Compressão			X	X	X	
Resistência à Flexão	X	X			X	X
Coefficiente de Dilatação Térmica Linear	X		X		X	
Acabamento Superficial	X	X	X		X	X
Resistência a Agentes de Limpeza	X	X	X	X	X	X
Durabilidade	X		X		X	X

Fonte: Frasca (2004).

### 3.2.2 Uso Da Pedra Natural Em Fachadas

Nas obras de grande porte o controle de qualidade da rocha começa na própria jazida a partir da lavra e da escolha dos blocos a serem beneficiados, passando pela industrialização, notadamente nos processos de serragem, lavagem, polimento e acabamento das placas; finalizando com uma rígida análise das peças recebidas no canteiro de obra e dos elementos e processos de fixação a serem utilizados. Durante a visitação local da pedreira, são observadas a continuidade litológica, textural e cromática do material, além da avaliação da capacidade de produção instalada na lavra, com intuito de garantir o suprimento da obra (MENDES e VIDAL, 2002).

As rochas ornamentais utilizadas para revestimento são submetidas a diversos tipos de tratamentos, desde a sua extração, passando pelo beneficiamento, até a sua aplicação e o seu uso. Esses tratamentos são requeridos para evitar possíveis ações causadas pela poluição ambiental, pelo ataque de produtos de limpeza e outros líquidos agressivos, pelo desgaste abrasivo, pelo impacto com outros corpos e, sobretudo pela ação das intempéries (IEL, 2013).

Apesar da grande abundância de pedras existentes na natureza, Mendes (2009) informa que somente alguns tipos são passíveis de serem usadas nas construções em geral. A pedra a ser utilizada deve obedecer a requisitos mínimos de resistência mecânica, de dureza, de trabalhabilidade, de porosidade, de durabilidade e de aparência.

Dutra (2010) também acrescenta que um dos principais problemas destes materiais é a dificuldade de prever com precisão, devido à pedra não ser um material homogêneo, o seu comportamento em relação às diferentes solicitações físicas a que estarão expostos na sua vida útil em obra. Portanto, é necessário que esses materiais do revestimento tenham sempre as suas características elencadas com detalhe. Será sempre necessário especificar a qualidade do material, definição petrológica, local de extração, característica em geral, densidade, absorção de água, porosidade, coeficiente de dilatação térmica e módulo de flexão e elasticidade. Como se pode observar a Tabela 1 mostra um resumo das características mínimas exigidas para granito, de acordo com a norma brasileira, a americana e os autores Frazão e Farjallat(1995).

**Tabela 1 - Valores limítrofes especificados pela norma ABNT NBR 15844: 2015, ASTM C615 (2008) e valores médios para rochas silicáticas brasileiras por Frazão & Farjallat (1995)**

Propriedades	Valores Fixados		
	NBR 15844: 2015	Frazão & Farjallat (1995)	ASTM C615 (2003)
Densidade Aparente (kg/m <sup>3</sup> ), min	2550	2550	2560
Porosidade aparente (%), max	1,0	1,0	-
Absorção d'água (%), máx	0,4	0,4	0,4
Módulo de ruptura (MPa), mín	10,0	10,0	10,34
Resistência à flexão quatro pontos (MPa), mín	8,0	-	8,27
Resistência ao desgaste (mm/1000m), máx	1,0	1,0	-
Resistência ao impacto de corpo duro (m), mín	0,3	0,4	-
Coeficiente de dilatação térmica linear [10 <sup>-3</sup> mm/(m x OC)], máx	8,0	12,0	-
Resistência à compressão uniaxial (MPa), mín	100,0	100,0	131,0
Velocidade de Propagação de ondas ultrassônicas (m/s), mín	-	4.000	-

Fonte: Saar, *et al* (2015), adaptado.

Além das exigências técnicas, existem as tolerâncias dimensionais para os ladrilhos e placas utilizados em revestimentos de paredes e fachadas obtidos por processo de serragem e polimento, a Tabela 2 apresenta esses valores de acordo com as dimensões da espessura da placa.

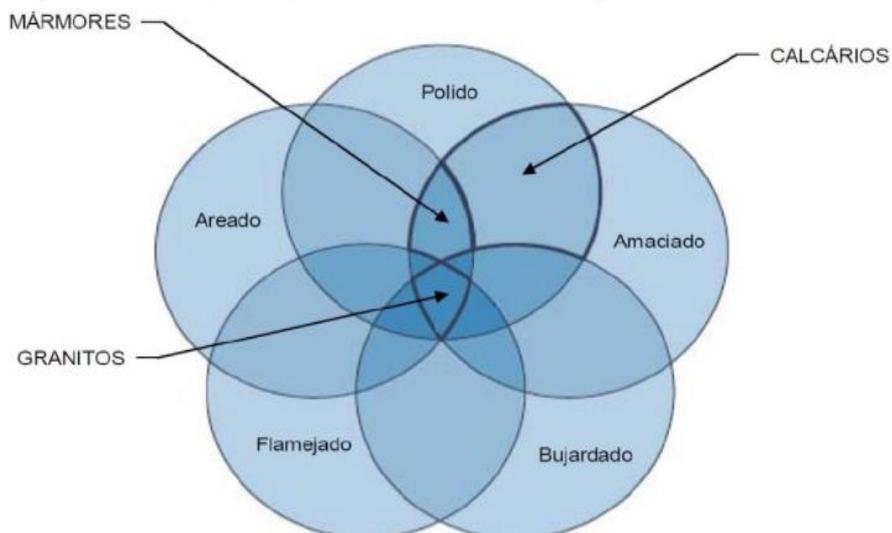
**Tabela 2 - Tolerâncias dimensionais para placas e ladrilhos para revestimentos de paredes e fachadas**

Medida	Dimensão	Tolerância
Espessura (e)	12 mm < e < 30 mm	± 10%
	30 mm < e < 80 mm	± 3 mm
	e > 80 mm	± 5 mm
Planicidade	0,2% do comprimento da chapa não excedendo 3 mm	
Comprimento ou Largura Nominal	C < 600 mm, e > 50 mm	± 2 mm
	C < 600 mm, e < 50 mm	± 1 mm
	C ≥ 600 mm, e > 50 mm	± 3 mm
	C ≥ 600 mm, e < 50 mm	± 1,5 mm

Fonte: CEN EM 1469:2004.

Ainda pode-se observar os principais tipos de acabamentos utilizados em fachadas que são polidos, amaciado, bujardado, flamejado e areado. As melhores pedras utilizadas possuem dois ou mais desses acabamentos em conjunto, de forma a melhorar as características estéticas. A Figura 1 apresenta esses acabamentos e onde se enquadram as pedras mais utilizadas em fachadas. Com ela é possível verificar que a melhor pedra para utilização em fachadas por esse aspecto é o granito.

**Figura 1 - Principais tipos de acabamento em granito, mármore e calcário**



Fonte: Camposinhos (2009).

A seguir são demonstrados na Tabela 3 valores médios da resistência à flexão, densidade aparente seca, porosidade aparente e absorção de água aparente de alguns granitos comercializados no Brasil. Através da tabela é possível observar a variedade de propriedades de uma pedra para outra.

**Tabela 3 - Valores médios de propriedades de granitos comercializados no Brasil**

Nome comercial	Resistência à flexão (MPa)	Densidade Aparente Seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade Aparente (%)	Absorção de água aparente (%)
Amarelo Santa Cecília Clássico	7,21	2647	0,86	0,32
Bege Butterfly	11,43	2632	0,92	0,35
Branco Dallas	11,44	2627	0,86	0,33
Branco Siena	15,11	2640	0,70	0,26
Cinza Andorinha	12,63	2703	0,83	0,31
Ouro Dourado	12,37	2633	0,82	0,31
Ouro Negro	18,70	2859	0,56	0,20
Preto São Gabriel	14,10	2960	0,96	0,33
<b>Verde Ubatuba</b>	<b>11,4</b>	<b>2727</b>	<b>1,00</b>	<b>0,37</b>

Fonte: Basto *et al* (2006), adaptado.

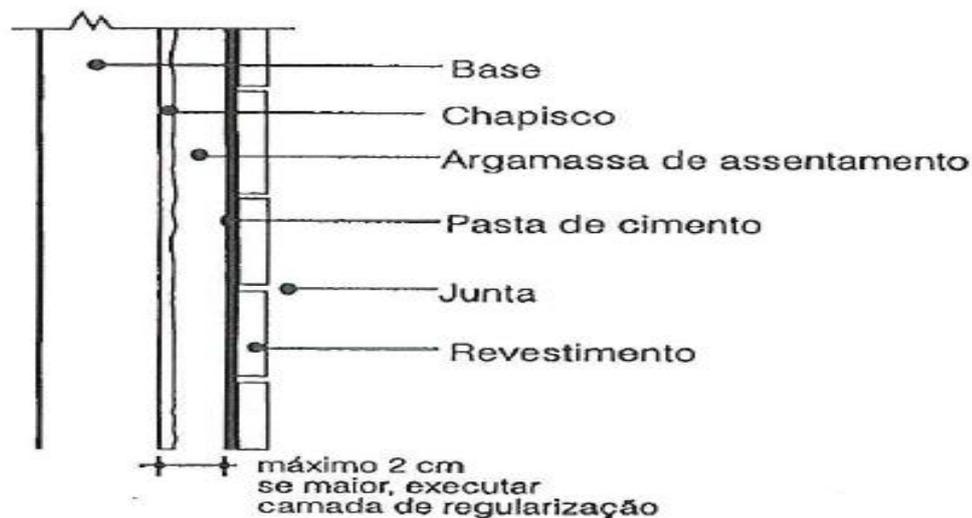
Vale salientar segundo Junior (2005), que em uma região com intensa poluição atmosférica, devem ser escolhidos, para revestimento externo, acabamentos com superfícies rugosas de textura fina, e preferencialmente, de cores escuras, protegidos por detalhes construtivos salientes. As cores claras evidenciam a sujeira da poluição atmosférica.

Em síntese de acordo com Mendes e Vidal (2002) a escolha de materiais pétreos para recobrimento de fachadas somente deverá ser definida a partir das seguintes características: aspecto estético-decorativo da rocha; avaliação da sua composição minero-petrográfica e propriedades físico-mecânicas do litotipo escolhido; definição do sistema de fixação a ser adotado e do conhecimento das cargas atuantes sobre o revestimento.

A avaliação da composição e das propriedades da pedra natural é realizada em laboratórios. Já para fixação das placas de pedras em fachadas existem dois

métodos: colagem e grampeagem. No primeiro caso utiliza-se um material de assentamento contínuo normalmente argamassa entre a pedra e a superfície, onde há ausência de ar entre as pedras e a fachada. Com isso observa-se limitações nas dimensões da pedra e na altura de instalação, sendo melhor o uso para edificações de até três pavimentos. Em construções mais altas as dimensões das placas são maiores assim como o risco de existir o deslocamento do revestimento de pequenas áreas. Além da possibilidade de aplicação em zonas baixas, e oferece uma maior resistência a choques em comparação com métodos de fixação indireta. Nesse caso utiliza-se como suporte uma tela fixada na fachada, uma camada de fixação e uma camada de acabamento (placas da pedra e juntas). A Figura 2 traz a representação de como esse método funciona.

**Figura 2 - Aplicação de pedras em fachadas utilizando argamassa**



Fonte: Fiorito (1994), adaptado.

Patton (1978) definiu alguns aspectos que devem ser analisados na escolha das argamassas entre eles pode-se citar a resistência da argamassa, aparência, penetração da água e das chuvas, o custo, a ligação entre argamassa e tijolo, trabalhabilidade que é a característica de plasticidade de uma argamassa a qual permite ocupar completamente a junta e a retenção de água, ou seja, sua capacidade de reter água e impedir que ela passe para as unidades da alvenaria.

Já para o caso do grampeamento as placas de pedra são ligadas a fachada do edifício através de fixações pontuais metálicas criando assim uma caixa de ar entre as pedras e a fachada. No caso das fachadas que utilizam a forma de grampeagem para a fixação das pedras surge o termo fachada ventilada o qual

segundo Siqueira Junior (2003), é designado por um sistema composto por placas ou painéis fixados externamente ao edifício por uma subestrutura auxiliar constituindo-se no revestimento externo ou na vedação vertical exterior. Para normatizar esse tipo de fachada existe a norma alemã DIN 18516:1990, italiana UNI 11018:2003, e a brasileira NBR 15846:2010, porém na norma brasileira não se usa o termo fachada ventilada apenas normatiza o uso de pedras em fachadas por meio de insertos metálicos.

O Sistema de Fachadas Ventiladas (SFV) foi desenvolvido nas últimas décadas por laboratórios europeus, a partir da necessidade de redução dos custos com energia para refrigeração e calefação das edificações (TÉCHNE, 2009). Segundo Dutra 2010, o SFV surgiu como uma inovação construtiva do processo evolutivo das fachadas e, atualmente, é considerado de extrema importância não só pela questão estética e econômica, mas também pela sua funcionalidade.

Uma fachada ventilada é uma parede constituída por dois elementos verticais de vedação, os panos interior e exterior, separados entre si por um espaço intermediário que possibilita a circulação de ar, conhecido como caixa-de-ar, dentro da qual podem ser introduzidos materiais isolantes térmicos para possibilitar adequado desempenho do conjunto. A existência desta cavidade entre os panos e a movimentação do ar ali contido são os responsáveis pelas propriedades térmicas do conjunto, e configuram a característica principal deste método construtivo (GUIMARÃES, 2013).

Segundo Junior (2005), os componentes metálicos de fixação devem ser constituídos de metais inalteráveis, isto é, que não sofram degradação devido ao ataque de substâncias existentes na atmosfera, em forma de gás e vapor, dissolvidos na água da chuva ou na água de limpeza. Os principais metais que poderão ser utilizados para os componentes metálicos de fixação, são: aço inoxidável, e o cobre e suas ligas de alumínio.

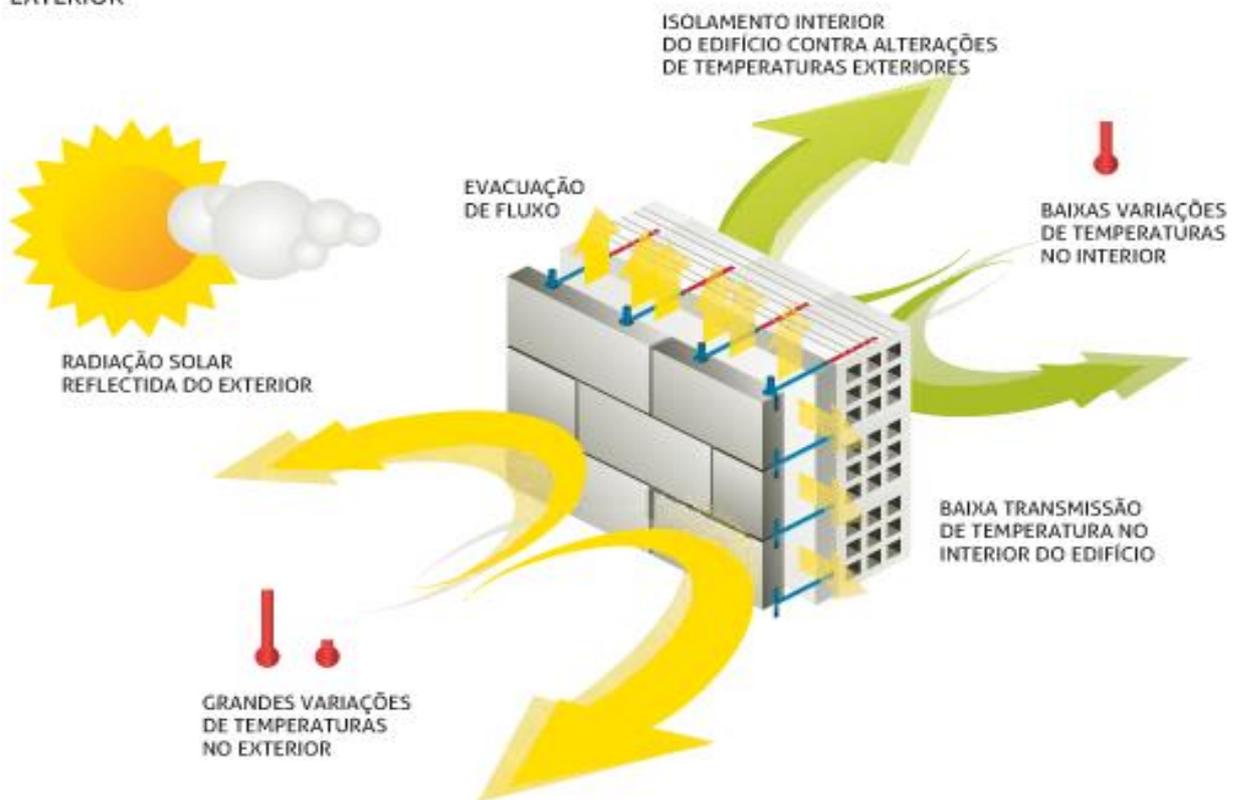
Para Dutra (2010), os revestimentos externos de fachada ventilada em placas pétreas apresentam-se como uma solução versátil e revelam uma elevada característica de durabilidade e resistência. Oferecem diversas vantagens, tanto do ponto de vista estético e arquitetônico, como do ponto de vista da valorização do patrimônio (CAUSS, 2014). Na Figura 3 observa-se o mecanismo de funcionamento da fachada ventilada visando o isolamento exterior, no Quadro 3 os elementos

constituintes da fachada ventilada e na Figura 4 os componentes da fixação das fachadas ventiladas.

Como se observa a Figura 3 é uma ilustração do fluxo de vento na cavidade da caixa de ar entre o revestimento e a alvenaria, e a diferença de temperatura na face externa e interna da fachada ventilada. Demonstrando a eficácia desse sistema para o conforto térmico do usuário devido à baixa transmissão de temperatura no interior do edifício.

**Figura 3 - Fachada ventilada**

COMPORTAMENTO DA FACHADA VENTILADA COM ISOLAMENTO EXTERIOR



Fonte: Antas (2014).

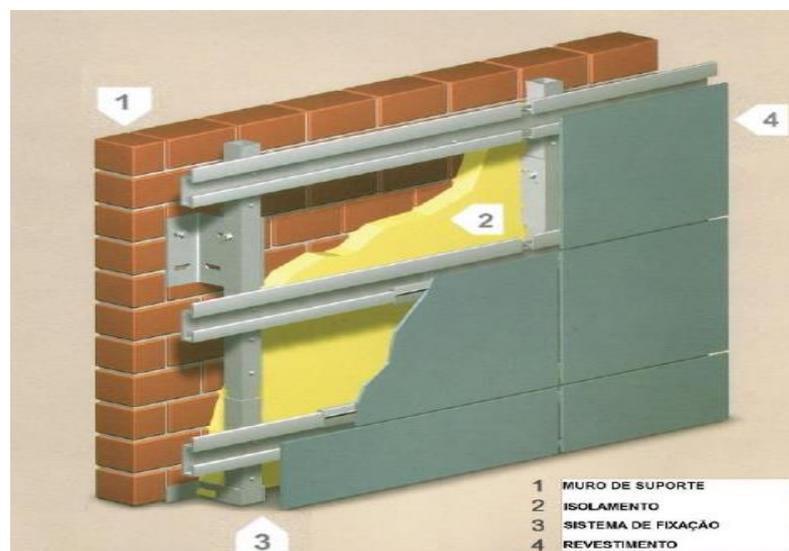
No Quadro 4 é observado as exigências de cada elemento constituinte do sistema de fachada ventilada, evidenciando os mais relevantes e menos relevantes. Ressaltando para o revestimento a relevância da resistência mecânica e estanqueidade à água e ao ar.

**Quadro 4 - Elementos constituintes do sistema de fachadas ventiladas e suas exigências**

	<b>Suporte Base</b>	<b>Isolamento</b>	<b>Sistema de Fixação</b>	<b>Espaço de ar</b>	<b>Revestimento</b>
Resistência Mecânica	X	-	X	-	X
Segurança Contra Incêndio	X	X	X	-	X
Segurança na Utilização	-	-	X	-	X
Estanqueidade à Água e ao Ar	-	-	-	-	X
Saúde, Higiene e Ambiente	-	-	-	-	X
Conforto Térmico	-	X	-	X	-
Conforto Acústico	-	X	-	X	-
Durabilidade	-	-	X	-	X
Conforto Visual	-	-	X	-	X
Legenda: X Mais relevante - Menos Relevante					

Fonte: Oliveira (2011).

A Figura 4 evidencia os componentes de fixação da fachada ventilada na forma como são empregados em sua utilização. Nessa figura é possível observar que o revestimento fica exposto às intempéries tornando importante o estudo da pedra. E a alvenaria tem a camada de isolamento para favorecer a temperatura interna da edificação.

**Figura 4 - Componentes da fixação da fachada ventilada**

Fonte: Maia (2013).

O material de revestimento tem função estética e de proteção da parede externa do edifício. A câmara de ar permite a ventilação natural da parede, sendo essencial para o funcionamento do sistema. A estrutura de fixação, que recebe o revestimento, pode ser de metal ou madeira e tem como função dar estabilidade ao sistema e garantir o afastamento necessário para a criação da câmara de ar. Finalmente, o material isolante também chamado de capa isolante poderá ser aplicado na parede externa de forma a garantir a estabilidade térmica no interior do edifício (CONSTRULINK, 2006).

O clima em que a fachada ventilada vai estar exposta tem uma grande importância tanto para o material empregado como para a estrutura interna da edificação. Locais com clima com variações muito intensas de temperaturas, climas frios, por exemplo, fazem com que os materiais se desgastem devido à retração e dilatação intensas. Já em climas tropicais onde as temperaturas não oscilam tanto, mas as chuvas são constantes os materiais sofrem tanto pela radiação intensa quanto pelos minerais presentes nas chuvas. Sendo assim é importante obter informações a respeito do clima onde uma edificação será construída, para com isso alcançar resultados satisfatórios em termos de projeto e conseqüentemente conforto e eficiência energética na futura construção.

Em relação ao clima da cidade de Aracaju, Pires e Pinto (2012) apresentam as barreiras artificiais das direções dos ventos, ou da circulação térmica, que tem favorecido para uma possível mudança no microclima local da cidade. A circulação térmica forçada corresponde aos efeitos produzidos por contrastes térmicos da superfície. Este contraste térmico pode ser atribuído a vários fatores, entre eles a diferença do tipo de ocupação do solo (urbanização). Assim este tipo de circulação pode gerar tanto as brisas marítimas, quanto a formação de ilha de calor, decorrentes das conseqüências prováveis da circulação térmica forçada com a utilização do solo e formações de paredões (a verticalização da cidade). A brisa marítima trazida pelos ventos e as chuvas também danificam as estruturas da cidade, forçando a utilização de materiais com qualidades melhoradas.

Devido ao efeito do clima da cidade verifica-se também a importância do isolamento térmico e das câmaras de ar para a fachada ventilada. O isolamento térmico, para Mendes (2009), tem como função principal atenuar a transferência de calor ao longo dos materiais sobre os quais são aplicados. E como na câmara de ar há uma grande ascensão de ar quente, o isolamento térmico é fundamental para

fachadas ventiladas. E em relação a câmara de ar, Campos (2011) afirma que, através desse espaço, promove-se uma ventilação natural. A fachada ventilada tem uma vantagem principal no que diz respeito ao conforto térmico devido ao efeito chaminé. A autora ainda enfatiza algumas vantagens a respeito dessa câmara, as quais podem ser citadas:

-Permite remover o vapor de água proveniente do interior;

-O calor é removido através da circulação de ar na câmara (em torno de 20% de redução pelo efeito chaminé);

-A câmara é protegida pelo revestimento externo o qual mantém a edificação estanque, o que contribui para a conservação da camada isolante e da base suporte.

Acredita-se que se pode obter através da racionalização dos processos construtivos e da adoção de inovações tecnológicas, associadas à consolidação nos canteiros de obras, uma maior qualidade, desempenho e produtividade, e menores desperdícios de material e mão-de-obra, no caso do uso de fachadas ventiladas (JUNIOR, 2005).

### 3.2.2.1 Exigências para o granito nas fachadas ventiladas

A pedra indicada para uso externo deverá apresentar maior impermeabilidade e maior resistência às ações dos agentes erosivos do meio ambiente. Um dos principais problemas destes materiais é a dificuldade de prever com precisão o seu comportamento, face às diferentes solicitações físicas a que estão expostos em sua vida útil (SOUZA, 2016).

Em relação à geometria das pedras não existe uma normatização para tal, porém, segundo Flain (1995), o emprego de pedras superiores a um metro quadrado deve ser analisado cuidadosamente em função do sistema de suporte.

Os revestimentos da fachada devem resistir, sem descolar nem cair, às solicitações combinadas a que estarão sujeitos em condições normais de uso, como o peso próprio, as solicitações climáticas extremas (vento, choques térmicos) e as diversas ações decorrentes da utilização normal (choques). Em situações acidentais admitem-se a ruptura ou deformação superficial do revestimento, mas sem que haja atravessamento ou sérios danos na alvenaria (MENDES, 2009).

E no tocante a algumas propriedades, Mendes e Vidal (2002) observam que o conhecimento dos valores da massa específica aparente e da resistência à flexão é fundamental para o dimensionamento de espessuras de chapas fixadas por meio de grampos em revestimentos de paredes.

As fachadas ventiladas especialmente com revestimento de granito possuem como grande vantagem, além do alto valor estético, a elevada capacidade de isolamento térmico da pedra natural em relação aos demais tipos de revestimentos. Ainda assim, devem ser colocados na câmara de ar dispositivos de evacuação da água, caso a mesma se infiltre através da pedra (CONSTRULINK, 2006).

Ainda segundo a Construlink (2006), para quase todos os mecanismos de fixação desse tipo de revestimento existe a possibilidade de inserção de isolamento térmico entre o revestimento e a parede. Para isso, é necessário que a câmara de ar tenha entre 20 a 50 mm. Os orifícios de ventilação situados no topo e na parte mais baixa da fachada não poderão ter uma área menor que 100 cm<sup>2</sup> por metro de revestimento medido horizontalmente.

Sobre a qualidade da rocha frente as características intrínsecas, Mendes e Vidal (2002) frisam que quanto menor a presença de minerais deletérios e do valor dos índices de porosidade, da absorção de água, da resistência ao atrito, e do coeficiente de dilatação linear, melhor ela será. Por outro lado, valores maiores para a resistência à compressão uniaxial, do seu módulo de elasticidade, da resistência ao impacto duro, da flexão e dos ensaios gelo/degelo, sinalizam aumento de qualidade da rocha.

Segundo Frazão e Farjallat (1995), quanto mais denso for um dado tipo petrográfico, maior será sua resistência mecânica. Já a alta porosidade resultará em baixas resistências mecânicas. A alta absorção levará à expectativa de uma baixa durabilidade e a uma progressiva redução de resistência mecânica ao longo de tempo. Frazão e Farjallat (1995) salientam ainda que as rochas com alta absorção apresentarão menores resistências mecânicas quando no estado saturado. Fatores de ordem petrográfica podem afetar os índices físicos. Os principais são o estado microfissural e o grau de alteração da rocha que diminuem a densidade e aumentam a porosidade e a absorção de água.

A retenção de água nos poros das pedras pode afetar a sua durabilidade quando a água dissolve as substâncias constituintes da pedra, transformando-as em

sais que quando transportadas para a superfície se cristalizam, dando origem a eflorescências (SOUZA, 2016).

Para a aplicação em fachadas, devem ser escolhidos os granitos de menor porosidade, com granulação mais fina, como os avermelhados e os esverdeados. Em geral, os cinzas absorvem mais água, mas existem exceções como o cinza-prata do Ceará, que praticamente não mancha (SOUZA, 2016).

No caso de materiais com alto índice de porosidade e absorção, mas que tenham sido escolhidos em função do projeto arquitetônico, sua utilização só deve ser feita após passarem por um processo de impermeabilização. Tal premissa tem por base evitar o aparecimento de patologias que poderão comprometer a estética e funcionalidade do revestimento. O mesmo cuidado deve-se ter em função da presença dos planos de fraqueza da rocha, tais como fraturas de tensão e de cisalhamento, cujas placas portadoras não devem ser utilizadas, afim de não comprometer a segurança da obra (MENDES e VIDAL, 2002).

A massa específica aparente é necessária para determinação do peso próprio da rocha. E ainda para os materiais de alta porosidade, é necessário ter atenção ao peso provocado pelo teor de umidade, tendo em vista que os materiais de alta porosidade são os que retêm maior quantidade de água, aumentando significativamente seu peso. Salientando assim, a importância de que o dimensionamento do sistema seja efetuado considerando o peso específico saturado. Já a absorção de água é a capacidade ou facilidade de um material em absorver água e está diretamente relacionada com a porosidade e corresponde à porcentagem de vazios com acesso a periferia dos elementos de revestimento (SOUZA, 2016).

Esta característica tem especial relevância para os elementos de revestimento em situações de grande exposição à chuva ou quando localizadas em zonas de alta umidade, nestas condições a retenção de água é muito superior, o que torna essencial considerar a absorção de água do revestimento no dimensionamento da fachada ventilada, de forma a evitar a instabilidade dos elementos de revestimento, devido a um aumento de peso não previsto. A absorção de água influencia na manutenção e durabilidade do revestimento, sendo que quando o revestimento absorve muita água, este sofrerá danos, como a eflorescência, no caso de pedra natural, mofos e proliferação de microrganismos. Para fachada sempre se recomenda produtos que sejam o menos poroso possível (SOUZA, 2016).

E por fim a resistência à flexão de um revestimento de fachada é muito importante para seu dimensionamento, devido à força do vento. Em edifícios com mais de 10m de altura, deve-se considerar a força do vento nos cálculos de dimensionamento, que são fornecidos através da Norma NBR 6123/1988. Sendo assim a resistência à flexão é diretamente proporcional à força do vento. Quanto maior a resistência à flexão do revestimento significa que o material suporta maiores carregamentos de vento, ou que para o mesmo carregamento, podem-se ter espessuras mais finas. A fachada sofre muito com os esforços do vento, que causam pressão e sucção, o material utilizado na fachada deve possuir uma boa resistência à flexão (SOUZA, 2016).

### 3.2.2.2 Patologias associadas ao uso da pedra natural em fachadas

Segundo Polisseni (1986), por ser o material que recobre a superfície das paredes, o revestimento, de um modo geral, é o primeiro elemento da edificação a sofrer a ação de agentes agressivos de origem natural ou oriunda da própria utilização do edifício. Os principais ataques são devidos a: movimentação higroscópica do revestimento, movimentação térmica do revestimento, movimentação higroscópica da base, movimentação térmica da base, e por fim incidência de chuvas e ventos e insolação às superfícies.

Gripp (2008) cita que os problemas patológicos ocorrem com diferentes formas de manifestação, e podem ter origem em diferentes fatores, pois existe nos processos construtivos uma grande complexidade dos sistemas envolvidos. Sendo assim, é preciso conhecer as características dos materiais, sua adequação de uso ao local, correto posicionamento de juntas, utilização de mão-de-obra treinada, controle do uso dos materiais no canteiro, para prevenir o surgimento de manifestações patológicas.

As anomalias nas pedras podem ocorrer tanto decorrentes da concepção do projeto e quanto da execução do mesmo. De acordo com Sousa *et al* (2003), na concepção do sistema construtivo deve-se analisar o risco de destacamento das placas em função da sua utilização no edifício, características do suporte, dimensão e espessura e características físicas da pedra a utilizar. A depender da estrutura e dimensões do edifício o método escolhido para fixação da pedra também influenciará nas anomalias que vierem a surgir.

Flain (1995) relacionou as principais patologias observadas nas pedras naturais em visita a canteiros de obras, as quais são mostradas no Quadro 5.

**Quadro 5 - Principais patologias em pedras naturais**

<b>Manifestações patológicas</b>	<b>Causa</b>
Manchas	Devido à má utilização do selante de rejuntamento, principalmente no processo com componentes metálicos onde se utiliza esse material;
	Devido à percolação da água através de detalhes construtivos existentes, como saliências, geralmente em forma geométrica, que circundam os vãos das aberturas.
	Em forma de respingo, de tinta, ou outro produto geralmente utilizado para a proteção de esquadrias.
	Devido à reconstituição de quebras. As reconstituições geralmente são executadas com produtos especiais, como resinas, por exemplo, mas ficam destacadas, pois os produtos não são da mesma natureza das rochas. Essas manchas caracterizam-se pelo contorno, delimitando a quebra.
Fissuras	Nos locais dos rasgos para a afixação das placas.
	Provocadas pela falta de juntas corretivas.
Quebra	Nos cantos das placas, provocadas pelo mau uso do balancim, pois o mesmo não se apresenta protegido, vindo a bater contra as placas. Essas quebras são posteriormente, disfarçadas com rejunte. As placas normalmente não são repostas devido, principalmente, à dificuldade de acesso e ou devido à reposição das próprias pedras, em função do sistema de fixação adotado.
Descontinuidade	No rejuntamento.
Juntas	Desalinhadas e com dimensões variáveis.

Fonte: Flain (1995).

Sendo feita a análise do Quadro 5 percebe-se as diferentes causas que podem gerar uma mesma patologia. A maior parte delas é devida a descuidos na etapa de preparação da base e fixação das placas, salientando com isso a importância do acompanhamento dessas.

Convém citar que o aparecimento de certas patologias, tais como; manchamento, eflorescência de sais minerais, pontos de oxidação e de dissolução, resultam do alto índice de porosidade, permeabilidade e absorção d'água das rochas. Tais problemas podem ser evitados com a simples elaboração e interpretação dos resultados analíticos dos materiais disponíveis. De acordo com os parâmetros obtidos, sua substituição por outras rochas, com menores índices, é o

mais indicado e recomendado (MENDES e VIDAL, 2002). Essas patologias são apresentadas nas figuras a seguir.

A figura 5 traz a ilustração de uma pedra de granito a qual apresenta manchas de oxidação. Nela é possível verificar como essa patologia prejudica a estética da fachada.

**Figura 5 - Granito com manchas de oxidação**



Fonte: Assis (2012) adaptado.

Já a figura 6 traz a apresentação de um granito utilizado em fachada com manchas de eflorescência. E mais uma vez observa-se que a estética da fachada em questão é prejudicada por essa patologia.

**Figura 6 - Eflorescência em revestimento de fachada com granito**



Fonte: Maranhão e Barros (2006).

## 4 METODOLOGIA

O trabalho trata-se de uma pesquisa bibliográfica onde se utilizou de fontes teóricas para obtenção das informações e de uma pesquisa experimental utilizando equipamentos em laboratório para execução de ensaios visando a obtenção de propriedades das rochas estudadas.

A pesquisa bibliográfica é um processo no qual se busca com uma atitude teórica informações necessárias que possibilitem a realização de um estudo comparativo. Essa busca é realizada em diferentes meios eletrônicos com o propósito de aprofundamento do tema a ser estudado (AMARAL 2007, adaptado).

Já a pesquisa experimental, para Gil (2007), consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

Essas variáveis em estudo serão as propriedades das pedras naturais às quais serão determinadas em laboratório, utilizando-se normas para determinação das propriedades mínimas exigidas para uso na construção civil.

Para a realização desse estudo foi necessário pesquisar e analisar marmorarias ou pedreiras que fazem entregas de rochas naturais para construtoras em Aracaju. E com isso verificar se os compradores exigem alguma propriedade mínima ou ensaio de desempenho das pedras utilizadas. Além disso, analisar quais os tipos de rochas mais procurados para a construção civil no uso em fachadas. Sendo assim após esse estudo foi possível realizar um confronto entre o produto que se utiliza em Aracaju e seus requisitos técnicos mínimos para o uso em questão.

Após pesquisa em internet das marmorarias existentes em Aracaju fez-se um contato através de e-mail e telefone com as mesmas. O Quadro 6 traz um resumo das informações coletadas após esta pequena entrevista. Na qual se questionou a espessura de granito que eles teriam a disposição, além do tipo mais vendido para o uso em fachadas na cidade de Aracaju.

**Quadro 6 - Marmorarias de Aracaju e granitos comercializados em fachadas**

Nº Marmoraria	Contato	Granito	
		Espessura (cm)	Tipo mais vendido para fachada
01	Telefone	2,0	Escolha do cliente
02	Telefone	2,0	Verde Ubatuba e Branco Siena
03	Telefone	2,0	Escolha do cliente
04	Telefone	2,0	Preto São Gabriel, Branco Siena e Verde Ubatuba
05	Telefone	2,0	Preto São Gabriel
06	Telefone	2,0	Escolha do cliente
07	Telefone	2,0	Preto São Gabriel, Branco Siena e Verde Ubatuba
08	Telefone	2,0	Escolha do cliente
09	Telefone	2,0	Escolha do cliente
10	Telefone	2,0	Verde Ubatuba

Fonte: O autor (2016).

Para a pesquisa experimental foram realizados ensaios dos índices físicos e da resistência à flexão do granito. Os ensaios de determinação da densidade aparente, porosidade aparente e da absorção de água, além do de flexão por carregamento em três pontos foram executados de acordo com a NBR 15845: 2015 partes 2 e 6. Para o ensaio de índices físicos foram necessários 10 corpos de prova de 5 cm de largura por 7 cm de comprimento, a norma não especifica a espessura mínima necessário por isso a de 2 cm, que foi a utilizada, é atendida. E no ensaio da flexão em três pontos seguindo a norma, seriam necessários 10 corpos de prova de 5 cm de espessura por 10 cm de largura e 22 cm de comprimento, cabendo ressalva quando não é possível a obtenção desses corpos de prova desde que os seguintes parâmetros sejam seguidos:

- a) Espessura (d):  $2,5 \text{ cm} \leq d \leq 10 \text{ cm}$
- b) Largura (b):  $5 \text{ cm} \leq b \leq 3d$
- c) Comprimento (c):  $c \geq 6d$

Com isso é perceptível que o ensaio de flexão em três pontos necessita de granitos com espessura mínima de 2,5 cm. Apesar disso a norma possui nota

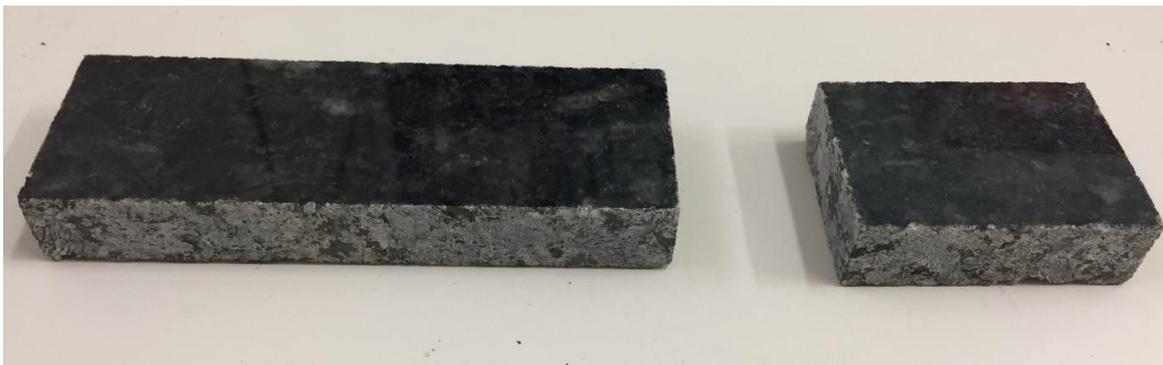
naquela permite o ensaio com corpos de prova que não atendam aos requisitos mínimos quando forem especialmente requeridos para coleta (ABNT NBR 15845-6, 2015). Então devido a importância desse ensaio para o uso do granito em fachadas, os corpos de prova que foram utilizados para o ensaio de ruptura têm as dimensões de 5 cm de largura por 15 cm de comprimento sendo a espessura 2 cm. Cabendo ainda uma análise para no futuro discutir sobre a espessura mínima requerida, podendo diminuir o peso próprio das fachadas.

Com a escolha das normas e as dimensões estabelecidas, foi feita uma segunda pesquisa com as marmorarias locais com o intuito de obter orçamentos com as três pedras mais comercializadas em Aracaju que foram: o Verde Ubatuba, o Branco Siena e o Preto São Gabriel. Após recebimento dos orçamentos optou-se pelo granito Verde Ubatuba. E de forma a comparar os granitos comercializados na cidade decidiu-se por ensaiar três lotes de granitos provenientes de marmorarias diferentes.

Para a realização do ensaio e a fim de separar os corpos de prova para evitar confundi-los foi feita uma numeração de 1 a 30 para os dois ensaios. Essa numeração foi realizada após recebimento dos corpos de prova. Sendo os de 1 a 10 da marmoraria A, de 11 a 20 da marmoraria B e de 21 a 30 da marmoraria C. Os ensaios da marmoraria B e C foram realizados juntos a fim de otimizar o tempo. Todos os procedimentos foram realizados no laboratório de materiais de construção do Instituto Federal de Sergipe.

A Figura 7, a seguir, traz dois corpos de prova com as dimensões dos ensaios escolhidos. O primeiro granito foi ensaiado para flexão em três pontos e o segundo para massa específica, porosidade aparente e absorção.

**Figura 7 - Granito Verde Ubatuba para ensaio de flexão em três pontos e índices físicos, respectivamente**



Fonte: O autor (2016).

Após a marcação dos números equivalentes nos granitos foi feita uma mensuração da espessura do granito que foi utilizado no ensaio de ruptura. Para isso fez-se dez divisões em cada pedra e com paquímetro digital foi realizada a medição. Com essas medidas foi feita uma mediana dos valores e chegou-se a espessura que será tratada para esse ensaio. As divisões e a mensuração são mostradas nas Figuras 8 e 9 a seguir. E as espessuras encontradas são:

- Marmoraria A: 2,22 cm
- Marmoraria B: 2,65 cm
- Marmoraria C: 2,65 cm

Na Figura 8 é possível verificar as marcações nas pedras para verificação da espessura. As marcações foram feitas a cada 1,5 cm, sendo realizadas 9 (nove) leituras por granito analisado, e após os dez corpos de provas mensurados foi feita a mediana dos valores.

**Figura 8 - Corpos de prova com as dez divisões feitas para encontrar a mediana das espessuras**



Fonte: O autor (2016).

Já na Figura 9 observa-se uma das medições sendo realizada, nesse caso cabe destacar a importância da aferição do paquímetro após cada mensuração, para que não exista nenhum erro. O paquímetro necessita estar zerado para início das medições.

**Figura 9 - Medições utilizando o paquímetro digital**



Fonte: O autor (2016).

O ensaio de índices físicos consiste em colocar os corpos de prova em uma bandeja e adicionar água destilada até um terço da altura deles. Após quatro horas, adicionar mais um terço de água, e após mais quatro horas finalizando a submersão dos corpos de prova, deixando os mesmos por mais 40 horas nessa condição. Após esse tempo, os granitos são pesados na condição submersa, com balança hidrostática, e na condição saturada. Finalizando as medições, os corpos de prova são colocados em estufa por aproximadamente 24 horas até alcançarem massa constante, e pesados na condição seca.

Nas Figuras de 10 a 12 é possível observar os granitos na água destilada que foram utilizados para o ensaio de índices físicos. A água destilada é necessária para evitar que o líquido acrescente minerais ou outras partículas para os granitos. O que nesse caso poderia alterar os valores de massa específica, porosidade e absorção de água, já que não teria só água sendo absorvida.

**Figura 10 - Corpos de prova para ensaio de índices físicos com 1/3 de água destilada**



Fonte: O autor (2016).

Nesse caso, verifica-se a importância da colocação da água destilada em etapas para que o granito possa absorver a água por capilaridade, para então ficar completamente submerso.

**Figura 11 - Corpos de prova para ensaio de índices físicos com 2/3 de água destilada**



Fonte: O autor (2016).

**Figura 12 - Corpos de prova para ensaio de índices físicos submersos em água destilada**



Fonte: O autor (2016).

A massa submersa ( $M_{sub}$ ) foi pesada na balança hidrostática, mostrada na Figura 13. Na utilização da balança hidrostática é necessária a aferição da mesma após cada uso, pois devido ao movimento da água a balança pode informar resultados não confiáveis.

**Figura 13 - Balança para pesagem hidrostática com corpo de prova**



Fonte: O autor (2016).

Em seguida os corpos de prova foram medidos na condição saturada ( $M_{sat}$ ) e após na condição seca ( $M_{sec}$ ), conforme a figura 14. Finalizando assim o ensaio de

índices físicos, ressaltando que as três mensurações foram feitas na mesma balança com precisão de 0,01 gramas.

**Figura 14 - Medição da Msec e Msat**



Fonte: O autor (2016).

Após a realização desse ensaio são obtidos a massa seca, massa saturada e massa submersa com esses dados será calculada a densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água. As fórmulas para obtenção desses valores estão mostradas no quadro 7, a seguir, sendo que serão expressos pela média aritmética dos resultados, respectivo desvio padrão e coeficiente de variação, como mostrado no Quadro 8.

**Quadro 7 - Fórmulas de densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água para granitos**

Densidade Aparente	Porosidade Aparente	Absorção de água
$\rho = \frac{M_{sec}}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 1000$	$\eta = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100$	$\alpha = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100$

Fonte: NBR 15845 (2015), adaptado.

**Quadro 8 - Fórmulas para expressão dos resultados**

Média Aritmética	Desvio padrão	Coeficiente de variação
$X' = \frac{\sum x}{n}$	$S = \sqrt{\frac{\sum (x - X')^2}{(n - 1)}}$	$\delta = \frac{S}{X'} \times 100$
Legenda: x representa os valores observados; n representa a quantidade de ensaios.		

Fonte: NBR 15845 (2015), adaptado.

O ensaio de flexão mede o módulo de ruptura do granito ensaiado. O mesmo consiste em colocar metade dos corpos de prova em uma bandeja e adicionar água destilada até metade da altura dos mesmos. E após oito horas finalizar a submersão dos corpos de prova, deixando os mesmos por mais 48 horas nessa condição. E a outra metade dos granitos é colocada em estufa por 48 horas. Após esse tempo os granitos são rompidos na prensa com dois roletes inferiores e um superior, por se tratar da ruptura em três pontos.

Nas Figuras 15 e 16 observa-se os corpos de prova que foram utilizados para ensaio de flexão na condição saturada. E para esse caso, a água destilada é fundamental para que o valor da resistência não seja alterado devido às substâncias presentes no líquido.

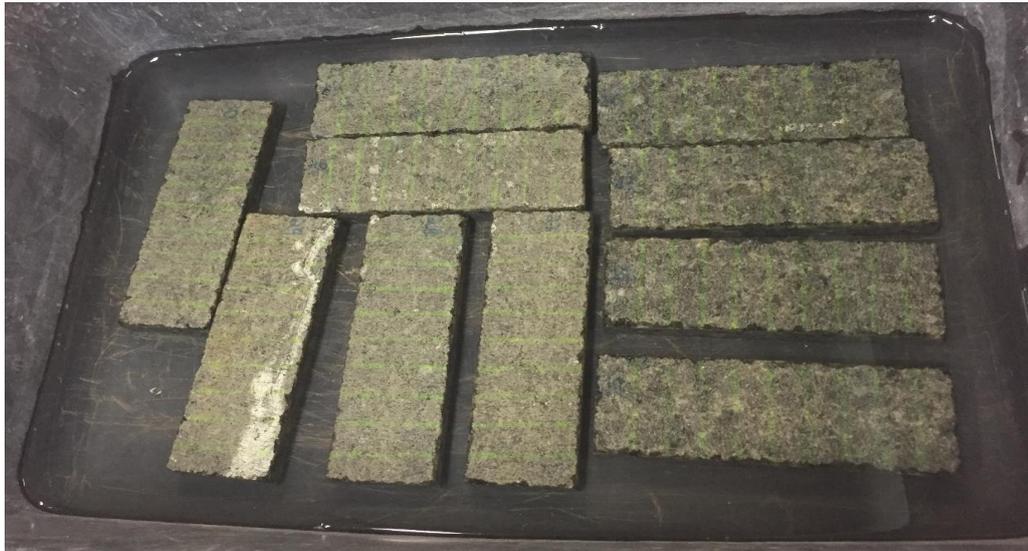
**Figura 15 - Corpos de prova para ensaio de flexão em três pontos com 1/2 de água destilada**



Fonte: O autor (2016).

Para o ensaio de flexão cabe a mesma ressalva do ensaio de índices físicos da importância da colocação da água nas etapas de forma que o granito possa absorver a água de forma natural, para então estar completamente submerso.

**Figura 16 - Corpos de prova para ensaio de flexão em três pontos submersos em água destilada**



Fonte: O autor (2016).

A Figura 17 ilustra os granitos no dessecador para resfriamento antes do rompimento e os corpos de prova em condição saturada foram apenas secos com pano úmido para realização do ensaio. Para o ensaio os corpos de prova foram colocados na prensa sob os roletes inferiores pela largura com a face acabada voltada para os mesmos. O rolete superior foi assentado sobre a linha média, e foi aplicada uma força de modo lento e progressivo, a uma taxa de carregamento de 4450 N/min até ocorrer à ruptura do granito. O ensaio é demonstrado na Figura 18, onde se percebe os roletes inferiores e superiores.

Ao retirar da estufa é importante a colocação dos granitos no dessecador para evitar que eles percam ou ganham umidade do ambiente enquanto resfriam. E o ensaio só é realizado após o resfriamento dos mesmos.

**Figura 17 - Corpos de prova no dessecador para resfriamento**



Fonte: O autor (2016).

Para romper os corpos de prova é essencial a análise do local da ruptura, por isso é importante que se observe a distância entre os roletes inferiores e que o rolete superior esteja localizado no centro do granito. Os granitos que romperem na região dos cutelos inferiores devem ser descartados para o cálculo da média aritmética.

**Figura 18 - Ensaio flexão em três pontos, prensa com roletes inferiores e superiores**



Fonte: O autor (2016).

Após serem rompidos, observa-se a maior força de flexão necessária para romper o corpo de prova e aplica a mesma na fórmula (1) a seguir. Ressaltando que deverão ser calculados a média aritmética, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos resultados, conforme o Quadro 7 supracitado.

$$\sigma = \frac{3xPxL}{2xbxd^2} \quad (1)$$

Onde:

P – Valor numérico da força de ruptura em quilonewtons (kN);

L – Valor numérico da distância entre os roletes inferiores em metros (m), segundo a norma deve ser  $\geq 5d$ ;

b – Valor numérico da largura do corpo de prova em metros (m);

d – Valor numérico da espessura do corpo de prova em metros (m).

## 5 RESULTADOS

Devido ao clima da cidade de Aracaju torna-se ainda mais importante a caracterização das pedras utilizadas em fachadas de forma a prevenir o surgimento de patologias.

As Tabelas de 4 a 6 a seguir mostram os resultados de massa específica (densidade aparente), porosidade e absorção aparente das marmorarias A, B e C respectivamente.

Os resultados da marmoraria A apesar de todos estarem em não conformidade com a norma, mostram que o granito que possuiu a maior massa específica, obteve também os menores índices de porosidade e absorção aparente. Demonstrando assim a relação de quanto menor a porosidade, menor a absorção de água. Além disso, o granito que possuiu maior porosidade também teve a maior absorção. Não foi possível fazer uma correlação com a massa específica, já que o maior valor gerou valores menores de porosidade e absorção e no caso de densidade aparente com valor próximo da média, verificou-se os maiores valores de porosidade e absorção. E, por fim, a massa específica com o menor valor gerou valores médios de porosidade e de absorção. Os resultados estão expressos na tabela 4.

Tabela 4 - Índices Físicos marmoraria A

PEDRA	M <sub>sub</sub> (g)	M <sub>sat</sub> (g)	M <sub>sec</sub> (g)	Densidade Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade Aparente (%)	Absorção Aparente (%)
1	139,99	221,01	220	2715,38	1,25	0,46
2	138,52	219,24	218,07	2701,56	<b>1,45</b>	<b>0,54</b>
3	134,91	214,08	213,05	<b>2691,04</b>	1,30	0,48
4	138,76	218,92	217,85	2717,69	1,33	0,49
5	134,96	213,87	212,81	2696,87	1,34	0,50
6	140,58	221,43	220,5	<b>2727,27</b>	<b>1,15</b>	<b>0,42</b>
7	136,97	216,34	215,26	2712,11	1,36	0,50
8	139,08	219,19	218,08	2722,26	1,39	0,51
9	138,75	219,22	218,21	2711,69	1,26	0,46
10	140,6	221,48	220,52	<b>2726,51</b>	<b>1,19</b>	<b>0,44</b>
<b>Limites normativos</b>	-	-	-	<b>Mín. 2550</b>	<b>Máx. 1</b>	<b>Máx. 0,4</b>

Fonte: O autor (2016).

Os resultados da marmoraria B também não estão em conformidade com a norma, e são semelhantes à marmoraria A, onde para a maior massa específica observa-se os menores valores de porosidade aparente a absorção, retificando mais uma vez a relação entre essas duas últimas propriedades. Porém, para um valor menor de densidade aparente também observou-se valores parecidos de porosidade e absorção, mais uma vez não sendo possível uma comparação com a massa específica. O menor valor da densidade ocorreu para valores altos de porosidade e absorção aparente, porém um valor mediano da massa específica se deu no corpo de prova que teve valores semelhantes de porosidade e absorção. Os valores podem ser vistos na tabela 5.

**Tabela 5 - Índices Físicos marmoraria B**

<b>PEDRA</b>	<b>M<sub>sub</sub> (g)</b>	<b>M<sub>sat</sub> (g)</b>	<b>M<sub>sec</sub> (g)</b>	<b>Densidade Aparente (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porosidade Aparente (%)</b>	<b>Absorção Aparente (%)</b>
11	143,3	225,97	224,84	<b>2719,73</b>	<b><u>1,37</u></b>	<b><u>0,50</u></b>
12	142,98	225,76	224,59	2713,09	1,41	0,52
13	129,21	205,79	204,59	2671,59	<b>1,57</b>	<b>0,59</b>
14	127,78	204,34	203,15	<b><u>2653,47</u></b>	1,55	<b>0,59</b>
15	127,98	204,38	203,35	2661,65	<b><u>1,35</u></b>	<b><u>0,51</u></b>
16	130,96	208,7	207,59	2670,31	1,43	0,53
17	128,85	204,93	203,84	2679,28	1,43	0,53
18	131,93	209,15	208,07	2694,51	1,40	0,52
19	127,54	203,89	202,83	2656,58	1,39	0,52
20	128,09	204,22	203,16	2668,59	1,39	0,52
<b>Limites normativos</b>	-	-	-	<b>Mín. 2550</b>	<b>Máx. 1</b>	<b>Máx. 0,4</b>

Fonte: O autor (2016).

Por fim, os resultados da marmoraria C trouxeram um corpo de prova com todas as propriedades em conformidade com a norma. No entanto uma massa específica semelhante ao esse mesmo granito obteve os maiores valores de porosidade aparente e absorção. E o menor valor de massa específica ocorreu no corpo de prova de valores baixos de porosidade e absorção de água. Nesse caso o corte da pedra pode ter sido uma influência, pois com o uso de equipamentos de corte alguns minerais presentes na rocha podem sofrer colapso. E como uma

amostra obteve características melhores, está possivelmente foi oriunda da parte mais externa da pedra, a qual é menos agredida pelos equipamentos. Conforme tabela 6.

**Tabela 6 - Índices Físicos marmoraria C**

<b>PEDRA</b>	<b>M<sub>sub</sub> (g)</b>	<b>M<sub>sat</sub> (g)</b>	<b>M<sub>sec</sub> (g)</b>	<b>Densidade Aparente (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porosidade Aparente (%)</b>	<b>Absorção Aparente (%)</b>
21	131,88	208,7	207,54	2701,64	<b>1,51</b>	<b>0,56</b>
22	128,7	203,6	202,49	2703,47	1,48	0,55
23	125,16	198,65	197,68	2689,89	1,32	0,49
24	128,29	203,75	202,86	<b><u>2688,31</u></b>	1,18	0,44
25	130,84	207	205,91	2703,65	1,43	0,53
26	127,18	201,61	200,72	2696,76	1,20	0,44
27	126,77	200,62	199,62	2703,05	1,35	0,50
28	128,85	204,5	203,5	2690,02	1,32	0,49
<b><u>29</u></b>	<b><u>127,67</u></b>	<b><u>201,93</u></b>	<b><u>201,12</u></b>	<b><u>2708,32</u></b>	<b><u>1,09</u></b>	<b><u>0,40</u></b>
30	126,09	200,05	198,96	2690,10	1,47	0,55
<b>Limites normativos</b>	-	-	-	<b>Mín. 2550</b>	<b>Máx. 1</b>	<b>Máx. 0,4</b>

Fonte: O autor (2016).

Pode-se sugerir que exista problema na petrografia dos granitos analisados, pois a massa da composição das rochas está presente em quantidade satisfatória em todos os casos, no entanto as partículas e minerais devem estar dispostos de maneira irregular, ou em quantidade inadequada. Em relação às fachadas, esse resultado é prejudicial, já que a água poderá infiltrar de forma mais ágil podendo gerar manchas na pedra e infiltrações na base da fachada. Além disso, o peso próprio das placas aumenta devido à alta absorção, o que pode prejudicar a estrutura de fixação das pedras e até mesmo a da edificação.

As Tabelas de 7 a 9 mostram a média aritmética, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos índices físicos do granito Verde Ubatuba, respectivamente, para cada uma das marmorarias analisadas.

Com a Tabela 7 é possível observar as médias dos valores acima analisados. Com isso percebe-se que os melhores resultados são da marmoraria A, pois a porosidade aparente e a absorção aparente são os menores valores, apesar de estarem em inconformidades com a norma. E a massa específica do granito da

marmoraria A foi a maior, apesar de tanto a marmoraria B quanto a C estarem conformes a norma nesse quesito. É possível analisar também que a marmoraria B obteve os piores resultados, para porosidade aparente, absorção e densidade aparente.

**Tabela 7 - Média Aritmética das amostras analisadas no ensaio de determinação dos índices físicos**

Propriedades	Marmoraria A	Marmoraria B	Marmoraria C
Densidade Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	2712,2384	2678,8813	2697,5217
Porosidade Aparente (%)	1,3014	1,4290	1,3359
Absorção Aparente (%)	0,4799	0,5335	0,4952

Fonte: O autor (2016).

Quanto menor o desvio padrão tem-se uma amostra mais homogênea, ou seja, com menor diferença entre os valores analisados. Com isso, analisando a tabela 8 é possível observar que a marmoraria B possui granitos mais heterogêneos em relação à massa específica, ou seja, a maior discrepância nessa propriedade dos seus granitos. Nos outros quesitos possui os menores valores. Já a marmoraria C possui o melhor desvio padrão entre as densidades aparentes e os piores para porosidade e absorção aparente. E a marmoraria A possui os valores medianos em relação as propriedades analisadas.

**Tabela 8 - Desvio padrão das amostras analisadas no ensaio de determinação dos índices físicos**

Propriedades	Marmoraria A	Marmoraria B	Marmoraria C
Densidade Aparente	12,3347	22,9873	7,3941
Porosidade Aparente	0,0922	0,0740	0,1433
Absorção Aparente	0,0351	0,0295	0,0530

Fonte: O autor (2016).

Por fim analisando a Tabela 9 observa-se mais uma vez que a marmoraria B possuiu os maiores valores para massa específica, a marmoraria C, o menor para essa mesma propriedade e a marmoraria A, os valores medianos para todas as

propriedades analisadas. Com isso pode-se concluir que o coeficiente de variação está semelhante ao desvio padrão.

**Tabela 9 - Coeficiente de variação das amostras analisadas no ensaio de determinação dos índices físicos**

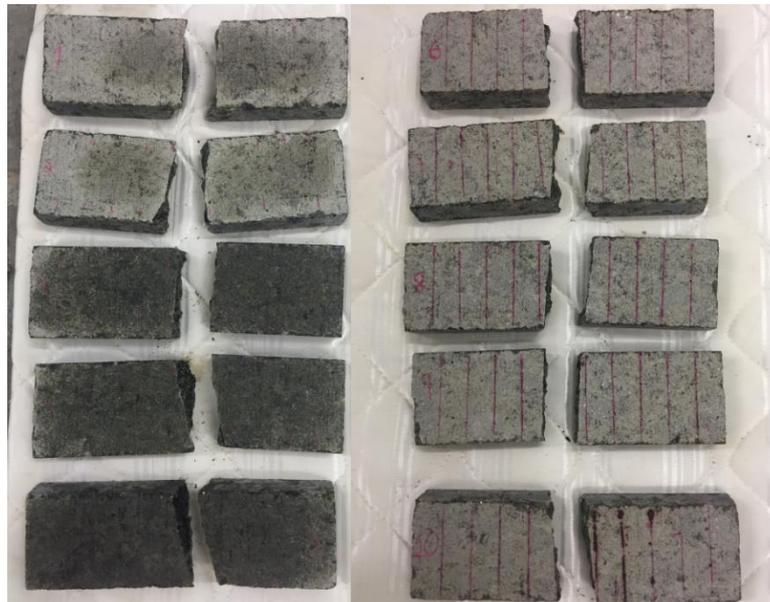
Propriedades	Marmoraria A	Marmoraria B	Marmoraria C
Densidade Aparente	0,4548	0,8581	0,2741
Porosidade Aparente	7,0836	5,1806	10,7250
Absorção Aparente	7,0836	5,5376	10,7051

Fonte: O autor (2016).

As Figuras 19 a 21 mostram os corpos de prova após serem rompidos, com a face marcada voltada para cima para que seja possível perceber o local onde as amostras foram rompidas.

A Figura 19 é referente à marmoraria A, nela verifica-se que boa parte dos granitos foram rompidos no centro da amostra. Nos granitos em condição seca (segunda coluna) observa-se uma linearidade na linha de corte. Em alguns casos houve deslocamento do corte, porém em nenhum deles foi verificado rompimento nas áreas dos cutelos inferiores. Já as pedras na condição saturada obtiveram uma maior modificação da linha de corte, sendo estas por vezes na diagonal e com pequenos afastamentos do centro de ruptura. No entanto, assim como os granitos rompidos na condição seca, nenhuma amostra foi rompida nas regiões críticas. Essas áreas são representadas pelas últimas linhas de cada extremidade.

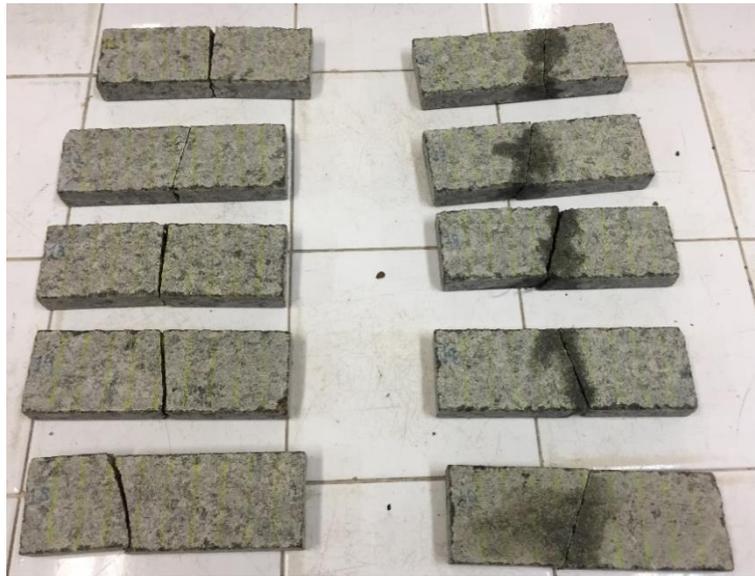
**Figura 19 - Granitos da marmoraria A após rompimento à flexão, condição saturada e seca**



Fonte: O autor (2016).

A Figura 20 é referente aos granitos rompidos da marmoraria B. Nessa amostra observa-se que os granitos foram rompidos de forma mais descentralizada que a marmoraria A, e a maioria na diagonal. Os granitos na condição seca, a primeira coluna, obtiveram uma menor disparidade na posição do rompimento em relação a condição saturada, apesar de uma amostra ser rompida de forma mais descentralizada. No entanto, nenhum granito rompeu-se na região dos cutelos inferiores.

**Figura 20 - Granitos da marmoraria B após rompimento à flexão, condição seca e saturada**



Fonte: O autor (2016).

A Figura 21 faz referência aos granitos rompidos na marmoraria C. Essa amostra foi a que houve maior disparidade na direção do corte, tanto na condição seca quanto saturada, ainda assim obteve-se granito com plano de corte centralizado. As amostras na condição seca, primeira coluna, na maioria dos casos foram rompidas no centro de forma linear, porém uma das amostras foi rompida muito próxima da região dos cutelos inferiores. Os granitos na condição saturada obtiveram o plano de corte na diagonal com um dos granitos próximo à região dos cutelos inferiores. Como nenhuma das amostras foi rompida além da região crítica elas não foram descartadas para o cálculo.

**Figura 21 - Granitos da marmoraria C após rompimento à flexão**



Fonte: O autor (2016).

Após a análise das três amostras é possível perceber que a marmoraria A possuiu uma maior linearidade no corte e a marmoraria C possui um corpo de prova com plano de corte próximo a região crítica, porém anterior a mesma. Devido a isso este granito não foi removido dos cálculos.

As Tabelas 10 e 11 mostram os resultados das tensões de flexão dos granitos ensaiados em condição seca.

Na Tabela 10 foi utilizada a fórmula (1). Com essa é notado que a marmoraria A possuiu os granitos com maiores resistências a flexão obtendo todos eles resistência conforme a norma, e um deles superior a média para granito Verde Ubatuba. As marmorarias B e C possuem todos os granitos em inconformidade com a norma. A marmoraria B possui um granito com valor de resistência elevado em relação aos outros e com valor bem próximo ao mínimo exigido. E a marmoraria C possui os granitos com menores resistências, porém um granito com maior resistência comparando com a marmoraria B e outro com resistência semelhante à mesma marmoraria.

**Tabela 10 - Tensão de flexão dos granitos na condição seca em MPa**

<b>Corpo de prova</b>	<b>Marmoraria A</b>	<b>Marmoraria B</b>	<b>Marmoraria C</b>
1	10,95818182	9,731577	5,923531506
2	10,74340909	7,404628	5,712068352
3	10,31386364	6,769811	<b><u>5,712068352</u></b>
4	<b>11,60293388</b>	6,134995	6,13499466
5	10,52863636	6,558348	9,308651
<b>Limite normativo</b>	<b>Mín. 10</b>		

Fonte: O autor (2016)

A Tabela 11 mostra a média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação das amostras analisadas. Utilizando a média aritmética apenas os granitos da marmoraria A estariam em conformidade com a norma para a resistência mínima à flexão, mesmo estando abaixo da média para o granito Verde Ubatuba. As marmorarias B e C ambas possuem resistências à flexão bem mais baixas. O desvio-padrão das amostras demonstra a disparidade entre os valores encontrados e nesse caso mais uma vez a marmoraria A obteve a menor disparidade, seguida da marmoraria B e C. E para o coeficiente de variação seguiu-se a mesma ordem do desvio-padrão. A marmoraria B e C apresentam valores próximos em todos os quesitos.

**Tabela 11 - Média aritmética, desvio-padrão e coeficiente de variação granitos à flexão condição seca**

<b>Resultado</b>	<b>Marmoraria A</b>	<b>Marmoraria B</b>	<b>Marmoraria C</b>
Média Aritmética	10,82940496	7,319871841	6,558262727
Desvio- Padrão	0,494613579	1,423896463	1,5474789
Coeficiente de Variação	9,134640009	19,45247805	23,59586623

Fonte: O autor (2016)

As Tabelas 12 e 13 informam os resultados da resistência à flexão dos granitos na condição saturada.

Na Tabela 12 assim como na tabela 10 utilizou-se a fórmula (1) para obter os resultados. Com isso é possível analisar que a marmoraria A possui uma amostra condizente com a norma NBR 15844:2015 e todas as outras não conformes. A marmoraria C possui um granito com a menor resistência de todos, e a marmoraria B possui resistências bem baixas nessa condição.

**Tabela 12 - Tensão de flexão dos granitos na condição saturada em MPa**

<b>Corpo de prova</b>	<b>Marmoraria A</b>	<b>Marmoraria B</b>	<b>Marmoraria C</b>
1	5,371921488	5,923532	6,346885012
2	<b>11,48491736</b>	5,923532	6,346885012
3	8,380041322	5,289142	<b><u>5,077251691</u></b>
4	7,305743802	5,712068	6,769811321
5	7,950061983	7,193165	6,558348167
<b>Limite normativo</b>	<b>Mín. 10</b>		

Fonte: O autor (2016)

A Tabela 13 mostra a média aritmética, o desvio-padrão e o coeficiente de variação dos granitos analisados na condição saturada. Nela é observável que todos os granitos estão em inconformidade com a norma para resistência mínima exigida. A marmoraria A possui a resistência maior, porém o maior desvio-padrão e coeficiente de variação também, ou seja, ela possui a maior disparidade entre os valores encontrados, o que é possível verificar analisando também a tabela 12. A marmoraria C possui a menor disparidade entre os seus valores, e uma resistência à flexão média em relação às outras duas marmorarias. Além disso observa-se uma diferença grande entre a condição seca e saturada, principalmente da marmoraria A o que pode ser devido a absorção e porosidade altas o que reduz a resistência à flexão na condição saturada.

**Tabela 13 - Média aritmética, desvio-padrão e coeficiente de variação granitos à flexão condição saturada**

<b>Resultado</b>	<b>Marmoraria A</b>	<b>Marmoraria B</b>	<b>Marmoraria C</b>
Média Aritmética	8,09853719	6,008287647	6,219836241
Desvio-Padrão	2,215390182	0,711199235	0,662352842
Coeficiente de Variação	27,3554363	11,83697048	10,64903988

Fonte: O autor (2016).

Após analisar os granitos na condição seca e saturada é possível verificar que para a condição seca os mesmos são mais resistentes à flexão. Esse fato já era esperado e mostra a fragilidade que absorção de água pode trazer a pedra. No caso do uso em fachadas, demonstra que em regiões mais úmidas, como Aracaju, as

pedras podem ser mais frágeis com a ação dos ventos. Nesse caso a espessura pode ter influência nos resultados.

Nos Apêndices A, B e C estão as curvas de deformação por força geradas após os ensaios de flexão das marmorarias A, B e C, respectivamente, para uma análise completa dos resultados. Nelas é possível verificar o momento que o granito sofre a ruptura, ou seja, onde ocorre a maior tensão de flexão. As curvas estão dispostas em ordem de ensaio sendo a primeira coluna na condição seca e na segunda na condição saturada.

## 6 CONCLUSÃO

Na cidade de Aracaju, diversos são os granitos que podem ser utilizados para o uso em fachadas. Porém é necessário avaliar os requisitos técnicos do mesmo a fim de garantir não apenas o conforto visual. Com esse propósito o granito Verde Ubatuba vendido na cidade foi ensaiado para conhecimento da massa específica, porosidade aparente, absorção aparente e resistência à flexão em três pontos. Após os testes foi verificado que no geral o granito não está conforme os requisitos mínimos exigidos pela NBR 15844:2015.

O clima de Aracaju é quente e úmido com forte ação de ventos provenientes da região marítima. Com isso as fachadas dos prédios residenciais da cidade ficam expostas a alta agressividade do meio ambiente necessitando assim de materiais com baixa capacidade de absorver água, além de resistentes aos ventos. Então, em relação aos ensaios realizados, o granito Verde Ubatuba, comercializado em Aracaju, não deveria ser indicado para a utilização em fachadas na cidade. Pois apesar de obter massa específica necessária, o mesmo possui alta porosidade e absorção além de baixa resistência na condição saturada, o que pode ser explicado pela petrografia com falta de alguns minerais ou em quantidades modificadas. Com isso a durabilidade das pedras é reduzida, já que a presença de água pode causar manchas na rocha além de transportar algumas partículas da mesma tornando-a mais frágil. E devido aos fortes ventos existentes na cidade as placas de granito podem sofrer ruptura de forma mais rápida do que o esperado. Com isso a aplicação desses granitos só deve ser feita com uso de impermeabilizantes ou um estudo mais completo sobre as suas propriedades.

Ainda em relação ao granito Verde Ubatuba, comercializado em Aracaju, observou-se que apenas algumas amostras de cada lote poderiam ser utilizadas. Em se tratando da porosidade e absorção aparente os valores encontrados não foram satisfatórios em nenhuma das análises feitas, exceto em uma amostra da marmoraria C. Analisando a massa específica e a resistência à flexão, a marmoraria A possui os melhores granitos, ainda que alguns não conformes com a norma, pois quanto maior a resistência à flexão, maior será a qualidade da pedra. Os granitos da marmoraria B não foram conformes em nenhum requisito da norma. E a marmoraria C além da amostra citada não obteve nenhuma outra que fosse conforme as exigências da norma. Além desses ensaios deve-se fazer uma análise da petrografia

do granito para ter conhecimento das partículas presentes no mesmo, verificando assim melhor o problema que gerou esses resultados. E ainda uma análise detalhada sobre a jazida aonde é retirado o granito comercializado em Aracaju, pois com isso é possível observar como é feito o corte e beneficiamento da pedra.

Por fim, as pedras comercializadas em Aracaju devem ser verificadas quanto aos requisitos técnicos, de modo a permitir que os clientes tenham como reconhecer a qualidade das pedras adquiridas, para enfim obter uma maior durabilidade. E que para o uso da pedra natural na cidade é sugerido para trabalhos futuros um estudo completo sobre as propriedades da mesma e uma análise mais rigorosa sobre as marmorarias e jazidas que estão servindo a cidade. Além disso verificar até que ponto se está fazendo o controle das pedras naturais tanto na fixação quanto recepção em canteiros.

## REFERÊNCIAS

- ADAM, E.R. **Os Mármoreos da Região do Tigre-PR: Características Geológicas e Tecnológicas**. Curitiba, Paraná, 2004.
- AMARAL, J.J.F. **Como Fazer uma Pesquisa Bibliográfica**. Fortaleza, Paraná, 2007.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Disponível em: <http://www.astm.org>. Acessado em 23 de novembro de 2004.
- \_\_\_\_\_. ASTM C 97 (2002): **Norma para método de teste para absorção e peso específico de rochas ornamentais**. Filadélfia, USA.
- \_\_\_\_\_. ASTM C 99 (2000): **Norma de método de teste para modulo de ruptura de rochas ornamentais**. Filadélfia, USA.
- \_\_\_\_\_. ASTM C 99 (2000): **Norma de método de teste para modulo de ruptura de rochas ornamentais**. Filadélfia, USA.
- \_\_\_\_\_. ASTM C 170 (1999): **Norma para método de teste de resistência a corrosão de rochas ornamentais**. Filadélfia, USA.
- \_\_\_\_\_. ASTM C 615 (2003): **Norma para especificação de granitos**. Filadélfia, USA.
- \_\_\_\_\_. ASTM C 880 (1998): **Norma para método de teste para resistência a flexão de rochas ornamentais**. Filadélfia, USA.
- \_\_\_\_\_. ASTM C 1352 (2004): **Norma de método de teste para modulo de ruptura de rochas ornamentais**. Filadélfia, USA.
- \_\_\_\_\_. ASTM D 2845 (2008): **Norma de método de teste para determinação da velocidade de pulso e constante ultrassônica elastic de rochas**. Filadélfia, USA.
- \_\_\_\_\_. ASTM D 3148 (2002): **Norma para método de teste para determinação do modulo de elasticidade**. Filadélfia, USA.
- ANTAS, A. **Pedra Natural em Fachadas – Real Granito**. Torgueda, Portugal. 2014.
- ANTUNES, J.R., LANZER, R.M. **A Pedra Basalto Como Recurso Turístico: Análise Das Potencialidades Na Região Uva E Vinho**. Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. 2004.
- ASSIS, L. E. A. de. **Análise de patologia em revestimento de fachada com placas de granito branco caravelas**. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2012
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Disponível em: <http://www.abnt.org.br>. Acessado em 12 de fevereiro de 2004.
- \_\_\_\_\_. NBR 6123 (1988): **Forças devido ao vento em edificações**. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. NBR 12042 (2012): **Determinação do desgaste por abrasão**. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. NBR 12764 (1992): **Determinação da resistência ao impacto por corpo duro**. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. NBR 12765 (1992): **Determinação da dilatação térmica linear**. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. NBR 12766 (1992): **Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente**. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. NBR 12767(1992): **Determinação da resistência à compressão uniaxial**. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. NBR 12769 (1992): **Ensaio de congelamento e degelo conjugado à resistência à compressão**. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. NBR 15844(2015): **Rochas para revestimento – Requisitos para granito**. Rio de Janeiro

\_\_\_\_\_. NBR 15845(2015): **Rochas para revestimento – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro

\_\_\_\_\_. NBR 15846 (2010): **Rochas para revestimento – Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos**. Rio de Janeiro

BARROS, L. A. **As patologias das rochas ornamentais**. *Revista de Geologia*, Fortaleza, v.10, p 53-63, jan. 1997.

BASTOS, M. P.; MARQUE, E. A. G.; SOSSAI, F. J. M. **Caracterização de Granitos Utilizados na Construção Civil**. In: II Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos. Nova Friburgo, Rio de Janeiro. 2006.

CAMPOS, K. F. **Desenvolvimento de Sistema de Fixação de Fachada Ventilada com Porcelanato de Fina Espessura**. Dissertação. Florianópolis, Santa Catarina. 2011.

CAMPOSINHOS, R. S. **Revestimentos em Pedra Natural com Fixação Mecânica**. Tese. Lisboa, Portugal. 2009.

CAUSS, L.W. **Sistema de Fachada Ventilada em Edificações: Características, Métodos Executivos e Aplicações**. Florianópolis, Santa Catarina. 2014.

CHIODI FILHO, C. et al. **Panorama Sobre o Mercado Nacional e Internacional de Rochas Ornamentais**. Cuiabá, Mato Grosso. 1995.

CHIODI FILHO, Cid. **Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento no primeiro semestre de 2004**. *Pedras do Brasil*

*Pedras do Brasil*. Rede de Opinião de Comunicação e Editora Ltda. Vitória, Espírito Santo: Nr. 29 – Ano III–Agosto de 2004, p.50-61. 2004 a.

CHIODI, Cid. **Geólogo e consultor da Associação Brasileira das Indústrias de Rochas Ornamentais (Abirochas)**. cdchiodi@terra.com.br. Consulta direta em 9 de setembro de 2004 b.

COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO (CEN). Fonte: <http://www.cenorm.be>. Acessado em: 20 de dezembro de 2003.

\_\_\_\_\_.EN 1469 (2004): **Produtos de Pedra Natural – Requisitos para Revestimentos em Lajes**. Europa.

\_\_\_\_\_.EN 1926 (2006): **Método de teste para rochas naturais – Determinação da resistência a compressão uniaxial**. Europa.

\_\_\_\_\_.EN 1936 (1999): **Método de teste para rochas naturais – Determinação da densidade real e aparente e da porosidade total e aberta**. Europa.

\_\_\_\_\_.EN 12372 (2002): **Método de teste para rochas naturais – Determinação da resistência a flexão sobre cargas concentradas**. Europa.

\_\_\_\_\_.EN 12407 (2007): **Método de teste para rochas naturais – Análise petrográfica**. Europa.

\_\_\_\_\_.EN 13161 (2002): **Método de teste para rochas naturais – Determinação da resistência a flexão sobre momento constante**. Europa.

\_\_\_\_\_.EN 13755 (2003): **Método de teste para rochas naturais – Determinação da absorção de água sobre pressão atmosférica**. Europa.

\_\_\_\_\_.EN 14157 (2004): **Método de teste para rochas naturais – Determinação da resistência a abrasão**. Europa.

\_\_\_\_\_.EN 14158 (2004): **Método de teste para rochas naturais – Determinação da energia de ruptura**. Europa.

\_\_\_\_\_.EN 14581 (2004): **Método de teste para rochas naturais – Determinação do coeficiente de expansão térmica linear**. Europa.

CONSTRULINK. **Dossier Técnico e Económico – Fachadas Ventiladas**. Ficha Técnica, 2006.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN). Disponível em <http://www.din.de>. Acessado em: 15 de março de 2004.

\_\_\_\_\_.DIN 18516-3 (1990): **Cladding for external walls, ventilated at rear - Part 3: Natural stone; requirements, design**. Berlin.

DUARTE, M.C.A.O. **Caraterísticas físico-mecânicas de rochas ornamentais portuguesas**. Relatório de Estágio – Licenciatura em Engenharia Geológica. Universidade Nova de Lisboa. 2003. 54p.

- DUTRA, Miguel R. **Caracterização de revestimentos em fachadas ventiladas – Análise do comportamento**. Dissertação. Lisboa – Portugal, 2010.
- ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE. UNI 11018: **Revestimentos e sistemas de ancoragem para fachadas ventiladas em montagem mecânica - Instruções para o projeto, execução e manutenção de pedra e revestimentos cerâmicos**. Itália, 2003.
- FERREIRA, D.F.P. **Inovação Nas Empresas De Construção Aplicação na Indústria de Mármore**s. Porto, Portugal, 2008.
- FIORITO, J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos: Estudos e Procedimentos de execução**. São Paulo, São Paulo. 1994
- FLAIN, E. P. **Tecnologia Produção de Revestimentos de Fachadas de Edifícios com Placas Pétreas**. Dissertação mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo. 1995.
- FRASCÁ, M. H. B. O. **Rochas Ornamentais e para Revestimento: Variedades, Propriedades, Usos e Conservação**. In: **A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no estado de São Paulo – Capítulo 7**. IPT. São Paulo, p.153-191. 2004.
- Frazão, E. B. **Tecnologia de Rochas na Construção Civil**. São Paulo, São Paulo, 2002.
- FRAZÃO, E. B.; FARJALLAT, J. E. S. **Características Tecnológicas das Principais Rochas Silicáticas Brasileiras Usadas como pedra de Revestimento**. I Congresso Internacional da Pedra Natural. Lisboa, Portugal. 1995.
- GIACONI, W.J. **Perfil Atual da Indústria de Rochas Ornamentais no Município de Cachoeiro de Itapemirim (Es)**. Campinas, São Paulo. 1998.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- GRIPP, R. A. **A Importância do Projeto de Revestimento de Fachada, para Redução de Patologias**. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2008.
- GUIMARÃES, E. T. **Soluções de Fachadas Duplas Ventiladas para Revestimentos Externos de Edifícios**. Monografia. São Paulo, São Paulo. 2013.
- IEL. **Rochas Ornamentais**. Cachoeiro do Itapemirim, Espírito Santo. 2013.
- JUNIOR, C A. M. de O. **Recomendações para Projeto e Execução de Revestimento de Fachadas com Placas Pétreas**. Monografia. São Paulo, São Paulo. 2005
- JUNIOR, L.A.M. **Panorama da Indústria de Rochas Ornamentais e Oportunidades para o Ceará**. Campinas, São Paulo. 1991.
- LIMA, J.J.C. **Estudo da dilatação térmica de rochas usadas em revestimentos de edificações**. São Carlos, São Paulo. 2002.

- LOMBARDERO, M., REGUEIRO, M. **Spanish natural stone: cladding the world. Industrial Minerals**, London, n.300, p.81-97, Sept.. 1992.
- MAIA, J. I. dos S. **Avaliação do Ciclo de Vida de Soluções de Reabilitação Energética de Fachadas**. Dissertação. Porto, Portugal. 2013.
- MARANHÃO, F. L.; BARROS, M. M. S. B. de. **Causas de patologias e recomendações para a produção de revestimentos aderentes com placas de rochas**. Boletim Técnico. São Paulo, São Paulo. 2006.
- MENDES, F. M. V. P. **Durabilidade das fachadas ventiladas - Aplicação da norma ISO 15686-1**. Dissertação. Porto, Portugal, 2009.
- MENDES, V.A.; Vidal, F.W.H. **Controle de qualidade no emprego das rochas ornamentais na construção civil**. In: III Simpósio sobre Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais Recife, PE. 2002.
- MOREIRAS, S.T.F. **Estudo Sobre o Revestimento de Fachadas de Edifícios Altos com Placas de Granitos Ornamentais**. São Carlos, São Paulo, 2005.
- MOREIRAS, S.T.F., PARAGUASSÚ, A.B. **Viabilidade do Uso de Placas de Granito como Lajes em Edificações**. São Carlos, São Paulo, 2012.
- MOYA, M.M. **A Indústria de Rochas Ornamentais: Estudo de caso na região de Bragança Paulista**, Sp. Campinas, São Paulo. 1995.
- NOGAMI, L. **Investigação da Influência das Características Petrográficas e da Rugosidade de placas de “granitos e mármore” fixadas com argamassas**. São Carlos, São Paulo. 2013.
- OLIVEIRA, P. F. S. C. **Metodologia de manutenção de edifícios – Fachada ventilada**. Dissertação de mestrado. Faculdade de engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal. 2011.
- PATTON, W.J. **Materiais de Construção para a Engenharia Civil**. São Paulo, Universidade de São Paulo. 1978. 366 p.
- PEITER, C.C. *et al.* **Rochas Ornamentais no século XXI: bases de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras**. Rio de Janeiro: Cetem/Abirochas. 150p, 2001.
- PIRES, D. A. da C.; PINTO, J. E. S.a de S. **Clima Urbano: uma análise das alterações provocadas pela verticalização e modelação urbana na cidade de Aracaju/SE**. Aracaju, Sergipe. 2012.
- POLISSENI, A. E. **Método de Campo para Avaliar a Capacidade Impermeabilizante de Revestimentos de Parede**. Dissertação mestrado. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1986.
- REGADAS, I.C,M,C. **Aspectos Relacionados as Lavras de Granitos Ornamentais com Fio Diamantado no Norte do Estado do Espírito Santo**, Brasil. São Carlos, São Paulo. 2006.

SAAR, L. C.; GODOY, A. M.; BOLONINI, T. M. **Considerações sobre os Granitos Giallo São Francisco Real, Branco Dallas e Branco Marfim, no Município de Barra de São Francisco – Es. Para Aplicação como Rocha Ornamental e de Revestimento.** São Paulo, São Paulo. 2015.

SELMO, S. M. de S. **Prevenção de Patologia em Revestimentos Externos de Argamassa dos Edifícios; a Importância dos Serviços de Manutenção.** In: Simpósio Sobre Patologia das Edificações, Prevenção e recuperação. Anais. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 1989

SILVEIRA, L. L. L da. **Polimento de Rochas Ornamentais: Em Enfoque Tribológico ao Processo.** São Carlos, São Paulo, 2007

SIQUEIRA JÚNIOR, A. A. de. **Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês porcelanato.** Dissertação de mestrado. São Paulo, 2003.

SOSSAI, F.J.M. **Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais.** Viçosa, Minas Gerais, 2006.

SOUSA, F. M. F. - **Fachadas ventiladas em edifícios – Tipificação de soluções e interpretação do funcionamento conjunto suporte/acabamento.** Dissertação de mestrado - Faculdade de engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2010.

SOUSA, H; FARIA, J. A.; SOUSA, R. **Anomalias Associadas ao Revestimento de Fachadas Exteriores com Placas de Pedra Natural: Alguns casos de estudo.** 2º Simpósio Internacional do CIB/W86. Lisboa, Portugal. 2003

SOUZA, N. R. **Análise Comparativa entre os Revestimentos Externos de Fachada Ventilada e Corian DuPont.** Monografia. São Paulo, São Paulo. 2016.

SPÍNOLA, V., GUERREIRO, L.F., BAZAN, R. **A Indústria de Rochas Ornamentais. Desenharia,** Estudo de Mercado 02/04. 2004.

STELLIN, M.R.M. **Contribuição a Escolha de Mármore e Granitos numa Intervenção Arquitetônica.** São Paulo, São Paulo. 2007.

TÉCHNE REVISTA. **Fachadas Respirantes.** Edição 144, 2009.

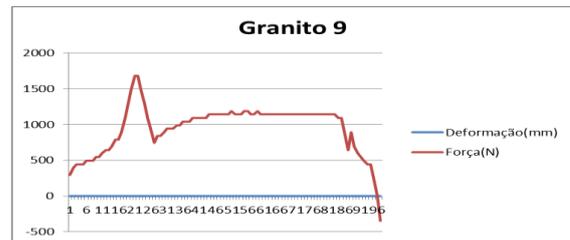
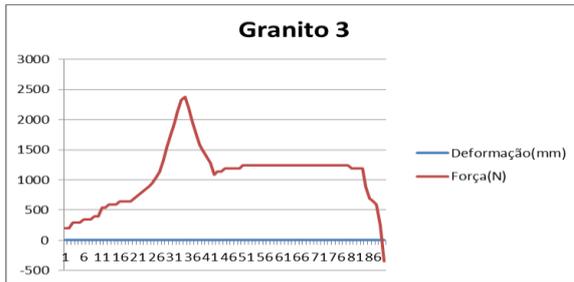
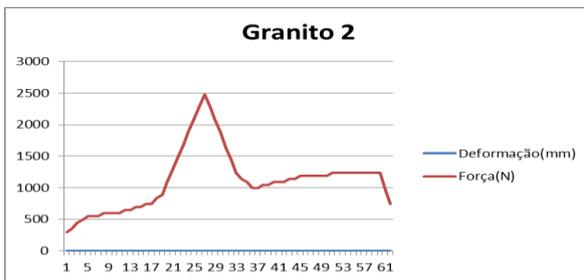
Tugrul, A., and Zarif, I. H.(1999) **Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of Selected Granitic Rocks from Turkey.** Eng. Geol. 51, 303–317.

TYRRELL, G.W. **The Principles of Petrology.** Londres: Methun & Co. Ltd., 1956. 349p.

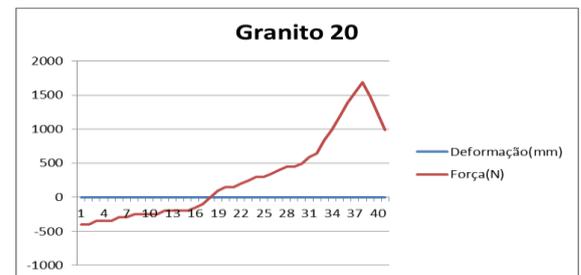
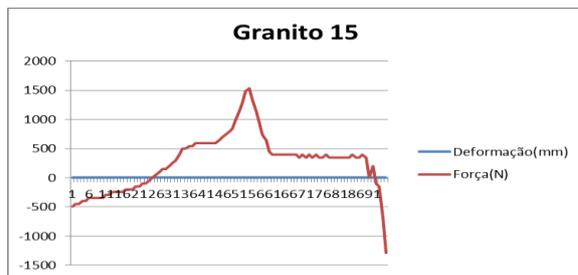
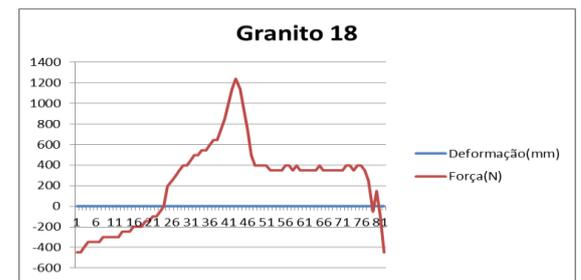
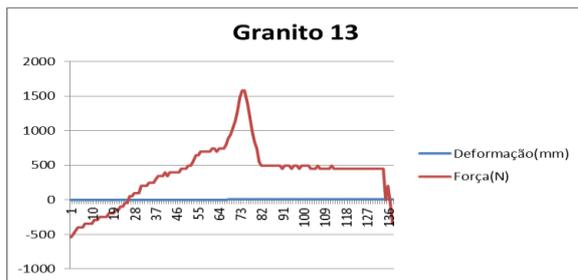
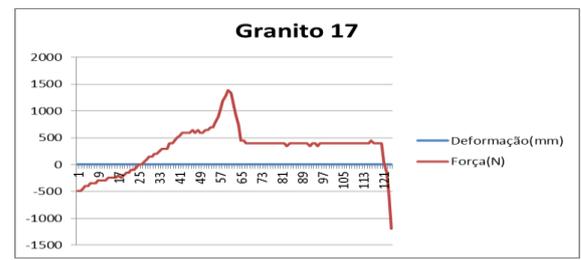
VIDAL, F.W.H. **A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceara.** Dissertação de Mestrado em Engenharia mineral, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

WILLIAMS, H.; TURNER, F.J.;GILBERT, C.M. **Petrografia.** São Paulo: Editora Poligono, 1976. 441p.

## APÊNDICE A – CURVAS DE FLEXÃO DA MARMORARIA A



## APÊNDICE B – CURVAS DE FLEXÃO DA MARMORARIA B



## APÊNDICE C – CURVAS DE FLEXÃO DA MARMORARIA C

