

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Giovana Bernini Fioretti

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE ROCHA NO MANCHAMENTO
FRENTE À UMIDADE DE REVESTIMENTOS PÉTREOS**

Porto Alegre
julho 2007

GIOVANA BERNINI FIORETTI

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE ROCHA NO MANCHAMENTO
FRENTE À UMIDADE DE REVESTIMENTOS PÉTREOS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Angela Borges Masuero

Porto Alegre
julho 2007

GIOVANA BERNINI FIORETTI

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE ROCHA NO MANCHAMENTO
FRENTE À UMIDADE DE REVESTIMENTOS PÉTREOS**

Porto Alegre, julho de 2007.

Prof. Angela Borges Masuero
Orientadora

Prof. Inácio Benvegno Morsh
Chefe do DECIV

BANCA EXAMINADORA

Eng. Jonatas Testa
Eng.pela PUC/RS, Pós Graduado pela Universidade de Padova - Itália

Eng. Lucília Bernadino da Silva
Mestre pelo NORIE / UFRGS

Prof. Ana Luiza Raabe Abitante
Dr. pelo PPGEM / UFRGS

“Ó profundidade da riqueza da sabedoria e do conhecimento de Deus! Quão insondáveis são os seus juízos inescrutáveis os seus caminhos! Quem conheceu a mente do Senhor? Ou quem foi seu conselheiro? Quem primeiro lhe deu para que ele o recompense? Pois dele, por ele e para ele são todas as coisas. A ele seja a glória para sempre! Amém.”

Rm 11:33-36
Bíblia Sagrada,
Nova Versão Internacional, 2000

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Roberto e Lea,
meus queridos irmãos Giordana e Giácomo
e ao meu amor , Joel.

AGRADECIMENTOS

Agradeço do fundo de meu coração a meu bom DEUS, autor de minha vida, meu socorro e fortaleza nas horas difíceis, meu maior tesouro. Muitas vezes O busquei nas horas de angústia a procura de paz, sabedoria e força. Ele se inclinou para mim, ouviu meu clamor, renovou minhas forças, me deu sabedoria, paz e me cobriu com Seu imensurável amor. Muito obrigado Senhor!

O caminho foi árduo, mas em todos os meus passos pude contar com o carinho, a compreensão e total apoio de meus amados pais. Roberto, meu querido pai e maior amigo, tu és um exemplo de profissional, pai, amigo e servo de Deus. Com você aprendi a conhecer e amar rochas ornamentais. Teu incentivo e suporte foram fundamentais nesta conquista. Lea, minha querida mãe, maior amiga, exemplo de mulher cristã e serva do Senhor. Tua dedicação e carinho possibilitaram esta vitória. Agradeço aos meus pais por todo o apoio e compreensão que tiveram quando eu mais precisei. Vocês são uma benção em minha vida.

Aos meus queridos irmãos, Giordana e Giácomo, pela compreensão e auxílio em todos os momentos. Valeu!

Ao meu amor, Joel, por todo o seu amor, paciência, pelo empurrão e conforto nas horas difíceis. Ti amo!

A minha querida vó, Lily, por suas incontáveis orações. Aos meus avós, Sérgio, Carlos e Leontina, que acreditaram em mim desde o princípio e hoje estão alegres na presença do Pai.

Aos meus queridos amigos que são a expressão do amor de Deus na minha vida.

A minha orientadora Ângela, que encarou este desafio comigo. Eu sabia onde queria chegar, você me fez acreditar que eu podia.

A professora Carin. Tuas contribuições foram fundamentais, me fizeram encher mais além.

Ao Rodrigo, e ao laboratório LASID, que me receberam com carinho, disponibilizaram equipamentos e dividiram conhecimentos. Obrigada pelo apoio, parceria e amizade.

Ao profissional Nelson, que me ajudou em todo o tempo.

Ao NORIE que sempre me acolheu de braços abertos.

RESUMO

FIORETTI, G. B. **Influência do tipo de rocha no manchamento frente à umidade de revestimentos pétreos.** 2007. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Uma das principais manifestações patológicas em revestimentos pétreos é o manchamento por umidade. Essas manchas em placas de granito, rocha de referência em revestimento de fachada, são normalmente associadas com sua absorção aparente de água. Todavia, observam-se placas assentadas de baixa absorção que se encontram extremamente manchadas. Em contrapartida, granitos cuja absorção é alta, visualmente não apresentam manchas. Como o granito é um revestimento que confere alto padrão de acabamento ao empreendimento, convém investigar as causas desta manifestação patológica para que se possa minimizá-la sem prejuízo de sua utilização. Este trabalho tem por objetivo a análise da influência das características físico-químicas das rochas no manchamento frente à umidade de revestimentos pétreos, servindo este critério como subsídio para a recomendação de uso. Primeiramente, realizou-se um estudo exploratório para identificar os granitos mais utilizados na região de Porto Alegre, através de entrevistas direcionadas aos principais fornecedores de revestimentos pétreos que atuam na região. Na segunda parte do trabalho, foram executadas cinco etapas de acabamento superficial na rocha (desbaste, acabamento, 1º polimento, 2º polimento e lustro). Na terceira parte do trabalho avaliou-se a influência do contraste de cor no aspecto da mancha em rochas ornamentais, através da utilização de um aparelho que quantifica a reflexão da luz nas rochas quando no estado seco e no úmido (espectrofotômetro). Durante a realização dos ensaios, tomou-se o cuidado de executá-los sob mesma quantidade de luz ambiente, mantendo a distância entre a rocha e o aparelho constante. Com esta avaliação classificou-se as rochas para revestimento quanto ao seu contraste no estado seco e no estado úmido. As rochas amareladas e cinzas apresentaram um contraste de cor muito grande em comparação as demais rochas estudadas.

Palavras-chave: patologia, revestimentos, placas de rocha, granitos, manchas de umidade, manifestação patológica.

ABSTRACT

FIORETTI, G. B. The influence of the type of the rock in the water staining of stone facing. 2007. Graduate Degree of Civil Engineering – Civil Engineering department, UFRGS, Porto Alegre.

The point of this work is to analyse the type of the rock influences in the water staining of stone facing, this criterion serving as subsidy for use recommendation. One of the most important pathology manifestation on stone is water staining. This staining on granite facing, reference stone on facing building, is commonly associate with water apparent absorption. However, installed slabs with low water absorption are observed extremely staining. In contrast, some high absorption granites visually don't show staining. Granite is a facing that brings high level for the undertaking, so it's impotant to investigate the reason of this pathology to avoid it or to reduce the pathology without creating damage in the use of this sistem. First of all an exploration study was made for identify the most used granites on the Porto Alegre area, through interviews with the principaly stone supplier of the area. In the second part of this work, five types of superficial finiture were made on the providers selected samples. The third part of this graduate work is the analyse of the influence of the color contrast in the water staining using the spectrophotometer, that measure light's refletion on the rock surfaces when they are dry and when they are wet. During the tests, the realization was controled with the same background light and the same distance between stone and the spectrophotometer. This study has qualified the stones facing in according with its color contrast when they are dry and wet.

Keywords: pathology, facing, stones slabs, granite, water staining, pathology manifestation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Colosseo – Roma, Itália	14
Figura 2: casa de pedra – Bento Gonçalves, Brasil	14
Figura 3: obra de Paulo Aguinsky: Itapuã 2001 – São Borja, Brasil	15
Figura 4: obra de Michelangelo: Davi – Florença, Itália	15
Figura 5: pia de cozinha revestida em Granito Verde Ubatuba	15
Figura 6: lareira revestida em Granito Verniz Tropical.....	15
Figura 7: ed. Diamond Tower, revestido com Granito Branco Cotton – São Paulo, Brasil.....	16
Figura 8: ed. Berrini, revestido com Granito Amarelo Gegregê e Granito Branco Romano – São Paulo.....	16
Figura 9: fachada revestida com Granito Branco Himalaia – Porto Alegre, RS.....	17
Figura 10: fachada revestida em granito cinza andorinha – Porto Alegre, RS.....	17
Figura 11: Granito Branco Dallas.....	17
Figura 12: Granito Branco Aqualux.....	17
Figura 13: Granito Cinza Andorinha.....	17
Figura 14: Granito Vermelho Capão Bonito.....	17
Figura 15: Granito Blue Star.....	17
Figura 16: Granito Verde Ubatuba.....	17
Figura 17: banheiro ornamentado em Ônix.....	22
Figura 18: Estúdio e orquidário do paisagista, de Marcelo Novaes. Piso externo de pedra Goiás de tamanhos variados.....	22
Figura 19: Hall de entrada, de Allan Maouf. Rosásea francesa concebida em mármore verde tunas, Crema Marfil, Preto Florido, Marrom Imperial e Branco Pighes.....	23
Figura 20: etapas e principais produtos na indústria de rochas ornamentais.....	24
Figura 21: Granito Branco Ceará.....	27
Figura 22: Granito Cinza Knawa.....	27
Figura 23: Granito Café Bahia.....	27
Figura 24: Granito Preto Tijuca.....	28
Figura 25: Granito Azul Bahia.....	29
Figura 26: Granito Jacarandá Rosado.....	29
Figura 27: Quartzito Azul Macaúbas.....	30
Figura 28: espectro de luz	37
Figura 29: iluminante D ₆₅	39

Figura 30: retina e células fotosseensíveis.....	40
Figura 31: diferença entre campos de visão de 2° e 10° definidos pelo CIE.....	41
Figura 32: funções tristimulus.....	41
Figura 33: espectro de luz visível da luz dia dia.....	42
Figura 34: comportamento da radiação refletida de acordo com a rugosidade da superfície.....	43
Figura 35: opções de geometria do Sistema de Iluminação Unidirecional - (a) 0/45; (b) 45/0.....	45
Figura 36: representação esquemática das principais geometrias de medição do Sistema de Esferas Integradoras de Iluminação Difusa.....	45
Figura 37: colorímetro D25 9000.....	47
Figura 38: espectrofotômetro LabScan XE.....	47
Figura 39: representação do sólido de cor do espaço $L^*a^*b^*$	50
Figura 40: diagrama esquemático do sistema CIE $L^*a^*b^*$	51
Figura 41: diagrama de representação do espaço de cor L^*c^*h	52
Figura 42: abrasivos utilizados pela politriz para obtenção de polimento.....	56
Figura 43: politriz utilizada no acabamento superficial.....	56
Figura 44: sílica gel.....	58
Figura 45: corpos-de-prova identificados e separados.....	58
Figura 46: corpos-de-prova fechados hermeticamente.....	58
Figura 47: espectrofotômetro da marca Minolta.....	59
Figura 48: base de madeira com 5 orifícios no gabarito.....	59
Figura 49: corpos-de-prova com lâmina de água de 3 mm.....	61
Figura 50: amostra sendo pesada.....	61
Figura 51: 42 amostras de granito estudadas no trabalho experimental.....	62
Figuras 52: granito vermelho Capão Bonito. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbastaste, (c) acabamento, (d) 1° polimento, (e) 2° polimento, (f) lustro.....	63
Figura 53: granito preto São Gabriel. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbastaste, (c) acabamento, (d) 1° polimento, (e) 2° polimento, (f) lustro.....	64
Figura 54: granito cinza Andorinha. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbastaste, (c) acabamento, (d) 1° polimento, (e) 2° polimento, (f) lustro.....	65
Figuras 55: granito amarelo Ornamental. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbastaste, (c) acabamento, (d) 1° polimento, (e) 2° polimento, (f) lustro.....	66
Figuras 56: granito verde Ubatuba. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbastaste, (c) acabamento, (d) 1° polimento, (e) 2° polimento, (f) lustro.....	67
Figuras 57: granito cinza Corumbá. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbastaste, (c) acabamento, (d) 1° polimento, (e) 2° polimento, (f) lustro.....	68

Figuras 58: granito amarelo Santa Cecília. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbastaste, (c) acabamento, (d) 1º polimento, (e) 2º polimento, (f) lustro.....	69
Figura 59: resultados do ensaio de cor para granitos de diferentes cores.....	70
Figura 60: média das diferenças de cor para os diversos granitos estudados.....	71
Figura 61: absorção – granito cinza Andorinha.....	73
Figura 62: absorção – granito amarelo Ornamental.....	73
Figura 63: absorção – granito preto São Gabriel.....	74
Figura 64: absorção – granito amarelo Santa Cecília.....	74
Figura 65: absorção – granito verde Ubatuba.....	75
Figura 66: absorção – granito vermelho Capão Bonito.....	75
Figura 67: absorção – granito cinza Corumbá.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: especificações para rochas destinadas a revestimentos e métodos de ensaio..	32
Quadro 2: características petrográficas gerais de rochas comumente usadas como material de revestimento no Brasil.....	34
Quadro 3: porção visível do espectro eletromagnético.....	42
Quadro 4: comparação dos valores das diferenças de cor com impressões dos observadores (adaptado Petter e Gliese, 2004 apud Silva, Petter e Schneider, 2005).....	51
Quadro 5: rochas mais utilizadas como revestimento de fachadas na região de Porto Alegre.....	54
Quadro 6: relação acabamentos superficiais obtidos nas rochas.....	56
Quadro 7: classificação das rochas quanto as diferenças de cor percebidas pelo observador.....	71

SUMÁRIO

1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	18
1.2 OBJETIVO PRINCIPAL.....	18
1.3 OBJETIVO SECUNDÁRIO.....	19
1.4 PRESSUPOSTOS.....	19
1.5 HIPÓTESES.....	19
1.6 DELIMITAÇÕES.....	20
1.7 LIMITAÇÕES.....	20
1.8 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	20
2 ROCHAS ORNAMENTAIS.....	22
2.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO.....	22
2.2 CARACTERÍSTICAS DAS ROCHAS.....	30
2.2.1 Características Tecnológicas.....	31
2.2.2 Propriedades das rochas.....	33
2.2.3 Características Petrográficas.....	33
2.2.4 índices Físicos.....	35
2.2.5 Características Cromáticas dos constituintes mineralógicos.....	35
3 COR.....	37
3.1 PERCEPÇÃO DA COR.....	38
3.2 FONTE DE LUZ.....	38
3.3 OBSERVADOR.....	40
3.4 OBJETO.....	43
3.5 GEOMETRIAS DE MEDIÇÃO.....	44
3.5.1 Sistema de Iluminação Unidirecional.....	44
3.5.2 Sistema de Esferas Integradoras de iluminação Difusa.....	45
3.6 EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÕES COLORIMÉTRICAS.....	46
4 SISTEMAS DE AVALIAÇÃO COLORIMÉTRICA.....	48
4.1 SISTEMA XYZ.....	48
4.2 SISTEMA L*a*b*.....	49
4.3 SISTEMA L*C*h.....	52
5 ESTUDO EXPERIMENTAL.....	53
5.1 DEFINIÇÃO DA AMOSTRA.....	53
5.2 ACABAMENTO SUPERFICIAL.....	54

5.3 ENSAIOS REALIZADOS.....	57
5.3.1 Análise Colorimétrica.....	57
5.3.2 Ensaio de Absorção de Água.....	60
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	62
6.1 ACABAMENTO SUPERFICIAL.....	62
6.2 ANÁLISE COLORIMÉTRICA.....	70
6.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	72
CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	77
REFERÊNCIAS.....	80
APÊNDICE I.....	83
APÊNDICE II	85
APÊNDICE III	92

1 JUSTIFICATIVA

A pedra está ligada intimamente à história e à cultura do homem desde sua origem. O seu uso passa por uma longuíssima evolução através do processo de aperfeiçoamento da técnica de beneficiamento e utilização e da valorização sempre mais refinada dos elementos arquitetônicos e ornamentais. Este processo lento vem sofrendo aceleração crescente seguindo a evolução da Engenharia e da Arquitetura. Por milênios o emprego primário das rochas foi estrutural e o aspecto ornamental era considerado acessório (CENTRO FORMAZIONE PROFESSIONALE MARMI PIETRE GRANITI, 1998). As figuras 1¹ e 2² exemplificam a utilização de rochas como elemento estrutural.



Figura 1: Colosseo – Roma, Lazio-Itália



Figura 2: Casa de pedra – Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul-Brasil

Segundo Vicente (1996 apud FRASCÁ, 2005, p. 178): “A rocha é o principal material de construção dos monumentos e edifícios históricos europeus, não somente pela abundância, mas pela sua resistência e durabilidade.”.

O uso de rocha predominantemente decorativa é historicamente recente, com grandes pavimentações e revestimentos externos assumindo características de conteúdo ornamental. Nas últimas décadas, as rochas ornamentais como material de revestimento de fachadas e interiores de construções, e em pavimentação externa e interna vem crescendo

¹ Figura pertencente ao acervo pessoal de Giovana Bernini Fioretti, na ocasião de um curso realizado na Itália em 1999.

² Figura pertencente ao acervo pessoal de Giovana Bernini Fioretti, na ocasião de visita a região da serra gaúcha em 2005.

significativamente. As figuras 3³ e 4⁴ exemplificam a utilização de rochas como expressão de arte e decoração.



Figura 3: obra de Paulo Aguinsky:
Itapuã – São Borja-Brasil

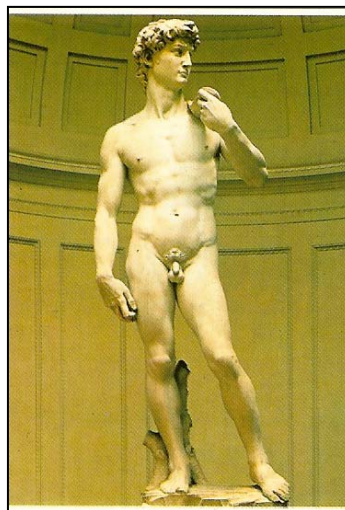


Figura 4: obra de Michelangelo:
Davi – Florença-Itália

A evolução do emprego das rochas determina o processo paralelo de desenvolvimento das técnicas de produção e de beneficiamento. As figuras 5 e 6 exemplificam a utilização de placas de rocha como revestimento interno amplamente utilizado em nossos dias.



Figura 5: pia de cozinha revestida
em granito Verde Ubatuba
(Catálogo FIORETTI
MÁRMORES, 2006)



Figura 6: lareira revestida em
granito Verniz Tropical
(Catálogo FIORETTI
MÁRMORES, 2006)

³ Figura pertencente ao acervo pessoal de Giovana Bernini Fioretti, na ocasião de exposição do referido artista no saguão do Hospital Moinhos de Vento em Porto Alegre no ano de 2005.

⁴ Figura pertencente ao acervo pessoal de Giovana Bernini Fioretti, na ocasião de um curso realizado na Itália em 1999

ABIROCHAS (2001, p. 39) explica que por serem materiais mais resistentes que os mármore, ao ataque químico, ao desgaste abrasivo e aos agentes atmosféricos de intemperismo, as rochas graníticas têm sido prioritariamente especificadas para revestimentos externos, tanto de pisos quanto de fachadas. As rochas para revestimento, amplamente utilizadas em fachadas, conferem às mesmas um diferencial em relação à durabilidade, manutenção e alto padrão de acabamento da edificação. As figuras 7 e 8 exemplificam a utilização de placas de rocha como revestimento externo.

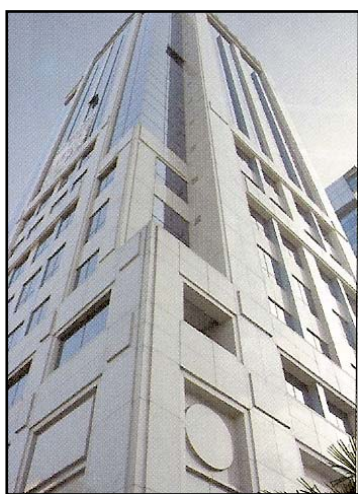


Figura 7: Ed. Diamond Tower- São Paulo- revestido com granito Branco Cotton (ROCHAS DE QUALIDADE, ed. 176, 2004, p. 17)



Figura 8: Ed. Berrini - São Paulo – revestido com granito Amarelo Gegregê e granito Branco Romano (ROCHAS DE QUALIDADE, ed. 165, 2002, p. 36)

O processo de extração e beneficiamento de rochas vem evoluindo tecnologicamente ao longo dos séculos, possibilitando a ampliação de sua aplicação. De acordo com Gama (2001, p. 20):

“A evolução tecnológica do último século propiciou a produção e utilização em larga escala das rochas ornamentais e de revestimento. Esta expansão tem demandado conhecimentos técnicos sobre o desempenho destes materiais frente as condições em que os mesmos estarão submetidos quando aplicados.”

A premissa que o granito valoriza qualquer empreendimento dispensa argumentos, porém o processo de execução e principalmente os estudos de revestimentos pétreos ainda estão aquém do desejado. Conseqüentemente, não há somente ocorrências de diversas manifestações patológicas, mas também grandes desperdícios nos canteiros de obras obtendo-se, muitas vezes, um produto final com desempenho insatisfatório. Dentre as diversas manifestações patológicas em revestimentos pétreos, uma das mais temidas pelos construtores é a que ocorre

em fachadas. Dentre as manifestações patológicas em fachadas, a mais freqüente é a mancha de umidade, conforme exemplificado abaixo nas figuras 9 e 10.



Figura 9: fachada revestida em granito branco Himalaia – Porto Alegre, RS



Figura 10: fachada revestida em granito cinza Andorinha – Porto Alegre, RS

O contraste de cor, produzido pela mancha de umidade, entre a rocha no estado seco e no estado úmido está exemplificado nas figuras⁵ 11 a 16, onde para diferentes tipos de granitos, temos seu lado esquerdo, no estado seco e seu lado direito, no estado úmido.



Figura 11: Granito Branco Dallas

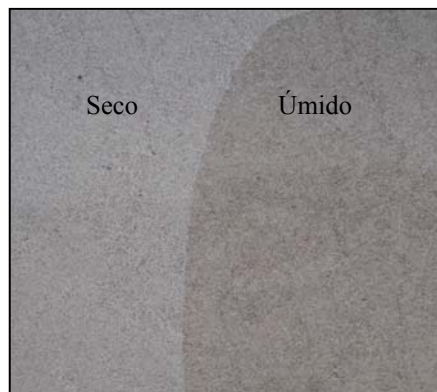


Figura 12: Granito Branco Aqualux



Figura 13: Granito Cinza Andorinha



Figura 14: Granito Vermelho Capão Bonito

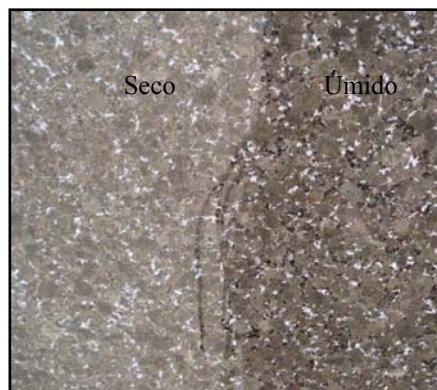


Figura 15: Granito Blue Star

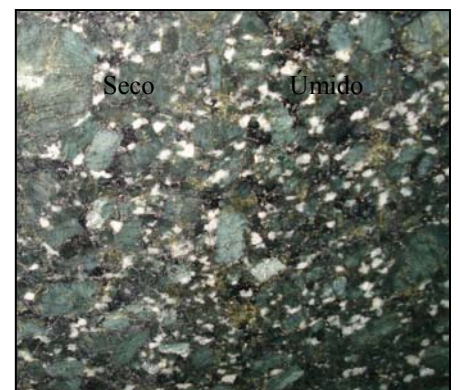


Figura 16: Granito Verde Ubatuba

⁵ Estas fotos foram obtidas logo após a molhagem da superfície das rochas.

Comumente relacionam-se manchas de umidade com sua absorção de água aparente. Porém, Philippi (1993 apud TRISTÃO, 1997) denomina higroscopicidade como “Efeito de aumento do conteúdo de líquidos dos materiais quando os mesmos são colocados em contato com vapor d’água.”. Partindo desse princípio, a absorção por imersão parece não ser a explicação técnica que justifique o aparecimento de manchas, mas talvez as diferenças entre os diversos tipos de granitos quanto aos fenômenos de difusão e capilaridade d’água. O fenômeno de capilaridade de água foi estudado por Tristão (1997) e o mesmo concluiu: “as manchas de umidade nos revestimentos com placas de granito se devem a diversos fatores que não somente a absorção de água total.”. O próprio Tristão (1997) sugere o estudo dos fenômenos de difusão em rochas.

São escassos os trabalhos que expressam a interface entre Geologia e Engenharia Civil. A Geologia e a Engenharia de Minas estudam, entre outros assuntos, as características físicas e químicas das rochas, enquanto na natureza. Considerando-se o exposto e visando contribuir para o aprimoramento tecnológico dos revestimentos com placas pétreas, neste trabalho procura-se observar a incidência de manchas de umidade em placas de granito, utilizadas como revestimento de fachadas, do ponto de vista da percepção do usuário. Visando uma possível recomendação de uso dos granitos aqui estudados.

1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Quais, dentre as rochas mais utilizadas como revestimento de fachadas, são mais suscetíveis às manchas de umidade? E quais seriam os cuidados na especificação para que se possa minimizar o aparecimento de manifestações patológicas relacionadas ao manchamento frente a umidade?

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL

Este trabalho tem o intuito de versar sobre a influência das características físicas e químicas das rochas quando as mesmas estiverem sendo utilizadas como revestimento de fachada. Sendo assim, serão avaliados os fenômenos de reflexão de luz incidente em superfície de

granitos, com diversos graus de polimento, comercialmente utilizados como revestimento de fachada na região de Porto Alegre /RS.

1.3 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

O presente trabalho possui os seguintes objetivos secundários:

- a) através de estudo exploratório, determinação das rochas mais utilizadas na região de Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- b) avaliação da influência do contraste de cor no aspecto da mancha em rochas ornamentais através da análise colorimétrica entre o estado seco e o estado úmido da rocha.
- c) avaliação da absorção de água nos diversos tipos de acabamento superficial, através de ensaio de absorção.
- d) avaliação da influência do tipo de polimento na variação de cor para diferentes tipos de rochas

1.4 PRESSUPOSTOS

A visualização das manchas de umidade em granitos não pode ser explicada somente pela absorção de água, mas também por outros fatores, tais como contraste de cores (TRISTÃO et al,1997, p. 286).

A própria coloração da pedra, dada por sua constituição mineralógica, pode evidenciar as manchas em maior ou menor intensidade (FLAIN; FRAZÃO, 1998, p.86).

1.5 HIPÓTESES

O contraste de cores provocado pelas manchas de umidade ocorre provavelmente nos granitos que apresentam maior luminosidade e as maiores variações entre o estado seco e o estado úmido. (TRISTÃO et al,1997, p. 286).

1.6 DELIMITAÇÕES

O presente trabalho apresentou as seguintes delimitações:

- a) a pesquisa focou a região de Porto Alegre;
- b) foram selecionadas as seis maiores empresas fornecedoras de rochas ornamentais do Estado do Rio Grande do Sul, através de entrevista a diversas empresas fornecedoras da região.
- c) a variedade de materiais utilizados na pesquisa foi estabelecida pelas empresas fornecedoras da região e pela disponibilidade dos referidos materiais na marmoraria que deu total apoio a esta pesquisa.

1.7 LIMITAÇÕES

Este trabalho teve as seguintes limitações:

- a) precisão do equipamento espectrofotométrico;
- b) os granitos analisados não possuíam superfície impermeabilizada quimicamente;
- c) o revestimento em questão é conhecido comercialmente como granito, ou seja, não se apurou se os granitos informados pelas empresas fornecedoras eram geologicamente considerados granitos;
- d) o grau de polimento dos granitos foi obtido em politriz semi-automática.

1.8 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa foi dividida em etapas, as quais são descritas resumidamente a seguir.

- 1) Revisão bibliográfica;
- 2) Identificação das rochas graníticas mais utilizadas como revestimento de fachada;
- 3) Experimentos: obtenção de diferentes acabamentos superficiais, análise colorimétrica e absorção de água;

- 4) Análise das rochas graníticas que são mais suscetíveis às manchas de umidade sob o ponto de vista da intensidade de luz refletida no estado seco e no estado úmido;
- 5) Análise dos resultados obtidos;
- 6) Considerações finais.

2 ROCHAS ORNAMENTAIS

Este capítulo tem a intenção de tecer comentários sobre as diversas propriedades das rochas, sua classificação e características.

2.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Frascá e Frazão (ROCHAS DE QUALIDADE, ed. 167, p. 138) salientam que:

Rochas ornamentais é um termo com variadas definições. A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (Rochas para Revestimento de Edificações – Terminologia, no prelo) define rocha ornamental como sendo “material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento ou afeiçoamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética.”

A figura 17 exemplifica a utilização de uma rocha ornamental no revestimento interno (detalhamento de paredes e coluna), já na figura 18 pode-se observar a rocha ornamental aplicada como piso externo e em diferentes tamanhos e formas.

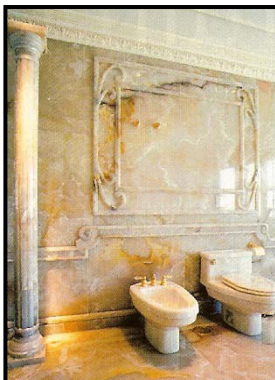


Figura 17: banheiro ornamentado em Onix. (ROCHAS DE QUALIDADE, ed.165, p. 98, 2002)



Figura 18: Estúdio e orquidário do paisagista, de Marcelo Novaes. Piso externo de pedra Goiás de tamanhos variados (ROCHAS DE QUALIDADE, ed.171, p. 20, 2003)

As rochas para revestimento, segundo Frascá e Frazão (ROCHAS DE QUALIDADE, ed. 167, p. 138), recebem a seguinte definição:

Rocha para revestimento é definida, por sua vez, como sendo “material rochoso natural que, submetido a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizado no acabamento de superfícies, especialmente pisos e fachadas, em obras de construção civil”.

A figura 19 apresenta um exemplo de rochas para revestimento.



Figura 19: Hall de entrada, de Allan Maouf. Rosásea francesa concebida em mármore verde tunas, Crema Marfil, Preto Florido, Marrom Imperial e Branco Pighes. (ROCHAS DE QUALIDADE, ed.171, p. 22, 2003)

Segundo a ABIROCHAS (2001, p. 37):

”As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, lustro, etc.”.

Seus principais campos de aplicação são:

- a) urbanismo:** espessores acabados (placa de rocha com espessura que varia entre 5 a 30 cm), placas, peças de ornamentação;
- b) arte:** espessores acabados (arte funerária em geral), placas (rosa dos ventos, mosaicos e outros) e peças de ornamentação (esculturas e outros);
- c) arte e decoração:** móveis (mesas, aparadouros, pés de mesas e outros), objetos de adorno (aparador de livros, estatuetas, vasos e outros) e bancadas (cozinhas, lavabos, banheiros e outros);
- d) arquitetura e construção:** revestimentos padronizados (ladrilhos e outros), revestimento sob medida (fachadas, lareiras e outros), soleiras, rodapés,

pingadeiras, peitoris, escadarias. As rochas quando aplicadas em edificações são subdivididas em revestimento externo e revestimento interno.

O processo de extração e beneficiamento das rochas ornamentais vem crescendo e evoluindo tecnologicamente ao longo dos últimos anos. Na figura 20 são apresentadas as principais etapas e produtos da indústria de rochas ornamentais no Brasil. Observa-se que a aplicação de revestimento pétreo em fachada encontra-se dentro de Revestimento Padronizado.

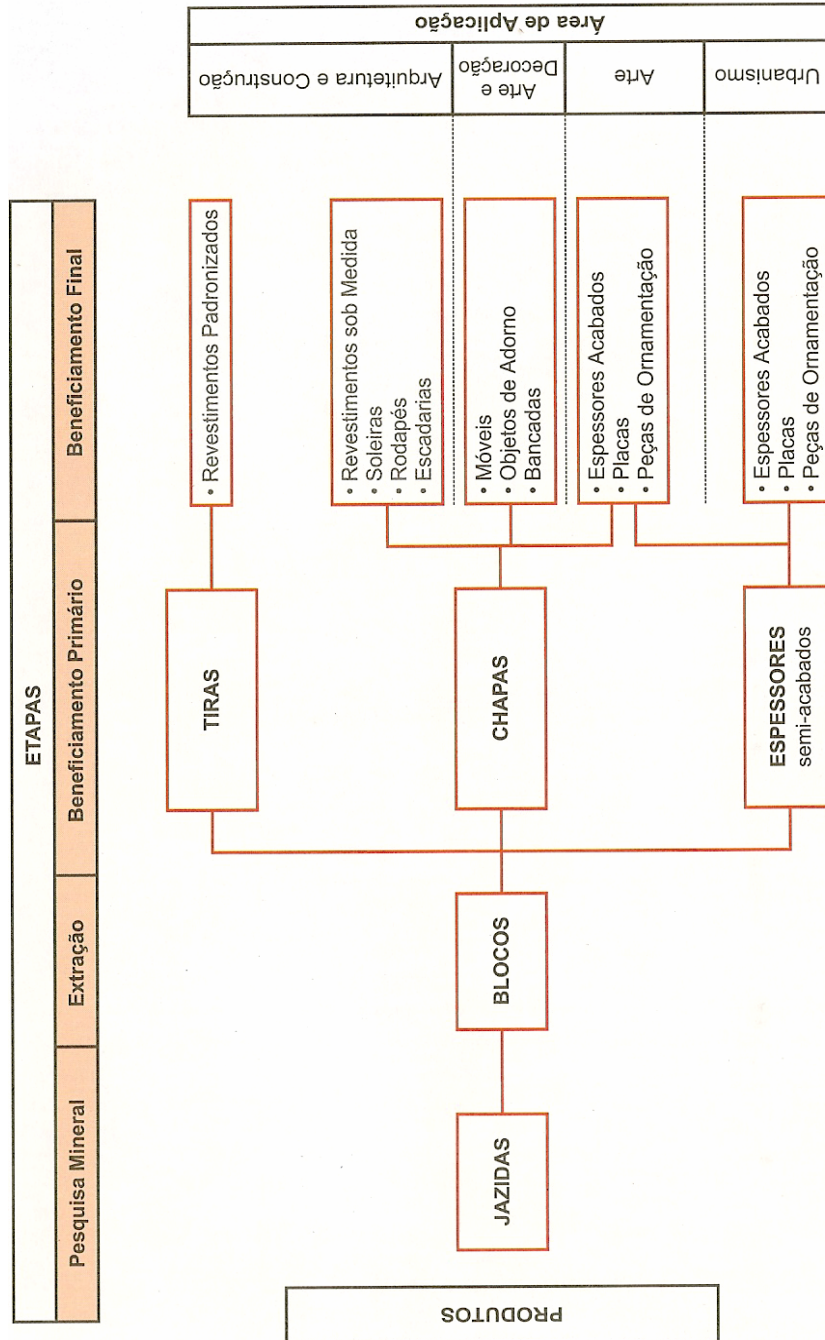


Figura 20: Etapas e principais produtos na indústria de rochas ornamentais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2001, p. 45)

Do ponto de vista de classificação geológica as rochas são classificadas como: ígneas, sedimentares e metamórficas.

As **rochas ígneas** são resultado da solidificação de material rochoso parcial a totalmente fundido (magma) gerado no interior da crosta terrestre. São divididas em intrusivas e extrusivas. *Intrusivas ou plutônicas*, solidificam à grande profundidade do solo, constituídas geralmente de granulação grossa e de formas definidas (ex.: granito, gabro, diorito, sienito). *Extrusivas ou vulcânicas*, solidificam na superfície do solo ou em sua proximidade resultando em material vítreo ou cristalino de granulação fina (ex.: riolito, traquito, andesito, basalto, diabásio, meláfiro) (FRASCÁS; SARTORI, 1998, p. 25).

As **rochas sedimentares** são aquelas resultantes da consolidação de sedimentos. Sendo subdividida em: *clásticas* ou *detríticas* - partículas minerais provenientes da desagregação e transporte de rochas preexistentes (arenitos, siltitos, argilitos) ou da *precipitação química* – transformação química sofrida por materiais em suspensão nas águas (calcários, dolomita, gipsita) ou da *origem orgânica* - ação direta ou indireta de organismos ou da acumulação de seus restos (calcário-fóssil, carvão-fóssil) (FRASCÁ; SARTORI, 1998, p. 32).

As **rochas metamórficas** são formadas pela alteração gradual na estrutura das rochas preexistentes, pela ação do calor, da pressão ou da água. Mármore, provém de alteração do calcário, Quartzito, provém de alteração do arenito, Gnaiss, provém de alteração do granito. (FRASCÁ; SARTORI, 1998, p. 35).

Como foco do estudo proposto, tem-se no granito uma rocha que se destaca como revestimento de fachada por suas atribuições estéticas, durabilidade e baixa manutenção. Segundo o SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (2000, p. 11), no setor de rochas ornamentais, o termo **granito** designa um amplo conjunto de rochas silicáticas, compostas predominantemente por quartzo e feldspato. A composição mineralógica dos **granitos** é definida por associações muito variáveis entre quartzo, feldspato, micas (biotita e muscovita), anfibólios (sobretudo hornblenda), piroxênios (aegirina, augita e hiperstênio) e olivina. Alguns destes constituintes podem estar ausentes em determinadas associações mineralógicas, notando-se diversos outros minerais acessórios em proporções bem mais reduzidas. Quartzo, feldspatos, micas e anfibólios são os minerais dominantes nas rochas graníticas e granitóides. Estes minerais são descritos macroscopicamente como:

- a) **quartzo** - reconhecido como o mineral incolor ou fumê, geralmente translúcido, muito comum nos granitos, podendo-se também encontrá-lo na cor azulada em rochas específicas;
- b) **feldspatos** (microclínio, ortoclásio e plagioclásios) - são os principais balizadores do padrão cromático das rochas silicáticas, conferindo as colorações avermelhada, rosada e creme-acinzentada nos granitos homogêneos (isótipos) e orientados/movimentados (anisótipos);
- c) **minerais máfios** (silicatos ferro-magnesianos) - sobretudo anfibólio (hornblenda) e mica (biotita), chamados vulgarmente de **carvão**. Conferem a cor negra variavelmente impregnada na matriz das rochas silicáticas.

De acordo coma a ABIROCHAS (2001):

Em granitos mais leucocráticos (claros), portanto com menor quantidade de minerais ferro-magnesianos, o quartzo e o feldspato compõem normalmente entre 85% e 95% da rocha.

A textura das rochas silicáticas é determinada pela granulometria e hábito dos cristais, sendo a estrutura definida pela distribuição desses cristais. Composição, textura e estrutura representam assim parâmetros de muito interesse para caracterização de granitos e sua distinção dos mármore.

O *hábito*, segundo Frascá e Sartori (1998), é a forma externa do mineral, como: acicular, colunar, tabular ou lamelar, laminado, foliáceo, fibroso, granular, maciço, terroso e botrioidal.

Dentre estas rochas, as mais comumente utilizadas comercialmente como **granitos** são: granitos, sienitos, dioritos, monzonitos, gneisses graníticos, charnokitos, granodioritos e quartzitos (<http://www.abirochas.org.br>)

Frazão (2002, p. 13) define **granitos** como:

[...] *rochas ígneas ácidas*, constituídas por cristais de feldspatos potássicos (ortoclásio ou microclínio), plagioclásio, quartzo e mica (biotita e muscovita) como minerais essenciais; anfibólio pode ocorrer como acessório.

Os granitos possuem muitas variáveis que são diferenciadas na textura (grossa, média ou fina) e na coloração (avermelhada, rosada, amarela e cinza). Geralmente apresentam estrutura compacta com resistência mecânica relativamente alta e pequena alterabilidade. Estes materiais são apropriados para revestimento externo e interno de edificações e para pedra britada. São utilizados também como calçamento, devido à sua alta resistência ao desgaste e

ao impacto. As figuras 21 e 22 exemplificam rochas geologicamente consideradas como granitos.

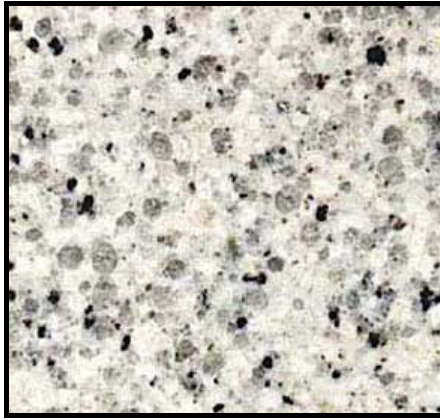


Figura 21: granito branco ceará

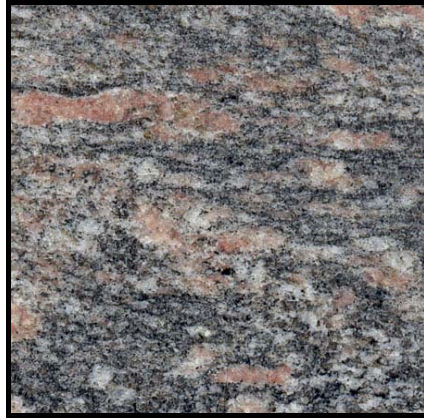


Figura 22: granito cinza knawa

Frazão (2002, p. 13) define **sienitos** como:

[...] *rochas ígneas intermediárias*, constituídas por feldspatos potássicos (ortoclásio ou microclínio) como minerais essenciais; o quartzo raramente atinge mais do que 5%. Os feldspatóides podem estar presentes. Quando estes ocorrem, o quartzo é ausente e o nome da rocha passa a ser precedido do nome deste mineral: nefelina sienito, sodalita sienito etc.

São muito usadas como pedra de revestimento por apresentarem características estéticas favoráveis, semelhantes às dos granitos, exceto quanto à alterabilidade, pois os feldspatóides são afetados por águas aciduladas

Os sienitos são representados, na figura 23, pelo granito Café Bahia.



Figura 23: granito Café Bahia

Frazão (2002, p. 13) define **monzonitos** como:

[...] *rochas ígneas intermediárias*, contendo os mesmos minerais dos granitos, com a diferença de que são mais pobres em quartzo; geralmente mais escuras que os granitos por apresentarem maior teor de anfibólio, biotita ou piroxênio.

Os monzonitos possuem características muito semelhantes aos granitos quando os mesmos são utilizados como material de revestimento e pedra britada. Um exemplo de monzonito é a rocha que comercialmente é chamada de granito preto Tijuca, figura 24.

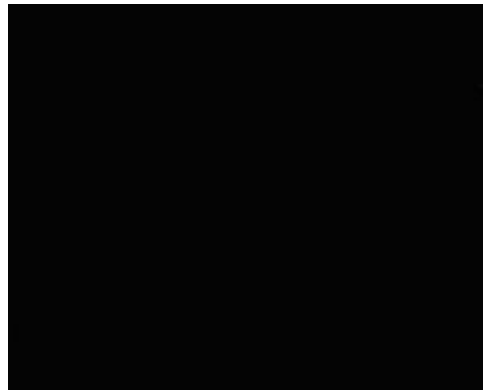


Figura 24: granito preto Tijuca

Frazão (2002, p. 14) define **dioritos** como:

[...] *rochas ígneas intermediárias a básicas*, constituídas por plagioclásio, anfibólio e pequeno teor de biotita; o quartzo e o feldspato potássico são praticamente ausentes. A coloração é escura e são trivialmente chamadas de "granitos pretos".

Os dioritos possuem as mesmas características dos granitos como material de revestimento e pedra britada. Um exemplo de diorito é a rocha que comercialmente é conhecida como granito azul Bahia, figura 25.

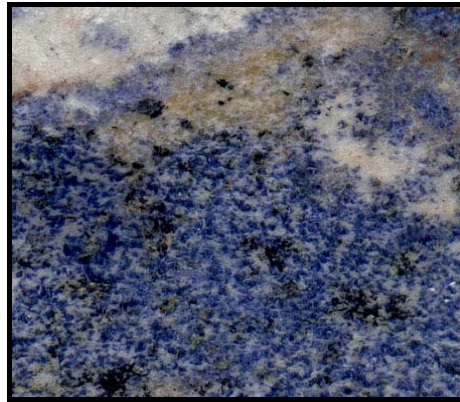


Figura 25: granito azul Bahia

Frazão (2002, p. 14) define **gnaisse graníticos** como:

[...] *rochas metamórficas* com estrutura orientada ou bandada (gnáissica). A composição mineralógica depende da composição da rocha original. Assim, têm-se: gnaiss granítico, gnaiss diorítico e gnaiss sienítico. São chamadas de ortognaisses quando derivam de rochas ígneas, e paragnaisses, quando derivam de rochas sedimentares.

Como pedras de revestimento, apresentam características de durabilidade quase iguais às dos granitos, salvo quando há lentes espessas de biotita por onde acontece uma maior alteração. Suas resistências mecânicas variam de acordo com a direção de aplicação dos esforços em relação à sua estrutura. Por exemplo, sua resistência à compressão uniaxial é maior quando a aplicação da carga se dá perpendicularmente à gnaissificação; e menor quando inclinada em relação à gnaissificação. Na flexão, sua resistência será menor quando a linha de aplicação de cargas coincidir com o plano de gnaissificação e maior quando ortogonal a ela.

Um exemplo de gnaiss granítico é a rocha que é conhecida comercialmente como granito Jacarandá Rosado, figura 26.



Figura 26: granito jacarandá rosado

Frazão (2002, p. 15) define **quartzitos** como:

[...] *rochas metamórficas* constituídas quase que exclusivamente de quartzo. Podem apresentar micas ou feldspatos como acessórios comuns. Em geral, são de dureza elevada e, às vezes, facilmente transformáveis em placas; têm baixa alterabilidade e são porosos. Quanto à resistência mecânica, o comportamento também é dependente da posição da estrutura em relação à linha de aplicação de cargas. São mais utilizáveis como revestimento.

A figura 27 apresenta um exemplo de quartzito.



Figura 27: quartzito azul Macaúbas/ Boquira

2.2 CARACTERÍSTICAS DAS ROCHAS

Ao se especificar a utilização de rochas ornamentais, em suas diversas aplicações, cada vez mais torna-se indispensável o conhecimento de suas características petrográficas, químicas, físicas e mecânicas. Além dos importantes aspectos estéticos (cromáticos e estruturais/texturais), tais características formam as diretrizes básicas que, acompanhadas dos aspectos econômicos, devem nortear a decisão pelo emprego de rochas ornamentais e de revestimento tanto na construção civil como em outras aplicações. A seguir encontram-se algumas das características a serem observadas e levadas em consideração na hora de se especificar a utilização de rochas ornamentais e de revestimento nos projetos de construção civil.

2.2.1 Características Tecnológicas

As propriedades de cada tipo de rocha como resistências mecânicas, dureza, resistência a agentes químicos, entre outras, dependem das suas composições químicas e mineralógicas, variando bastante entre os tipos disponíveis. Existe uma carência de parâmetros técnicos que norteiem os responsáveis, na hora da especificação, para a escolha do tipo de rocha mais adequada para determinadas condições de utilização.

O entendimento das variáveis tecnológicas constitui um fator de proteção e garantia para fornecedores, especificadores, construtores e consumidores, além de representar a forma mais efetiva de valorização das rochas como materiais de ornamentação e revestimento. Para a definição desses e de outros parâmetros igualmente importantes, recomenda-se que todos os materiais rochosos de ornamentação e revestimento sejam submetidos a ensaios de caracterização tecnológica. Os ensaios objetivam balizar os campos de aplicação dos materiais e o seu comportamento diante das solicitações, sendo já exigíveis pelos consumidores e constando como itens obrigatórios em catálogos fotográficos promocionais dos grandes fornecedores. Algumas das principais propriedades das rochas destinadas a revestimento são especificadas no quadro 1.

Porém, analisando-se o quadro 1, percebe-se que não são contempladas questões como: o tipo de revestimento, o ambiente de exposição, o acabamento superficial da rocha, os agentes de degradação e a reflexão da rocha. Desta forma, o uso isolado desses parâmetros pouco pode contribuir em uma especificação para a garantia de desempenho ao longo de sua vida útil.

Propriedades Tipos de rocha	Massa específica aparente (kg/cm ³)	Porosidade aparente (%)	Absorção d'água aparente (%)	Velocidade de propagação de ondas P (m/s)	Coefficiente de dilatação térmica linear (10 ⁻³ mm/m°C)	Desgaste Amstler (mm)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à flexão (por 3 pontos) (MPa)	Resistência à flexão (por 4 pontos) (MPa)	Módulo de deformabilidade estático (GPa)	Resistência ao impacto (m)	Referência normativa para especificação
Granitos	>2560	ne	<0,4	ne	ne	ne	>131	10,34	8,27	ne	ne	ASTM C 615
Mármore												
travertino	>2595	ne	<0,75	ne	ne	ne	>52	>7	ne	ne	ne	ASTM
calcítico	>2800	ne	<0,75	ne	ne	ne	>52	>7	ne	ne	ne	C 503
serpentinico	>2690	ne	<0,75	ne	ne	ne	>52	>7	ne	ne	ne	
dolomítico	>2305	ne	<0,75	ne	ne	ne	>52	>7	ne	ne	ne	
Calcários												
baixa densidade	1760/2160	ne	<12	ne	ne	ne	>12	>2,9	ne	ne	ne	ASTM
média densidade	2160/2560	ne	<7,5	ne	ne	ne	>28	>3,4	ne	ne	ne	C 568
alta densidade	>2560	ne	<3,0	ne	ne	ne	>55	>6,9	ne	ne	ne	
Arenitos												
>60% SiO ₂	>2160	ne	<20	ne	ne	ne	>13,8	>2,1	ne	ne	ne	ASTM
>90% SiO ₂	>2400	ne	<3	ne	ne	ne	>68,9	>6,9	ne	ne	ne	C 616
>95% SiO ₂	>2560	ne	<1	ne	ne	ne	>137,9	>13,9	ne	ne	ne	Fração & Farallat (1996)
Rochas silicatadas												
	>2550	<1	<0,4	>4000	<12	<1	>100	>10	ne	>30	<0,3	
Referência normativa para ensaio	NBR 12766 ou ASTM C 97	NBR 12766	NBR 12766 ou ASTM C 97	não há	NBR 12765	NBR 12042	NBR 12767 ou ASTM C 170	NBR 12763 ou ASTM C 99	ASTM C 880	NBR 10341 ou ASTM D 3148	NBR 12764	-

Quadro 1: especificações para rochas destinadas a revestimentos e métodos de ensaio. ne= não especificado (FRAZÃO, 2002, p. 83)

2.2.2 Propriedades das Rochas

As rochas, ao serem utilizadas na construção civil, devem atender, além dos aspectos estéticos, a certas exigências (KLOSS, 1991, p. 24) que irão resultar na necessidade de controle de algumas propriedades, tais como:

- a) resistência mecânica: capacidade de suportar a ação das cargas aplicadas sem entrar em colapso. Neste item estão incluídas as análises: de compressão, tração, flexão, cisalhamento, choque e desgaste. A resistência ao desgaste é normalmente relacionada à dureza. Para os minerais foi definida uma escala relativa e progressiva de dureza denominada escala “Mohs”. A dureza dos principais componentes minerais dos granitos é: para quartzo, dureza 7 e para feldspatos, dureza 6, tornando-os muito resistentes ao risco.
- b) durabilidade: consiste na capacidade da rocha ornamental manter a aparência e as suas propriedades físicas e mecânicas com o decorrer do tempo e sob a ação de agentes agressivos, quer, do meio ambiente, quer intrínsecos, sejam eles físicos, químicos ou mecânicos. Neste item estão incluídas a compacidade, porosidade, permeabilidade, higroscopicidade e gelividade.
- c) trabalhabilidade: traduz a capacidade da rocha de ser afeiçoada com o mínimo de esforço. Viabilidade de a rocha ser submetida aos processos de beneficiamento necessários à obtenção dos efeitos desejados (superfície serrada, polida, apicoada, flameada, etc.). A trabalhabilidade é influenciada pela fratura, homogeneidade e a dureza da rocha.
- d) estética: consiste na aparência da rocha para fins de revestimento ou acabamento superficial. Neste caso, deve ser considerado a textura, a estrutura e principalmente a cor da rocha.
- e) clivagem: são planos de rompimento potenciais ou reais, paralelos, que refletem planos de fraqueza na estrutura cristalina regular dos minerais. Quando for bem desenvolvida, segundo uma direção, permitirá o desgaste do mineral por atrito. Desta maneira, espessos minerais de biotita, presentes num granito, podem, por atrito de passantes, desgastar-se (antes do quartzo e do feldspato), escareando e tornando sua superfície irregular. Clivagens bem desenvolvidas facilitam a infiltração.

2.2.3 Características Petrográficas

A classificação das propriedades das rochas é um instrumento de vital importância para correta especificação do material. A análise petrográfica tem por finalidade principal determinar a composição mineralógica da rocha (Petrucci, 1987, p. 285). O quadro 2 apresenta

as características petrográficas gerais de algumas das principais rochas utilizadas como revestimento no Brasil, segundo Frazão (2002, p. 25).

Origem	Teor de Sílica	Tipo Petrográfico	Mineralogia essencial / secundária	Textura	Estrutura	Alguns tipos comerciais Brasileiros
Ígnea	Ácida	Granitos	Feldspatos Quartzo Mica/Anfibólio	Grossa Média Fina	Compacta raramente bandada	Cinza Mauá Knawa Bahia Branco Ceará
	Intermediária	Sienitos Dioritos Monzonitos Charnockitos	Feldspatos Piroxênios Mica Feldspatóides	Grossa a Média	Compacta; às vezes bandada	Marrom Imperial Azul Bahia Preto Tijuca Preto Bragança Verde Labrador
	Básica	Gabro Diabásio Basalto	Feldspatos Piroxênio/Argilas	Grossa a Fina	Compacta	Diversos tipos em fase de viabilidade comercial
	Ultrabásica	Norito Piroxênitos	Olivina Piroxênios	Grossa	Compacta	Preto São Gabriel
Sedimentar	não aplicável	Arenitos	Quartzo, Argila Sílica amorfa	Média a Fina	Estratificada	Rosa Bahia
		Dolomitos	Dolomita	Média	Compacta	Branco Espírito Sto.
Metamórfica	não aplicável	Gnaisses graníticos	Feldspatos Quartzo, Mica	Grossa a Média	Bandada	Jacarandá Verde Candeias
		Quartzito	Quartzo Mica	Média	Compacta / "estratificada"	Azul Macaúbas Black Diamond/Pedra mineira, Pedra Goiás Pedra São Tomé
		Ardósias	Argilas, Mica	Fina	Folheada	Diversos tipos
		Mármore	Calcita, Dolomita, Sílica amorfa Argilas	Grossa a Fina	Compacta e Bandada	Azul Acquamarina Rosa Patamuté Branco Paraná

Quadro 2: características petrográficas gerais de rochas comumente usadas como material de revestimento no Brasil (baseado em FRAZÃO, 2002, p. 25)

2.2.4 Índices Físicos

A porosidade, a densidade (ou massa específica) e a absorção de água são os índices físicos de maior importância das rochas ornamentais. Existe uma grande interdependência entre eles, pois um dado tipo petrográfico será mais denso se sua porosidade for menor e, conseqüentemente, menor será sua capacidade de absorção de água.

Esses parâmetros influenciam de diferentes formas as propriedades físico-mecânicas das rochas. Segundo Frazão e Farjallat (1995, p. 80), 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 diminuição de resistência mecânica ao longo de tempo. Frazão e Farjallat (1995, p. 80) salientam 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.

2.2.5 Características Cromáticas dos Constituintes Mineralógicos

A ABIROCHAS (2001, p. 41) salienta que o padrão cromático é o principal atributo para qualificação de uma rocha.

As cores das rochas são fundamentalmente determinadas pelos constituintes mineralógicos. Os minerais formadores dos granitos (lato sensu) são definidos por associações variáveis de quartzo, feldspatos, micas, piroxênios e anfibólios, com diversos minerais acessórios em proporções reduzidas (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2000, p. 11).

As características cromáticas dos principais minerais formadores dos granitos são: quartzo normalmente translúcido, incolor ou fumê; feldspato possui coloração avermelhada, rosada e creme – acinzentada; mica (biotita), piroxênio e anfibólio conferem a cor negra, variavelmente impregnada na matriz das rochas (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2000, p. 11).

Maranhão (2006, p. 15), em sua proposta de parâmetros qualitativos que devem ser considerados para a especificação de uma placa de rocha em função do revestimento, relaciona alteração cromática com a absorção d'água. Esta relação é muito importante dentre os parâmetros qualitativos, que devem ser considerados para a especificação de uma placa de rocha aplicada em revestimento externo vertical. A constituição mineralógica, que define a coloração da rocha, pode evidenciar as manchas em maior ou menor intensidade. Tristão et al. (1997, p. 282) salientam que manchas de umidade em granitos não podem ser explicadas somente pela absorção de água, mas também por outros fatores tais como contraste de cores.

Os granitos vermelhos, marrons e verdes não apresentam um contraste de cor significativo em relação aos granitos brancos e cinzas e os quartzitos, que por sua vez, propiciam maior contraste de cores decorrentes de manchas indeléveis, ou de umidade (que podem desaparecer quando da evaporação da água), mesmo que a capacidade de absorção d'água seja semelhante entre estas rochas.

Tristão (1997, p.286) conclui que o contraste de cor provocado por manchas de umidade ocorre provavelmente nos granitos que apresentam maior intensidade de luz e as maiores variações de cor entre o estado seco e o estado úmido.

3 COR

Ao incidir um feixe de luz do sol através de um prisma, a luz se separa em diferentes comprimentos de onda criando uma distribuição de cores como a de um arco-íris (Figura 28). Este fenômeno é chamado de espectro de cores e foi descoberto por Issac Newton. Assim, pode-se criar as diferentes cores apenas misturando separadamente os comprimentos de onda da luz em várias intensidades (MINOLTA, 1994).

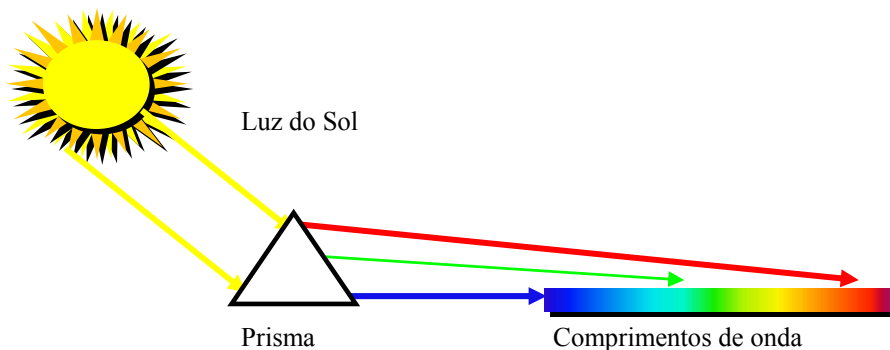


Figura 28: espectro de luz (Hunter, 2001)

A cor é a percepção que resulta dos estímulos recebidos por meio de nossos olhos, depois que a luz interagiu com um objeto colorido. Esta percepção envolve aspectos físicos, fisiológicos e psicológicos (PASSUELO, 2004, p. 57).

Cada objeto absorve e reflete luz proveniente de diferentes porções do espectro e em diferentes quantidades, estas diferenças de absorção e reflexão são o que fazem as cores dos diversos objetos diferentes (MINOLTA, 1994, p. 34).

A cor percebida de um objeto é afetada por três fatores: a composição química e física do objeto, a composição espectral da fonte de luz que ilumina o objeto e a sensibilidade dos olhos do observador. Uma mudança em qualquer desses fatores pode alterar a cor percebida (LAWLESS; HEYMANN, 1999 apud MALHEIROS, 2007).

3.1 PERCEPÇÃO DA COR

Existe muita dificuldade quando se trabalha com parâmetros colorimétricos pelo fato da cor ser um parâmetro essencialmente subjetivo e que envolve parâmetros físicos, fisiológicos e psicológicos (LOZANO, 1978 apud GLIESE, 2003, p. 3). Desta forma a medição destes parâmetros implica na padronização de uma série de fatores relacionados com a preparação da amostra, iluminação e geometria de medição. As principais organizações padronizadoras dos parâmetros colorimétricos são:

CIE (Comissão Internationale d'Eclairage),

TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry),

ASTM (American Society for Testing and Materials),

ISO (International Standards Organization).

Neste trabalho, foi utilizado o sistema $L^*a^*b^*$ de representação de cor da CIE, por ser o mais utilizado atualmente em diversos campos da ciência, segundo PASSUELO (2004, p.65) e por ser o sistema utilizado na avaliação da perda da coloração artificial de ágatas (R. A. Silva, C. O. Petter e I. A. H. Schneider, 2005).

A percepção visual de uma cor é condicionada por quatro fatores: a fonte de luz, o observador, o objeto e o modo como estes estarão dispostos no espaço. Assim, qualquer sistema que tenha a intenção de definir a cor de um objeto deverá, necessariamente, considerar todos estes fatores e estabelecer padrões de comparação que os levem em conta. A seguir discute-se a influência de cada um deles.

3.2 FONTE DE LUZ

Luz visível é apenas uma porção dos vários comprimentos de onda eletromagnéticos que percorrem o espaço. Luz é definida como a radiação que estimula a retina dos olhos tornando a visão possível (MINOLTA, p.31-33, 1994).

A fonte de luz afeta a percepção de cor que nossos olhos terão. Ao observar-se o mesmo objeto na luz do dia ou sob luz de uma lâmpada fluorescente sua cor apresentará diferentes tonalidades e diferentes luminosidades.

Segundo Mauri Luiz da Silva (2002, p. 37):

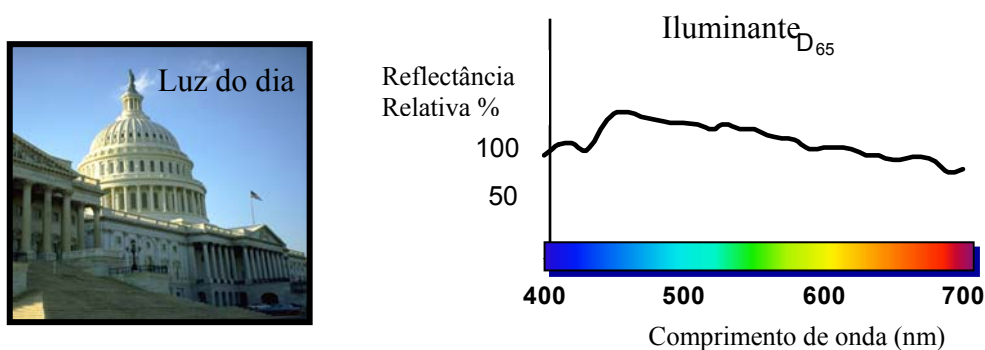
Temperatura de cor é a grandeza que define a cor da luz emitida pela lâmpada, pois existem várias tonalidades de cor e são catalogadas conforme sua temperatura em graus kelvin. Quanto mais alta for a temperatura em graus kelvin, mais branca será a luz, quanto mais baixa, mais amarela e avermelhada será.

O iluminante, segundo Silva et al. (2005) representa a repartição espectral da fonte de luz. Para cada tipo de fonte de luz existe um iluminante que a representa. No caso, o Iluminante D_{65} representa a repartição espectral da luz do dia.

O iluminante é obtido através da correlação de uma energia relativa por comprimentos de onda que representam as características espectrais das diferentes fontes de luz, quantificando e padronizando as fontes de luz.

Com a intenção de padronizar a representação das cores, o CIE determinou diversos padrões de iluminantes. Segundo Passuelo (2004, p. 60) a norma ASTM E308 relaciona estes iluminantes, apontando A, C e D_{65} como os mais utilizados.

O iluminante **A** representa a luz incandescente e possui uma temperatura de cor de 2.856 $^{\circ}\text{K}$. O iluminante **C** representa uma média de luz do dia, possui uma temperatura de cor de 6.774 $^{\circ}\text{K}$ e energia espectral semelhante à luz do dia. Ambos iluminantes **A** e **C** foram definidos pelo CIE em 1931. O iluminante **D_{65}** (Figura 29) corresponde à luz do meio dia e apresenta a mesma temperatura de cor que o iluminante **C**, porém inclui os raios UV que também fazem parte da luz do dia. Por representar melhor a luz do dia e ter sido utilizado no estudo de cor em ágatas (R. A. Silva, C. O. Petter, I. A. H. Schneider, 2005), foi utilizado neste trabalho o iluminante **D_{65}** .



(a)

Figura29: Iluminante D_{65} (baseado em HUNTER, 2001)

3.3 OBSERVADOR

A retina é uma membrana sensível à luz, situada no fundo dos olhos, sendo este o local onde a imagem se forma. Esta membrana possui células fotossensíveis que convertem a energia luminosa em sinais elétricos, que são transferidos para o cérebro pelo nervo ótico (PETTER; GLIESE, 2003 apud PASSUELO, 2004).

Segundo Minolta (1994, p.38):

A retina possui dois tipos de sensores, os cones e os bastonetes. Os bastonetes são responsáveis pela visão noturna, isto é, pela percepção do claro e escuro na carência de luminosidade. Já os cones são células fotorreceptoras sensíveis às três cores primárias: vermelho, azul e verde. Através da mistura de quantidades diversas destas três cores pode-se produzir qualquer sensação de cor para o olho humano.

A Figura 30 exemplifica as células fotossensíveis localizadas no fundo da retina do olho humano.

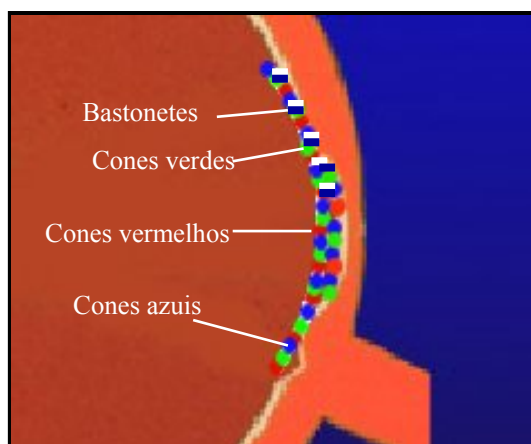


Figura 30: retina e células fotossensíveis (baseado em HUNTER, 2001)

Segundo Passuelo (2004, p. 59), devido ao fato da sensibilidade do olho humano à cor depender do ângulo de visão (tamanho do objeto), o CIE definiu, em 1931, um observador padrão que utilizava um campo de visão de 2° (Standard Observer), o qual supunha-se ser o que mais se ajustava ao olho humano. Em 1964, foi considerado pelo CIE que o campo de visão do olho humano se aproxima mais de 10° (Supplementary Standard Observer). Nas figuras 31 e 32 pode-se observar com maior clareza as diferenças entre os campos de visão, criados pelo CIE.

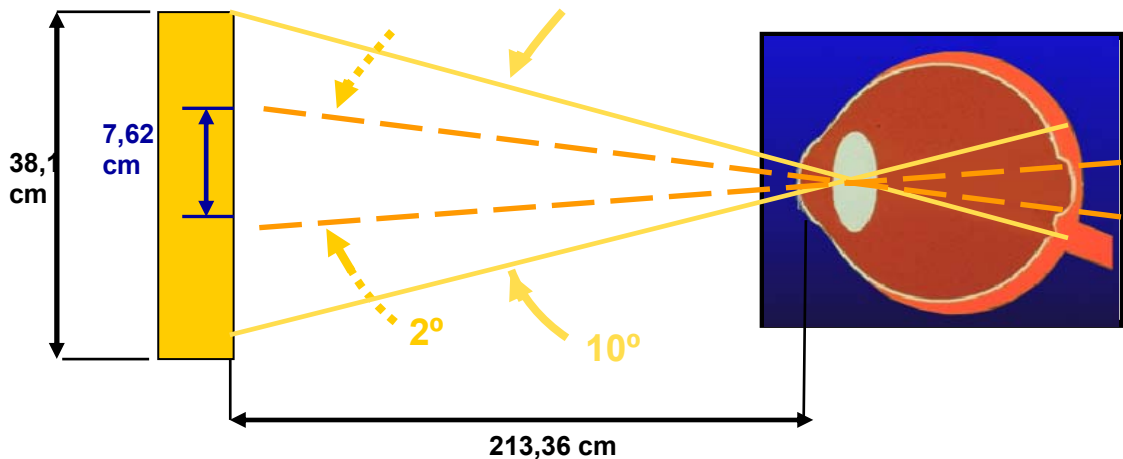


Figura 31: diferença entre campos de visão de 2° e 10° definidos pelo CIE (adaptado HUNTER, 2001) (dimensões fora de escala)

Passuelo (2004, p. 58) relata que:

A pesquisa desenvolvida por Wright e Guild no início do século XX, selecionou um conjunto de pessoas, que através de instrumento óptico, eram colocadas para visualizar um campo dividido em duas partes. Uma luz, de cor determinada, iluminava uma das partes do campo visual. Na outra metade, o observador deveria igualar a cor/luz visualizada misturando as três cores primárias. Os valores médios necessários para ajustar a cor gerada pelos observadores ao estímulo ficaram conhecidos como “Valores Tristímulus”.

Para cada uma das geometrias apresentadas na figura 28, são definidas as funções tristímulus $\bar{X}(\lambda)$, $\bar{Y}(\lambda)$ e $\bar{Z}(\lambda)$, onde λ é o comprimento de onda da radiação (em nm). Estas funções podem ser observadas na figura 32.

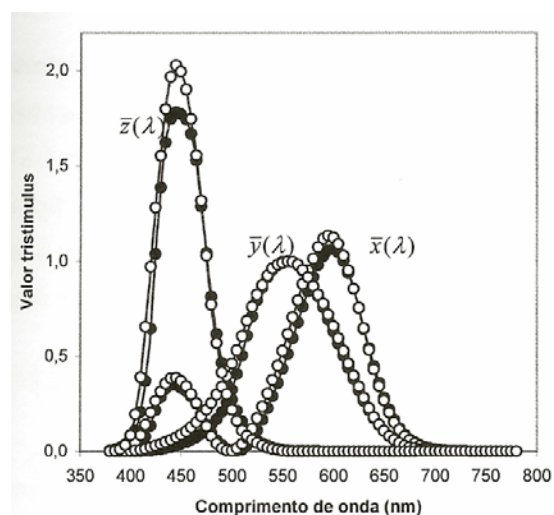


Figura 32: funções tristímulus. ○ - Observador 2°, ● – Observador 10° (GLIESE, 2003, p. 4).

Observa-se que as funções $\bar{X}(\lambda)$, $\bar{Y}(\lambda)$ e $\bar{Z}(\lambda)$, possuem seus valores de pico nos seguintes comprimentos de onda: vermelho, verde e azul, respectivamente. Confirmando assim as três cores primárias que as células fotorreceptoras da retina captam para formar qualquer sensação de cor para o olho humano.

A figura 33 apresenta o espectro de luz visível da luz do dia.

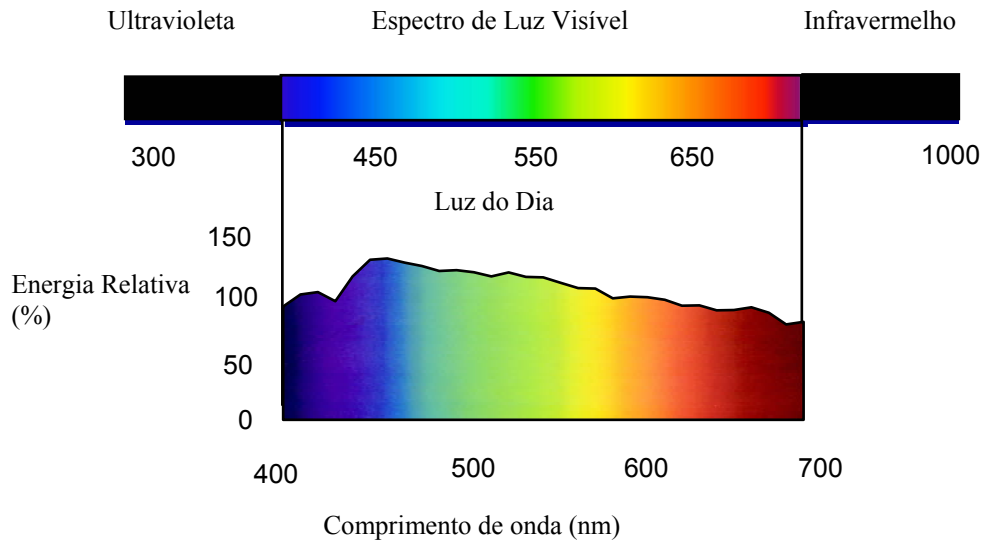


Figura 33: espectro de luz visível (adaptado HUNTER, 2001)

Os comprimentos de onda na porção visível do espectro eletromagnético não absorvidos pelo objeto são refletidos por ele e captados pelo olho humano. A seguir, relacionam-se os comprimentos de onda da porção visível do espectro eletromagnético, com suas respectivas cores, conforme quadro 3.

Cor	Faixa de comprimento de onda (nm)
Violeta	380-400
Azul	400-475
Verde	500-570
Amarelo	570-590
Laranja	590-700
Vermelho	700-770

Quadro 3 – porção visível do espectro eletromagnético (MALHEIROS, 2007, p.29)

3.4 OBJETO

Segundo Gliese (2003, p. 7), quando a radiação eletromagnética incide sobre a superfície de um objeto, quatro fenômenos principais ocorrem simultaneamente:

- a) uma parte da radiação sofre uma colisão elástica na superfície, sendo refletida de forma especular. É o que se costuma chamar de brilho;
- b) outra parte da radiação atravessa o material, sendo transmitida;
- c) parte é absorvida pelo material, transformando-se em calor ou promovendo reações químicas e,
- d) parte pode ser espalhada por irregularidades na superfície ou heterogeneidades no material propriamente dito.

A reflectância pode ir de regular a completamente difusa, de acordo com o acabamento superficial (GLIESE, 2003, p. 8). Este fenômeno encontra-se ilustrado na figura 34 a seguir.

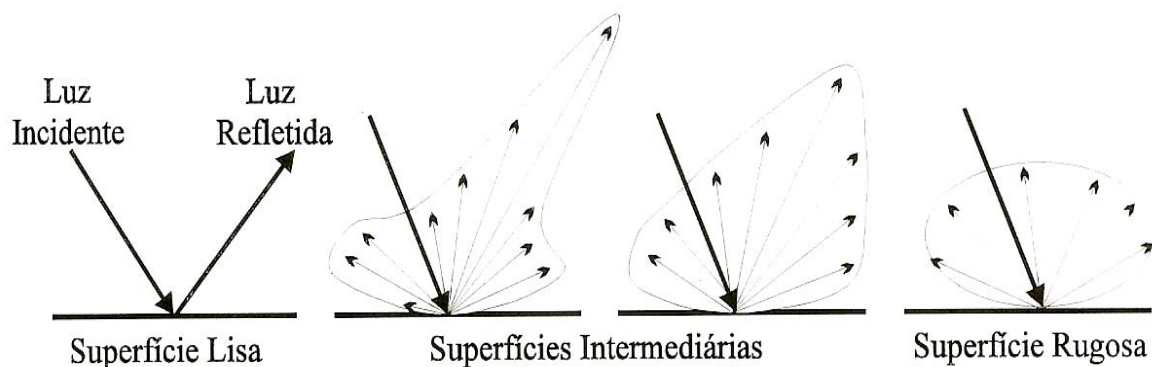


Figura 34: comportamento da radiação refletida de acordo com a rugosidade da superfície (GLIESE, 2003, p. 8)

Existem alguns modelos que quantificam a interação da luz com a matéria contendo partículas difusoras, quando estas estão distantes umas das outras, tais como os modelos de Rayleigh e Mie (VAN DE HULST, 1957 apud GLIESE, 2003), ou quando as partículas estão muito próximas, entre os quais o modelo dos Dois Fluxos (KORTÜM, 1969 apud GLIESE, 2003) e o modelo de Melamed (MELAMED, 1963 apud GLIESE, 2003). Segundo Gliese as situações intermediárias não são muito bem definidas. Os modelos de Rayleigh e Mie são usualmente utilizados em situações de espalhamento simples ou associadas com modelos de transporte radioativo. O modelo dos Dois Fluxos foi um modelo desenvolvido por um astrofísico e

posteriormente adaptado para utilização na indústria de papel e de tintas. O modelo de Melamed permite efetuar previsões de reflectância a partir de parâmetros físicos. Este último teve seu equacionamento revisado recentemente e foi adaptado para trabalhar com partículas não esféricas e com distribuições de tamanho de partícula heterogêneas, entretanto, limita-se a empacotamentos densos de partículas razoavelmente grosseiras. Como os modelos citados são muito complexos e não se aplicam à rochas ornamentais, eles não serão discutidos neste trabalho.

3.5 GEOMETRIAS DE MEDIÇÃO

Passuelo (2004, p. 61) afirma que:

A forma com que é distribuído no espaço o objeto e a fonte de luz que o está iluminando altera a percepção que se tem de sua cor. Desta forma, é necessário padronizar a geometria de exposição para a realização de medições cromáticas. A geometria ótica é representada pelo ângulo em que o feixe de luz provido da fonte atinge a amostra, e pelo ângulo em que a luz refletida pela amostra atinge o receptor.

Segundo Gliese (2003, p. 14),

Todos os parâmetros colorimétricos baseiam-se em uma mesma fonte de informação, que é o espectro de reflectância do material. Este espectro de reflectância é medido por meio de equipamentos denominados espectrocolorímetros, dotados de geometria de medição padronizadas.

Os principais tipos de sistemas óticos são os Sistemas de Iluminação Unidirecional e o Sistema de esferas Integradoras de Iluminação Difusa.

3.5.1 Sistema de Iluminação Unidirecional

O Sistema de Iluminação Unidirecional fornece iluminação de uma única direção, apresentando duas geometrias, a de $45^{\circ}/0^{\circ}$ e a $0^{\circ}/45^{\circ}$, conforme ilustrado na figura 35. Segundo Gliese (2003, p. 15) a principal geometria de medição é a $0/45$.

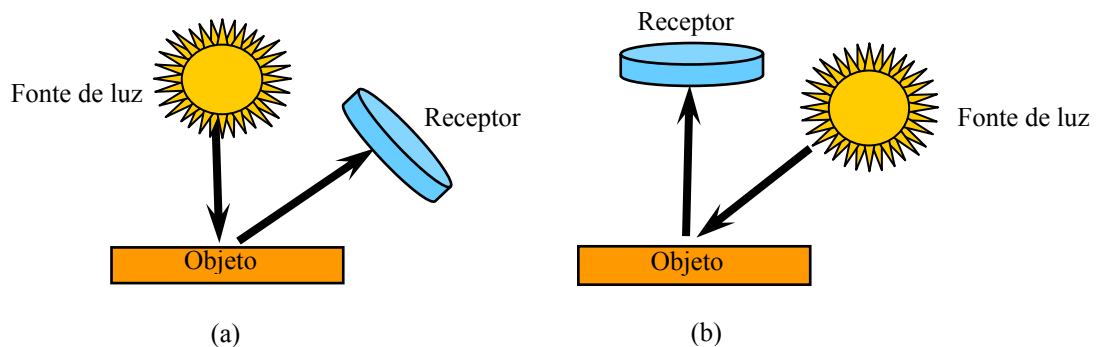


Figura 35: opções de geometria do Sistema de Iluminação Unidirecional - (a) 0/45; (b) 45/0 (adaptado PASSUELO, 2004, p. 61)

3.5.2 Sistema de Esferas Integradoras de Iluminação Difusa

No Sistema de Esferas Integradoras de Iluminação Difusa a luz é emitida em uma direção e se espalha por toda esfera de integração, formando uma iluminação difusa. A geometria deste sistema encontra-se esquematizada na figura 36.

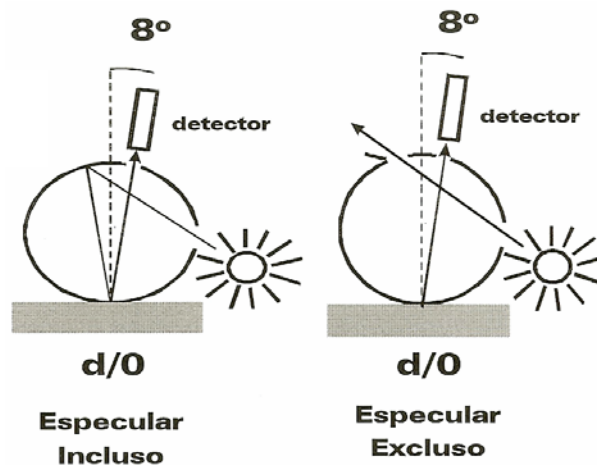


Figura 36: representação esquemática das principais geometrias de medição do Sistema de Esferas Integradoras de Iluminação Difusa (adaptado de GLIESE, 2003, p. 15).

A geometria mais usual para este sistema, segundo Gliese (2003, p. 15) é aquela conhecida como d/0, cujos equipamentos se caracterizam por serem dotados de uma esfera oca recoberta internamente por um material extremamente branco e é dotada de quatro aberturas. Gliese (2003, p. 15) descreve as aberturas como sendo:

- a) uma janela para apresentação da amostra;
- b) uma janela de iluminação, na qual está instalada a fonte luminosa, normalmente constituída por um flash de xenônio;
- c) uma janela de medição, na qual estão instalados os sensores;
- d) uma janela basculante para a exclusão opcional da componente especular (reflexo).

Gliese (2003, p.15) explica que:

A janela de medição é posicionada de tal forma que a fonte luminosa ilumina o interior da esfera sem iluminar a amostra diretamente. Esta sofre então uma iluminação indireta e difusa. A janela de medição é posicionada em um ângulo próximo à normal (até um máximo de 8 graus). A componente especular (reflexo) pode ser incluída ou eliminada fechando-se ou abrindo-se a janela correspondente. Ao ser aberta, não incide luz sobre a amostra no ângulo complementar ao da medição e, conseqüentemente, é eliminada da medição a componente especular (ver figura).

Neste trabalho foi adotado como padrão a opção d/0, considerando assim a componente especular inclusa (reflexo), para que se aproxime mais com a realidade das rochas aplicadas em fachadas.

3.6 EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÕES COLORIMÉTRICAS

Tratando-se de medição de cor existem basicamente dois tipos de equipamentos: os colorímetros (figura 37) e os espectrofotômetros (figura 38). Existem algumas diferenças entre estes equipamentos e para selecionar a opção mais adequada para uma certa necessidade de determinação cromática, é interessante conhecê-las.

Passuelo (2004, p. 67) explica que:

Os **colorímetros** se baseiam no método de medida dos valores tristímulus, e buscam interpretar a cor da mesma forma que os olhos humanos. Para tanto, estes equipamentos dispõem de três sensores com a mesma sensibilidade dos olhos, um para cada cor básica. Através das funções $\bar{X}(\lambda)$, $\bar{Y}(\lambda)$ e $\bar{Z}(\lambda)$ o aparelho compõe a medida dos valores tristímulus XYZ para representação da cor que está sendo medida.



Figura 37: colorímetro D25 9000 (Hunterlab, 2001)

Já os **espectrofotômetros** apresentam um funcionamento um pouco diferenciado. Nestes, a recepção da luz é feita através de múltiplos sensores, sendo cada um deles sensível a um comprimento de onda particular. Isto permite avaliar todo o espectro de luz visível. Após o registro do espectro completo, o microcomputador do aparelho calcula os valores tristímulus XYZ e converte a medição da cor em qualquer espaço de cor desejado.



Figura 38: espectrofotômetro LabScan XE (Hunterlab, 2001)

A utilização do espectrofotômetro é vantajosa no sentido de que a medida é realizada em cada comprimento de onda, sendo possível obter o gráfico espectral da cor percebida (PASSUELO, 2004). Por tornar o estudo mais completo no sentido de permitir a avaliação de todo o espectro de luz visível, optou-se pela utilização de um espectrofotômetro na realização deste experimento.

4 SISTEMAS DE AVALIAÇÃO COLORIMÉTRICA

Existem diversos métodos para avaliação de cor. Todos com a intenção de quantificar e expressar numericamente a cor para tornar a comunicação na linguagem das cores mais fácil e mais correta.

4.1 SISTEMA CIE XYZ

O CIE definiu em 1931, o sistema XYZ descrito pelas equações:

$$X = k \int_{380}^{780} I(\lambda).R(\lambda).\bar{x}(\lambda).d\lambda \quad (1)$$

$$Y = k \int_{380}^{780} I(\lambda).R(\lambda).\bar{y}(\lambda).d\lambda \quad (2)$$

$$Z = k \int_{380}^{780} I(\lambda).R(\lambda).\bar{z}(\lambda).d\lambda \quad (3)$$

$$k = \frac{100}{\int_{380}^{780} I(\lambda).\bar{y}(\lambda).d\lambda} \quad (4)$$

onde, segundo Minolta (2002)

$I(\lambda)$ descreve a distribuição espectral do iluminante, $\bar{X}(\lambda)$, $\bar{Y}(\lambda)$ e $\bar{Z}(\lambda)$ são funções tristimulus e $R(\lambda)$ é a reflectância espectral do objeto (MINOLTA, 2002). O parâmetro k é função da distribuição espectral do iluminante (normaliza o sistema de forma que um objeto idealmente branco, com 100% de reflectância para todos os comprimentos de onda apresente um valor de y igual a 100).

Este sistema não é utilizado atualmente, porém serve de base de cálculo para outros sistemas colorimétricos que serão utilizados neste trabalho.

4.2 SISTEMA CIE L*a*b*

Este sistema foi criado pela CIE em 1976, e consiste no espaço colorimétrico descrito pelas equações 5 a 7, onde as coordenadas X, Y e Z são as coordenadas do objeto no sistema XYZ e X₀, Y₀ e Z₀ são as coordenadas do branco padrão sob um determinado iluminante, na mesmo sistema (Minolta, 2000). Este sistema utiliza-se de coordenadas retangulares para representação do espaço de cor.

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (5)$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (6)$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (7)$$

Segundo Gliese (2003, p. 5) este é o sistema de coordenadas colorimétricas mais utilizado atualmente e a tendência é que cada vez mais haja empresas especificando produtos em termos de L*, a* e b*. Onde o L* indica luminosidade, enquanto a* e b* são coordenadas cromáticas que indicam a cromaticidade num plano bidimensional.

Gliese (2003, p.5) explica

O sistema L*a*b* consiste em um sistema de coordenadas tridimensional onde o eixo L* mede a luminosidade da amostra (variando de 0 a 100), o eixo a* mede a tendência verde-vermelho (valores de a* negativos indicam uma tendência crescente da cor na direção do verde e valores positivos de a* medem uma tendência crescente na direção do vermelho) e o eixo b* mede a tendência (azul-amarelo). Uma forma usual de especificar a cor de um material consiste em determinar um valor de L*a*b* padrão e um valor máximo de ΔE_{ab}^* .

ΔE_{ab}^* é um parâmetro que mede a diferença de cor entre duas amostras, correspondendo à distância euclidiana entre dois pontos no sistema L*a*b*. Sendo assim, as equações 8 a 11, detalham este parâmetro.

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (8)$$

onde:

$$\Delta L^* = L^*_2 - L^*_1 \quad (9)$$

$$\Delta a^* = a^*_2 - a^*_1 \quad (10)$$

$$\Delta b^* = b^*_2 - b^*_1 \quad (11)$$

A figura 39 ilustra graficamente o espaço $L^*a^*b^*$.

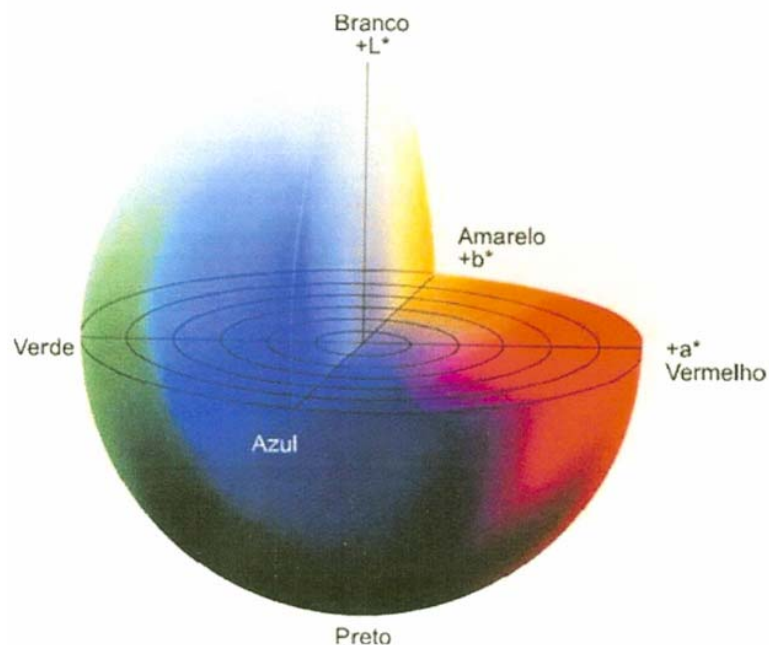


Figura 39: representação do sólido de cor do espaço $L^*a^*b^*$ (adaptado MINOLTA, 1998 apud PASSUELO, 2004)

Segundo Silva, Petter e Schneider (2005),

a impressão da sensação que a cor causa aos nossos olhos ocorre no momento em que a cor é visualizada, os observadores humanos conseguem distinguir diferenças de cor entre duas amostras justapostas. O valor numérico de limite ΔE para esta percepção é da ordem de 0,2 á 0,5 como citado na literatura (Petter e Gliese, 2004 apud Silva, Petter e Schneider, 2005).

No quadro 4 se observa uma classificação utilizada na indústria de tintas para diferentes valores de ΔE , em função da percepção do olho humano.

Diferenças (ΔE)		Classificação
0	0,2	Imperceptível
0,2	0,5	Muito pequena
0,5	1,5	Pequena
1,5	3	Distinguível
3	6	Facilmente distinguível
>6		Muito grande

Quadro 4: comparação dos valores das diferenças de cor com impressões dos observadores (adaptado Petter e Gliese, 2004 apud Silva, Petter e Schneider, 2005)

A classificação apresentada no quadro 4 será utilizada, na divisão 8.2 deste trabalho, como referência de percepção de diferença de cor das rochas em estudo.

A figura 40 ilustra a diferença de cor no sistema $L^*a^*b^*$

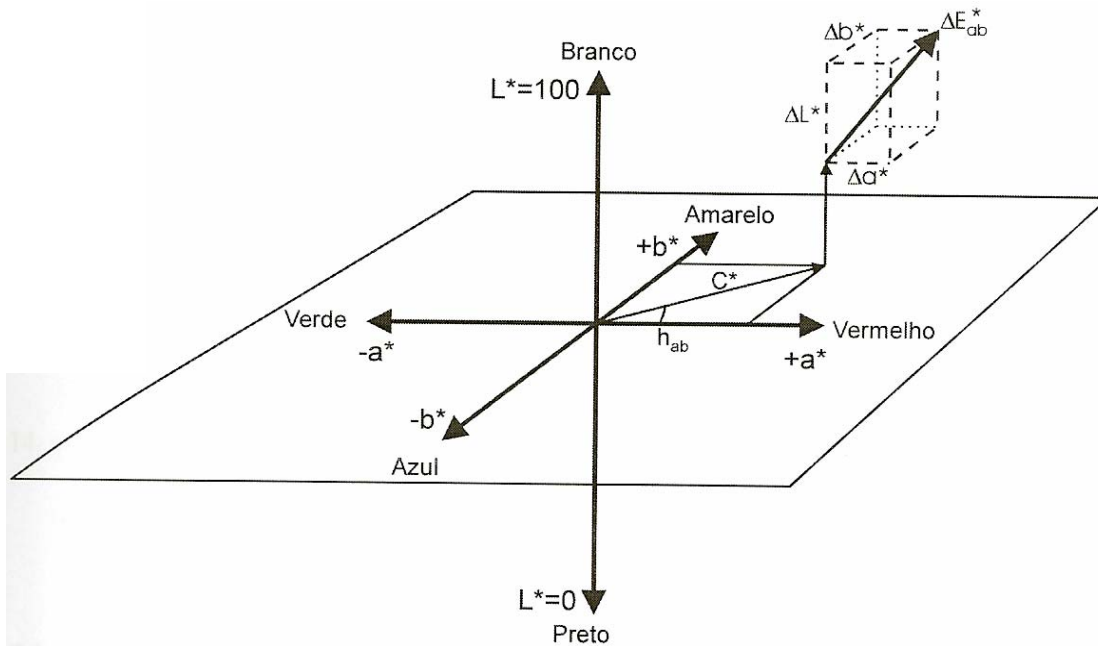


Figura 40: diagrama esquemático do sistema CIE $L^*a^*b^*$ (GLIESE, 2003).

4.3 SISTEMA CIE L*C*h*

O sistema L*C*h* está diretamente associado ao sistema L*a*b*. O parâmetro luminosidade (L*) é o mesmo para os dois. Gliese (2003, p.6) explica que os parâmetros C* e h_{ab} são dados pelas equações 12 e 13 e são denominados saturação e tonalidade, respectivamente. Este sistema utiliza-se de coordenadas polares para representação do espaço de cores, conforme figura 41.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (12)$$

$$h_{ab} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (13)$$

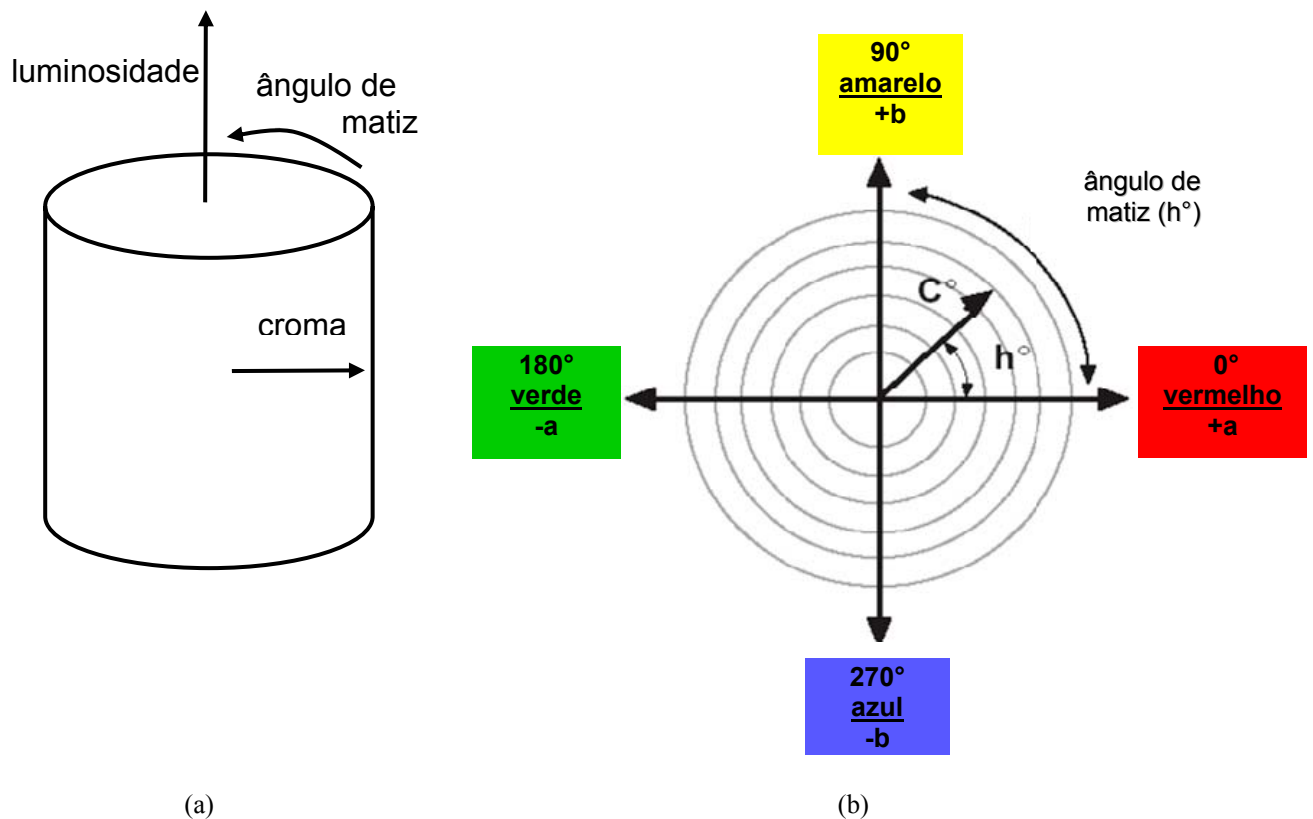


Figura 41: diagramas de representação do espaço de cores CIE L*C*h*. (a) disposição tridimensional, mostrando as coordenadas L*, C* e h° e (b) disposição bidimensional, mostrando as coordenadas C* e h°.

5 ESTUDO EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão discutidos a forma de seleção das diversas amostras, o preparo das amostras para obtenção de diferentes acabamentos superficiais e os ensaios realizados.

5.1 DEFINIÇÃO DA AMOSTRA

Para definir o tamanho da amostra e quais as rochas que fariam parte deste estudo experimental, realizou-se um estudo exploratório com a intenção de conhecer as mais utilizadas em revestimento de fachada na região de Porto Alegre/RS. Este estudo exploratório foi realizado com as principais empresas gaúchas, fornecedoras de rochas ornamentais, para construtoras e incorporadoras que atuam em Porto Alegre. Estas empresas foram selecionadas através de entrevistas com especificadores e por indicação das próprias empresas fornecedoras entre si. Este levantamento também visou questionar aos próprios fornecedores com relação à sua percepção sobre as rochas mais utilizadas como revestimento de fachadas na região de Porto Alegre.

Nesta etapa foram entrevistados 6 representantes, entre proprietários e diretores de marmorarias, pedreiras e importadoras do estado do Rio Grande do Sul, sendo estes os maiores fornecedores de rochas para revestimento de fachadas no estado. Com a permissão dos mesmos, foram listados os materiais mais empregados como revestimento na região de Porto Alegre. No Estado do Rio Grande do Sul encontram-se aproximadamente 20 diferentes tipos de rochas ornamentais utilizada para revestimento de fachada. No quadro 5 são apresentados os materiais mais citados, como sendo os mais utilizados como revestimento de fachadas, que foram listados pelos proprietários e diretores das diversas marmorarias, pedreiras e importadoras do Estado do Rio Grande do Sul.

Rocha	Cor	Nome comercial
Granito	Amarelo	Ornamental
		Santa Cecília
	Cinza	Andorinha
		Corumbá
	Preto	São Gabriel
	Verde	Ubatuba / Pérola
Vermelho	Capão Bonito / Brasília	

Quadro 5: rochas mais utilizadas como revestimento de fachadas na região de Porto Alegre - RS

Com base neste levantamento, foram escolhidas para serem ensaiadas as rochas elencadas no quadro 5. Uma vez escolhidas as rochas iniciou-se o trabalho experimental.

5.2 ACABAMENTO SUPERFICIAL

Esta etapa da pesquisa foi realizada nas dependências da marmoraria que apóia esta pesquisa, localizada na cidade de Canoas. O acabamento superficial foi obtido através de um equipamento denominado politriz semi-automática da marca Fundação Guarani.

Em entrevista com o proprietário da empresa, acerca do processo de polimento das chapas, observou-se que atualmente existem no Brasil equipamentos para polimento de chapas que utilizam-se de até 18 grãos de abrasivos. Porém, em função dos custos elevados e da baixa produtividade acabam sendo utilizados, comercialmente, em média entre 6 a 10 grãos de abrasivos.

A empresa disponibilizou para este estudo seu profissional mais experiente, o qual possui 35 anos atuando no setor de polimento de chapas. Através de uma entrevista com o mesmo, determinou-se a quantidade de abrasivos a serem utilizados no polimento das chapas.

Com relação à quantidade de abrasivos, foram disponibilizados os seguintes grãos: 36 / 60 / 120 / 220 / 400 / 600 / 1000 / 1200 / pedra lustro (3600). Conforme ilustrado na figura 42.

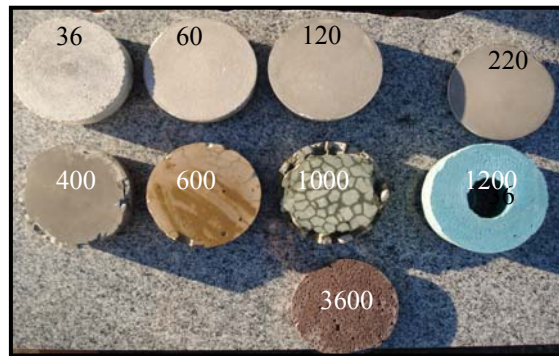


Figura 42: abrasivos utilizados pela politriz para obtenção de polimento

O polimento foi classificado, pelo profissional, em quatro etapas descritas a seguir::

- a) desbaste – grão 36;
- b) acabamento – grãos 60 / 120 / 220;
- c) polimento – grãos 400 / 600 / 1000 / 1200;
- d) lustro (pedra lustro) – grão 3600.

Para uma melhor análise de dados optou-se por separar a etapa de polimento em duas partes:

- a) 1º polimento - 400 / 600;
- b) 2º polimento - 1000 / 1200.

Para o estudo comparativo entre o acabamento superficial das amostras, tornou-se interessante analisar a superfície bruta, ou seja, superfície com o acabamento feito pelo tear, comumente chamado de acabamento serrado. Tal acabamento é utilizado na arquitetura com a intenção de gerar contrastes de cor, textura e segurança, no caso de utilização em pisos. Com isso o acabamento superficial gerou as amostras citadas no quadro 6.

Amostras	Acabamento Superficial
0	Serrado
1	Desbaste - 36
2	Acabamento - 60 / 120 / 220
3	1° Polimento - 400 / 600
4	2° Polimento - 1000 / 1200
5	Lustro - 3600

Quadro 6: relação de acabamentos superficiais obtidos

A fim de se garantir um mesmo padrão de polimento superficial entre as amostras de granitos, cada amostra sofreu desbaste por abrasão utilizando-se a mesma quantidade de esmeril (abrasivo). Tomou-se o cuidado de polir a face bruta da rocha a fim de não permitir a presença de seladores (ceras, resinas e outros produtos químicos), para não haver interferência no grau de polimento.

A lapidação foi executada em politriz semi-automática (figura 43) com a utilização de 1 esmeril de desbaste, 3 de acabamento, 4 de polimento e 1 de lustro. Cada esmeril é formado basicamente por carbureto de silício e quantidade variada de carborundum.



Figura 43: politriz utilizada no acabamento superficial

O tempo de exposição de cada tipo de rocha a cada grão de esmeril foi estabelecido pelo profissional que efetuou o polimento. Tal profissional salientou que este tempo variou devido aos diferentes tamanhos de chapas de rocha utilizados para extração das amostras e seu respectivo grau de dureza. Sendo assim, para que se possa polir certa região de uma chapa, têm-se que polir uma região um pouco maior devido ao diâmetro do satélite frente às dimensões diminutas das amostras e frente aos diferentes graus de dureza dos materiais, ocasionando assim uma pequena diferença no tempo de polimento entre os mesmos. Este tempo de polimento encontra-se descrito no anexo I.

5.3 ENSAIOS REALIZADOS

5.3.1 Análise Colorimétrica

Este tipo de ensaio é mais utilizado na Engenharia de Minas e Geologia. A aplicação do mesmo para se determinar a influência da característica de reflexão de luz quando as rochas são utilizadas como revestimento é pouco comum.

O ensaio com a intenção de avaliar a influência do contraste de cor no aspecto da mancha foi executado com a utilização de um espectrofotômetro da marca MINOLTA CM-508d, visando determinar o nível de variação de luz refletida com a placa de rocha seca e úmida. Fixou-se uma altura h entre a superfície polida da placa e a célula fotoelétrica do aparelho.

Os corpos-de-prova foram devidamente identificados e dispostos separadamente em organizadores com aproximadamente 1kg de Sílica gel. Conforme mostra as figuras 44 e 45.



Figura 44: sílica Gel (esferas azuis)

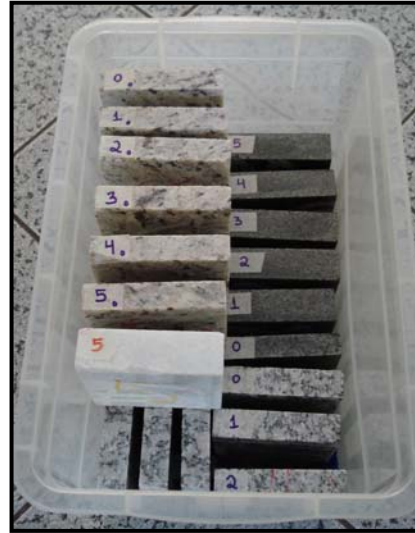


Figura 45: corpos-de-prova identificados e separados

A **sílica gel** é um composto químico em formato de pequenas esferas (diâmetros de 2 à 3 mm) que é responsável por absorver a umidade do ambiente, dentro do organizador e com isso garantir que as rochas estejam devidamente secas no momento do ensaio.

Os organizadores com os corpos-de-prova e a sílica gel foram fechados hermeticamente e guardados ao abrigo da luz e calor diretos por 4 dias para que a sílica se estabilizasse (ver figura 46). O tempo de armazenagem dos corpos-de-prova e a quantidade de sílica gel foram definidos em conjunto com o químico responsável pelo fornecimento da sílica gel. Segundo ele, nas condições descritas, a sílica precisaria de aproximadamente 3 dias para estabilizar.



Figura 46: corpos-de-prova fechados hermeticamente

O equipamento utilizado para obtenção dos parâmetros foi um espectrofotômetro da marca MINOLTA, modelo CM-508D (figura 47). O referido equipamento foi aferido de modo a considerar o brilho como variável do sistema, ou seja, foi selecionada a opção “considerar inclusa” do equipamento.



Figura 47: espectrofotômetro da marca Minolta

Para que a leitura do espectrofotômetro fosse realizada precisamente nos mesmos locais, dentro do corpo-de-prova, quando seco e posteriormente quando úmido, foram criados: uma base de madeira, para que se evitasse movimentação e um gabarito ("máscara"), que limitasse as leituras em cinco pontos distintos (figura 48). O gabarito possuía cinco orifícios de 1,3 mm de diâmetro cada, dispostos em forma de x para que se obtivesse uma média de cinco pontos que representassem fielmente a rocha em estudo. Sendo assim, as amostras foram colocadas encostadas debaixo do gabarito.



Figura 48: base de madeira com 5 orifícios no gabarito

Dando início às leituras adotou-se a seguinte rotina:

- a) organizou-se os corpos-de-prova por tipo de rocha e de maneira crescente de polimento;
- b) fez-se a leitura dos cinco orifícios;
- c) colocou-se os corpos-de-prova em imersão, em água filtrada, por aproximadamente cinco minutos;
- d) procedeu-se uma rápida secagem com toalha;
- e) fez-se a leitura com o corpo de prova úmido.

Após o término de todas as 240 leituras, os dados gerados pelo equipamento foram transferidos para o computador e com eles foram geradas planilhas de dados que encontram-se em anexo.

5.3.2 Ensaio de Absorção de Água

Este ensaio tem a intenção de avaliar entre as rochas em estudo, quais apresentam maior tendência a absorver água, avaliando assim a sua maior ou menor capacidade de absorção frente aos diferentes tipos de acabamento superficial. Os materiais utilizados foram: estufa, recipiente com água e balança de precisão. O ensaio realizado em ambiente de laboratório, seguiu o procedimento descrito a seguir.

Os corpos-de-prova foram colocados em estufa, a uma temperatura de aproximadamente 80 graus⁷, até constância de massa, garantindo assim que os mesmos estivessem secos. Após estarem a uma temperatura ambiente as amostras foram pesadas e, logo a seguir, as superfícies em estudo foram expostas a uma lâmina de água constante⁸ de aproximadamente 3 mm (Figura 49). Foram feitas leituras de massa das amostras em diferentes tempos de contato com uma lâmina de água de 3 mm (1, 5, 10, 15, 30, 45 e 60 minutos), conforme exemplifica a figura 50. Em determinado momento, no decorrer do ensaio, foi necessário repor água no recipiente para que se mantivesse a lâmina de água de 3 mm.

⁷ Esta temperatura foi adotada em virtude de, na data de realização do ensaio, as estufas existentes já estarem com ensaio em andamento. Uma vez que não poderia alterar a temperatura da estufa e em função da data de término do trabalho, optou-se por manter esta temperatura do ensaio que já estava em andamento.

⁸ Para que se garantisse a total exposição da superfície em estudo à água, foi utilizada uma tela plástica como espaçador entre o fundo do recipiente e a amostra.



Figura 49: corpos-de-prova com lâmina de água de 3 mm.

As variações cromáticas e de textura observadas na figura 49 são referentes à superfície oposta, a superfície em estudo, que foi inutilizada de maneira a salientar a diferença entre elas, minimizando possíveis erros de ensaio.



Figura 50: amostra sendo pesada.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão abordados os resultados dos experimentos do capítulo anterior, com maior ênfase nas diferenças de cor obtidas.

6.1 ACABAMENTO SUPERFICIAL

Em relação aos diferentes graus de polimento aos quais as rochas foram submetidas, pode-se observar que para os diversos granitos estudados tendem a ter uma cor mais clara quando sua superfície encontra-se bruta, serrada ou desbastada, ou seja, quanto maior o grau de polimento, maior a intensidade da cor da rocha. A figura 51 apresenta os resultados obtidos na etapa de acabamento superficial das rochas em estudo. Na referida figura, o acabamento superficial vai aumentando de cima para baixo, variando com ele a textura e a cor do material.

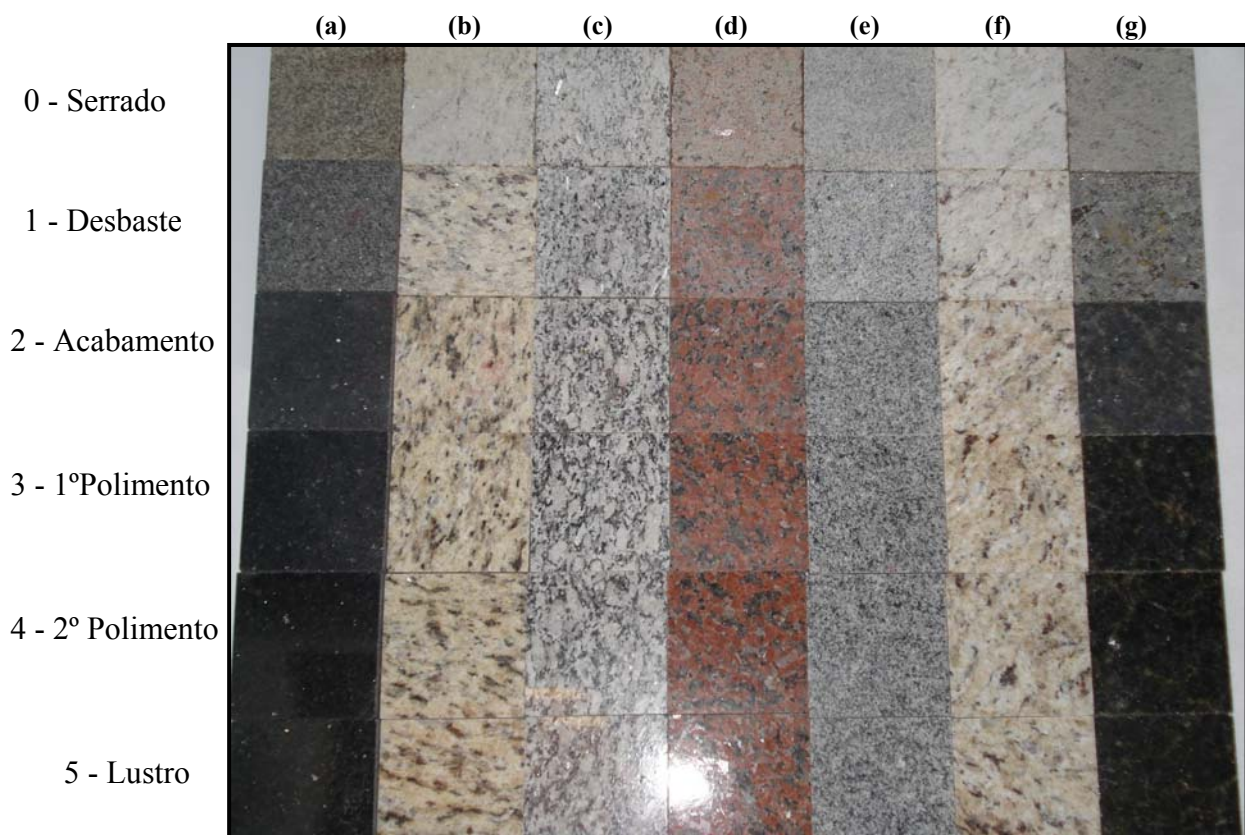
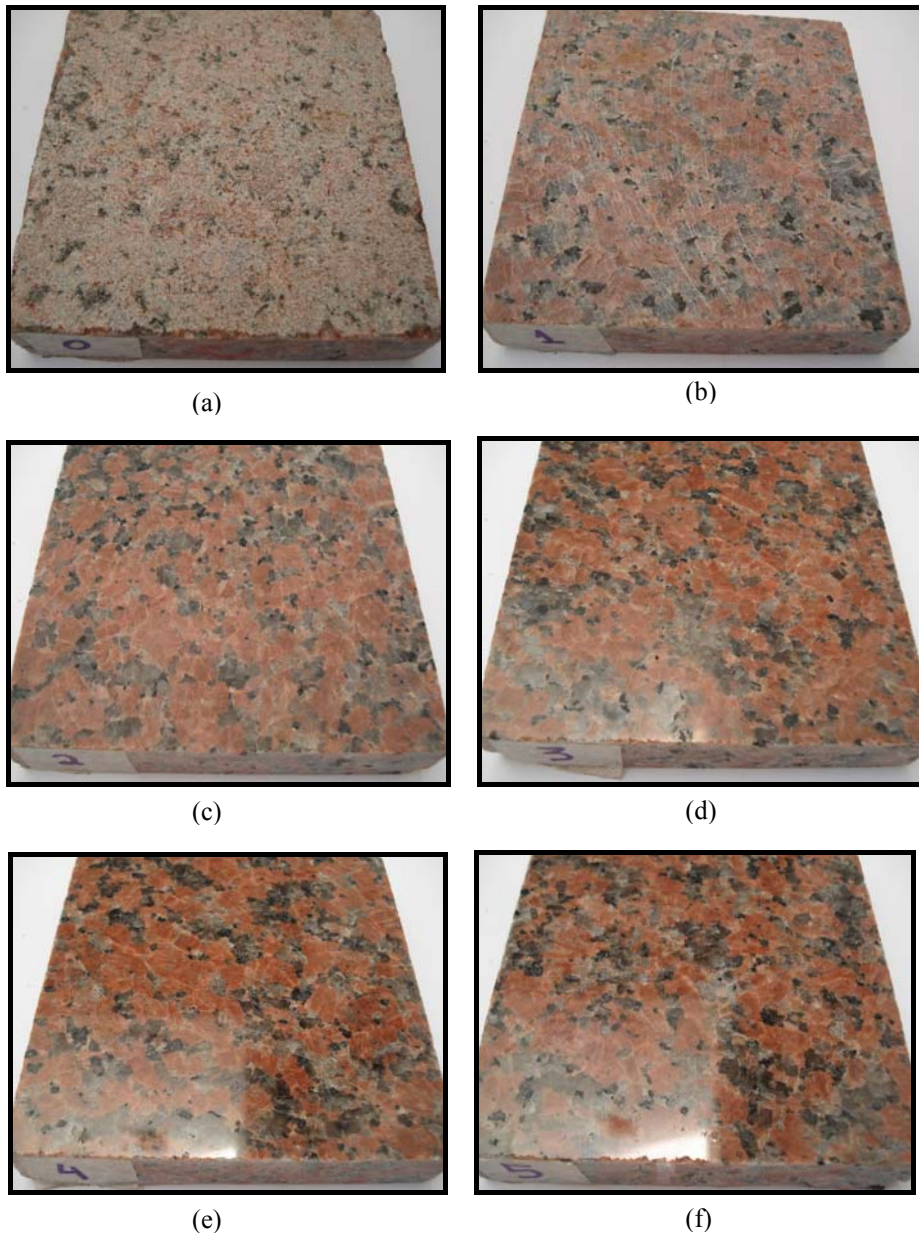
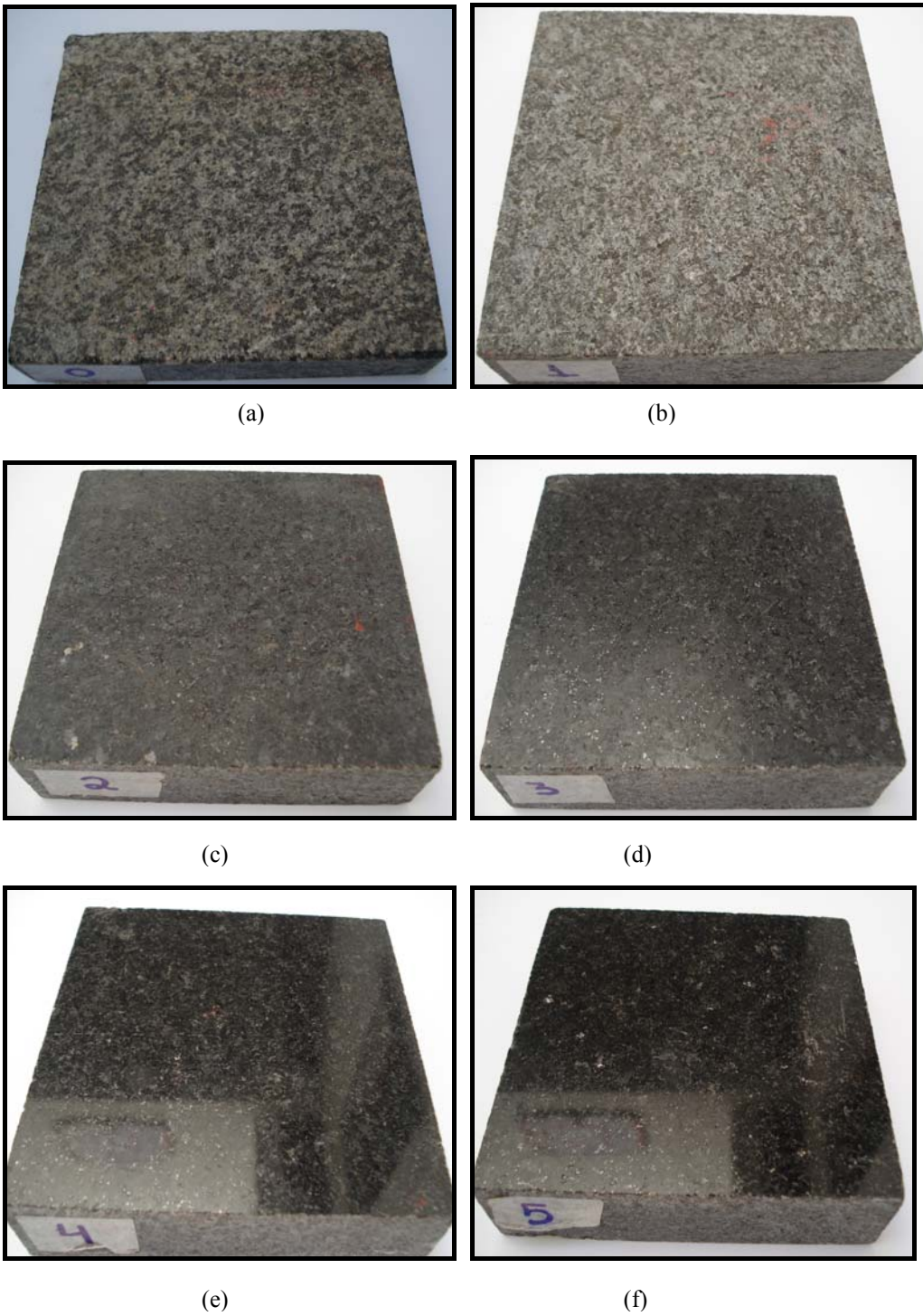


Figura 51: 42 amostras de granito estudadas no trabalho experimental. **(a)** granito preto São Gabriel, **(b)** granito amarelo Santa Cecília, **(c)** granito cinza Corumbá, **(d)** granito vermelho Capão Bonito, **(e)** granito cinza Andorinha, **(f)** granito amarelo Ornamental, **(g)** granito verde Ubatuba.

Nas figuras 52 a 58 podemos observar a grande variação tanto de coloração quanto de textura da superfície da rocha, mostrando assim que quanto maior for o grau de polimento maior será a intensidade da cor da rocha, variando de um tom mais claro até que se apresente a verdadeira cor dos minerais.



Figuras 52: granito vermelho Capão Bonito. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbaste, (c) acabamento, (d) 1º polimento, (e) 2º polimento, (f) lustro.



Figuras 53: granito preto São Gabriel. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbaste, (c) acabamento, (d) 1º polimento, (e) 2º polimento, (f) lustro.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figuras 54: granito cinza Andorinha. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbaste, (c) acabamento, (d) 1° polimento, (e) 2° polimento, (f) lustro.



(a)



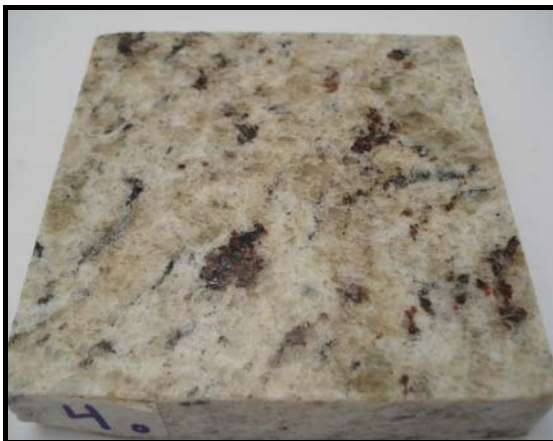
(b)



(c)



(d)

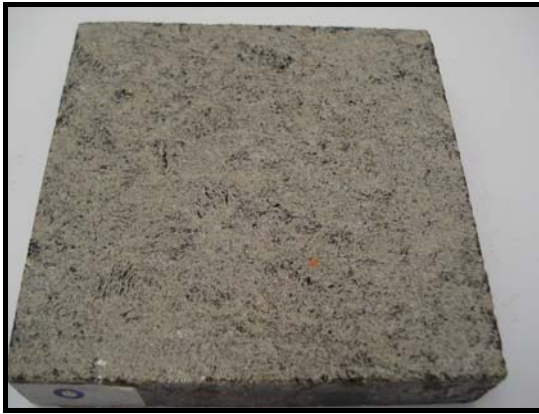


(e)



(f)

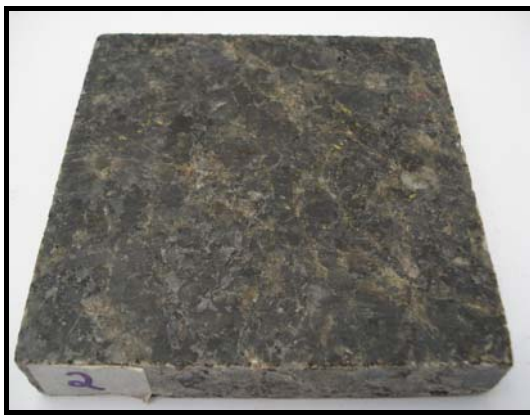
Figuras 55: granito amarelo Ornamental. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbaste, (c) acabamento, (d) 1º polimento, (e) 2º polimento, (f) lustro.



(a)



(b)



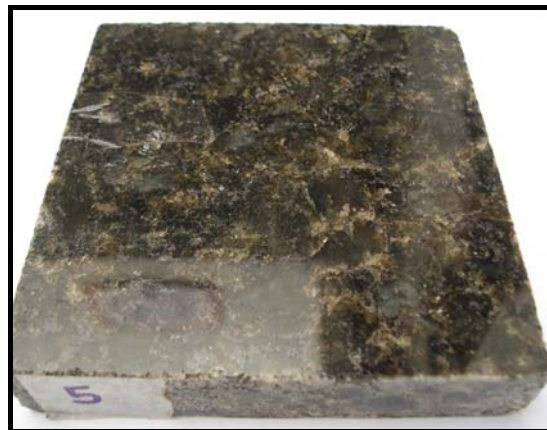
(c)



(d)

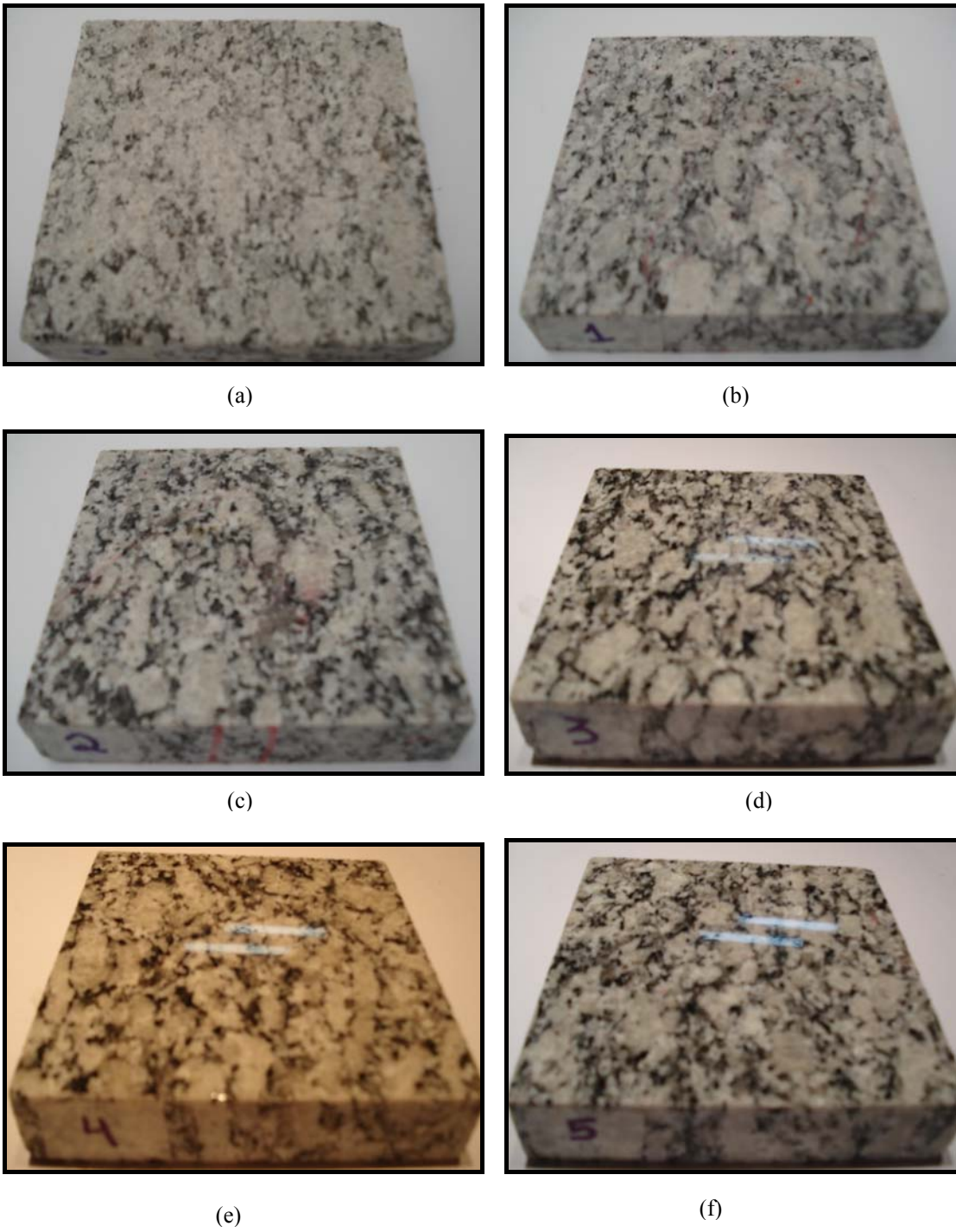


(e)



(f)

Figuras 56: granito verde Ubatuba. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbaste, (c) acabamento, (d) 1° polimento, (e) 2° polimento, (f) lustro.



Figuras 57: granito cinza Corumbá. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbaste, (c) acabamento, (d) 1º polimento, (e) 2º polimento, (f) lustro.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figuras 58: granito amarelo Santa Cecília. Acabamentos: (a) serrado, (b) desbaste, (c) acabamento, (d) 1º polimento, (e) 2º polimento, (f) lustro.

6.2 ANÁLISE COLORIMÉTRICA

O experimento realizado na seção 5.3.1 tem seus resultados representados no gráfico da figura 59, onde pode-se observar que quanto maior o grau de polimento menor a variação de cor das rochas entre o estado seco e o estado úmido, melhorando assim seu desempenho estético. Os resultados completos encontram-se no anexo II. Com acabamento serrado (0) e desbaste (1) os granitos de um modo geral tiveram uma diferença de cor muito grande. Os granitos, amarelo Santa Cecília, amarelo Ornamental, cinza Andorinha e cinza Corumbá, após todo o processo de polimento, tiveram uma diferença de cor **muito grande**, conforme classificação quanto à percepção do observador (quadro 4 , página 51). Já o granito vermelho Capão Bonito apresentou uma diferença de cor **facilmente distinguível**, enquanto que o verde Ubatuba classifica-se como **distinguível**. Apenas o granito preto São Gabriel apresentou uma diferença de cor considerada **pequena**. Nota-se também, que todos os granitos tiveram uma grande diferença de cor entre os estados seco e úmido quando suas superfícies estavam serradas. A partir do terceiro grau de polimento pode-se observar uma diminuição do contraste de cor para os granitos verde Ubatuba, Vermelho Capão Bonito e Preto São Gabriel, que são os granitos mais escuros. A figura 60 reforça esta afirmação através de uma média das diferenças de cor para os diversos granitos estudados frente ao grau de polimento.

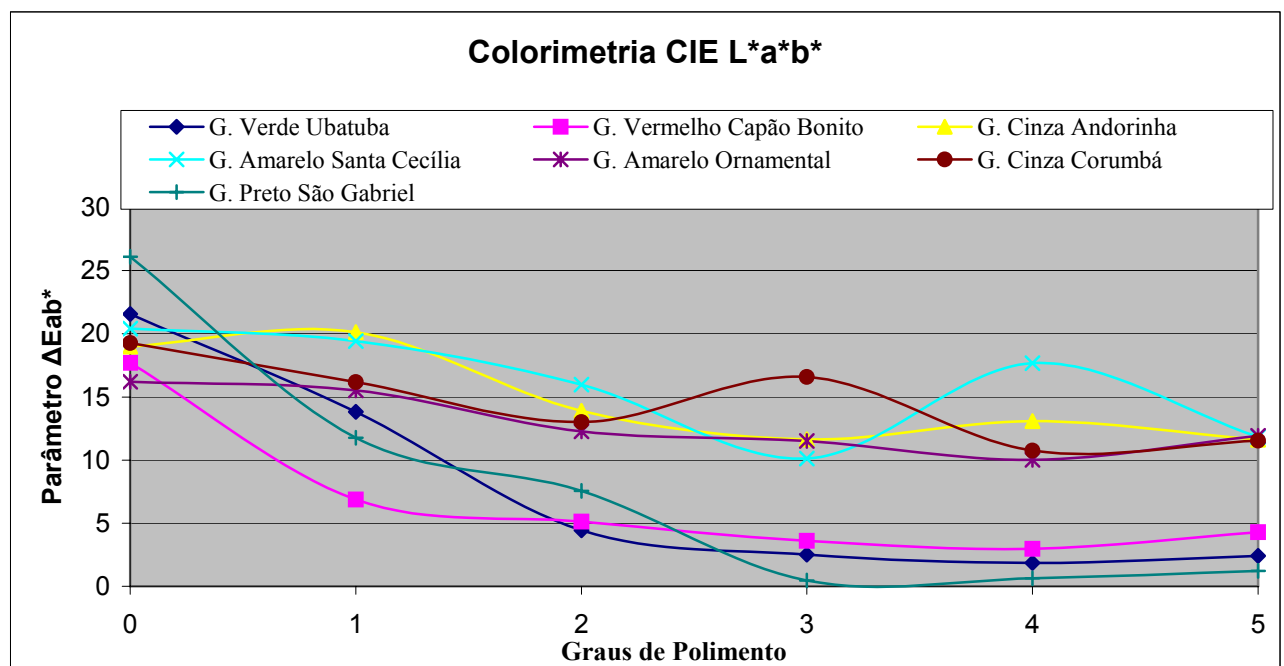


Figura 59: resultados do ensaio de cor para granitos de diferentes cores.

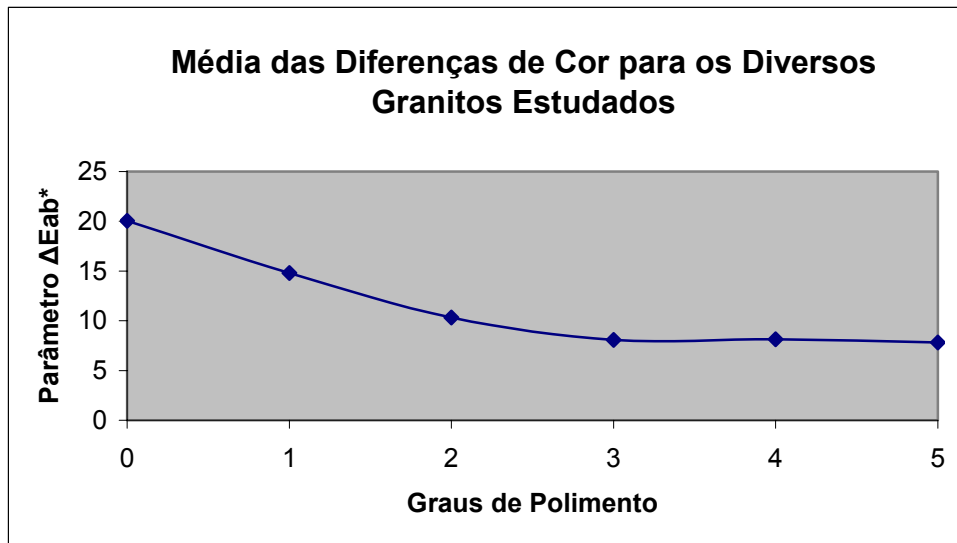


Figura 60: média das diferenças de cor para os diversos granitos estudados

O quadro 7 traz a classificação das rochas estudadas segundo seu desempenho em relação ao contraste de cor, no final do processo de polimento (grau de polimento 5), pois em seu início todos os materiais apresentaram uma diferença de cor muito grande.

Classificação quanto à percepção do observador	Granitos avaliados no estudo experimental
Imperceptível	-
Muito pequena	-
Pequena	G. Preto São Gabriel
Distinguível	G. Verde Ubatuba
Facilmente distinguível	G. Vermelho Capão Bonito
Muito grande	G. Amarelo Santa Cecília G. Cinza Andorinha G. Cinza Corumbá G. Amarelo Ornamental

Quadro 7: classificação das rochas quanto as diferenças de cor, entre o estado seco e úmido, percebidas pelo observador para grau 5 de polimento

Com as informações apresentadas no quadro 7 pode-se verificar o que comercialmente já se afirmava, ou seja, os granitos amarelos e cinzas são os que mais salientam as manchas de umidade. Enquanto que os granitos de coloração mais fechada, como verde, vermelho e preto não apresentam grandes variações entre o estado seco e o estado úmido. É importante salientar que mesmo quando a diferença de cor é classificada como imperceptível ainda se observa uma alteração na cor.

6.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Este ensaio de absorção por capilaridade para argamassa e concreto recebe muitas críticas por ser um ensaio que apresenta muita variabilidade (MASUERO, 2001).

No caso do ensaio realizado em rochas, onde a diferença de massa entre o corpo-de-prova seco e úmido é muito pequena, torna-se importante realizar este ensaio em ambiente com temperatura e umidade controlada. O tempo entre a retirada do corpo-de-prova da água e sua pesagem deve ser muito curto, pois neste período ocorre evaporação, aumentando a variabilidade do ensaio.

Os resultados do ensaio de absorção de água são apresentados nas figuras 58 a 64. Observa-se que os granitos amarelos e cinzas absorvem uma maior quantidade de água enquanto que os demais apresentaram uma pequena absorção de água. As tabelas com os valores obtidos do ensaio estão descritas no anexo III.

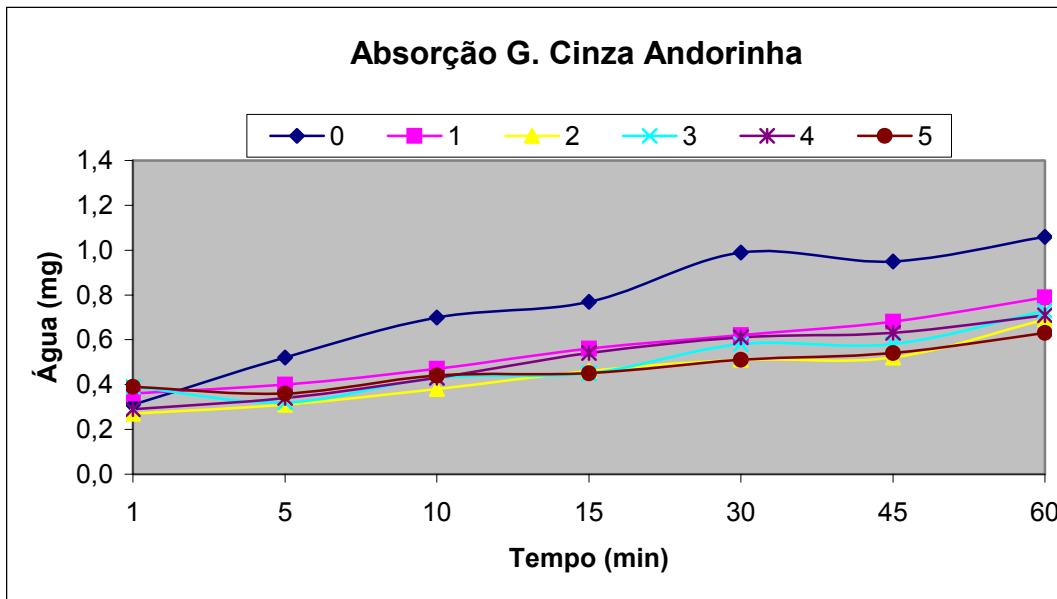


Figura 61: absorção - granito cinza Andorinha

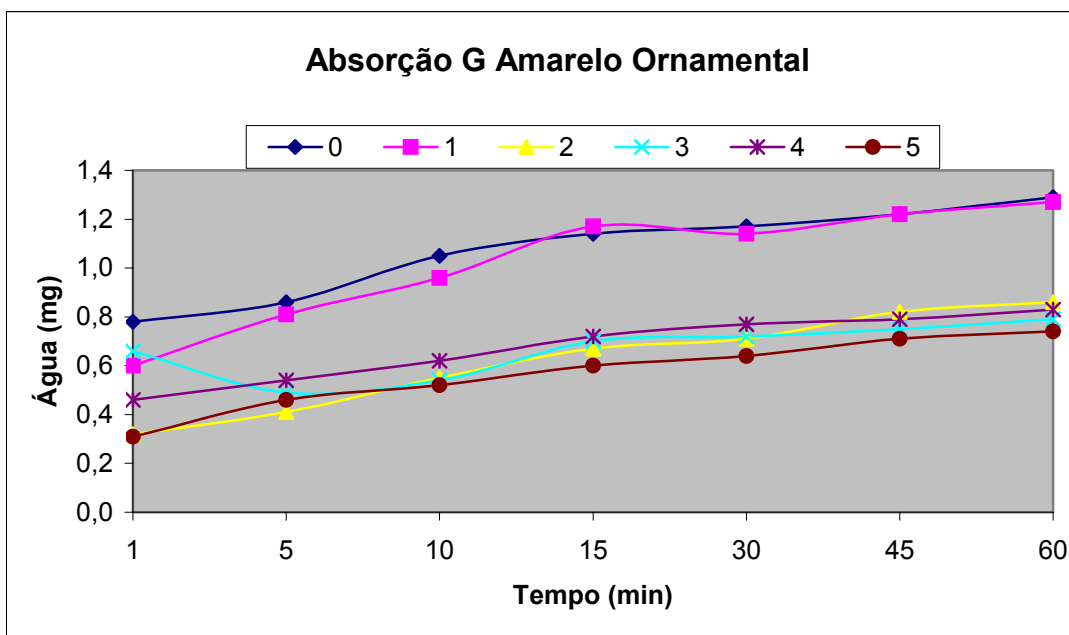


Figura 62: absorção - granito amarelo Ornamental

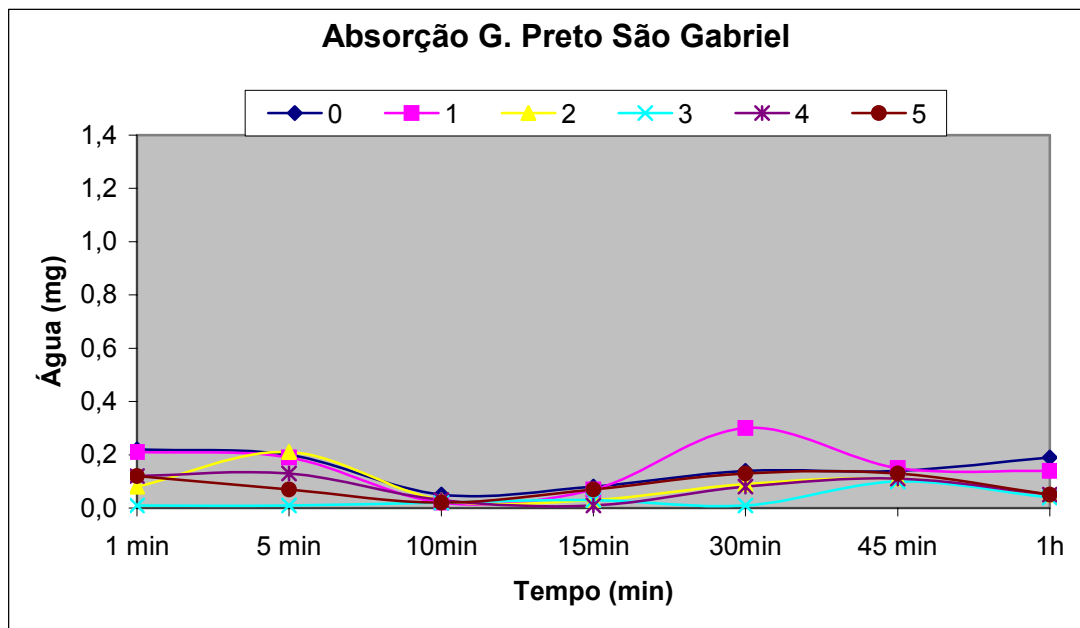


Figura 63: absorção - granito preto São Gabriel

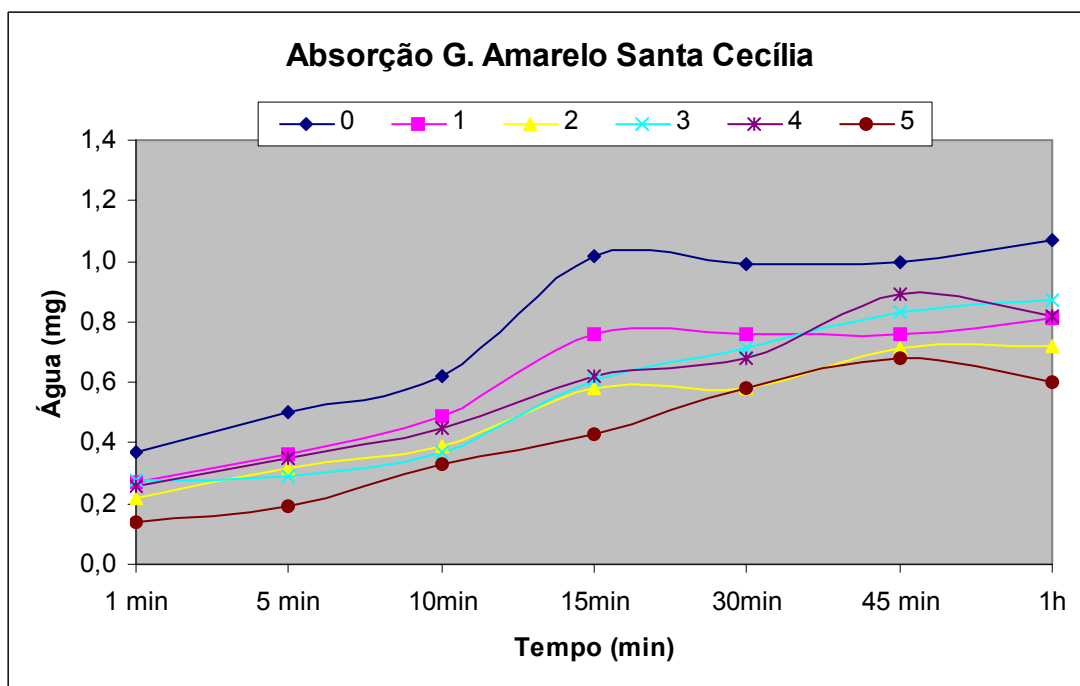


Figura 64: absorção - granito amarelo Santa Cecília

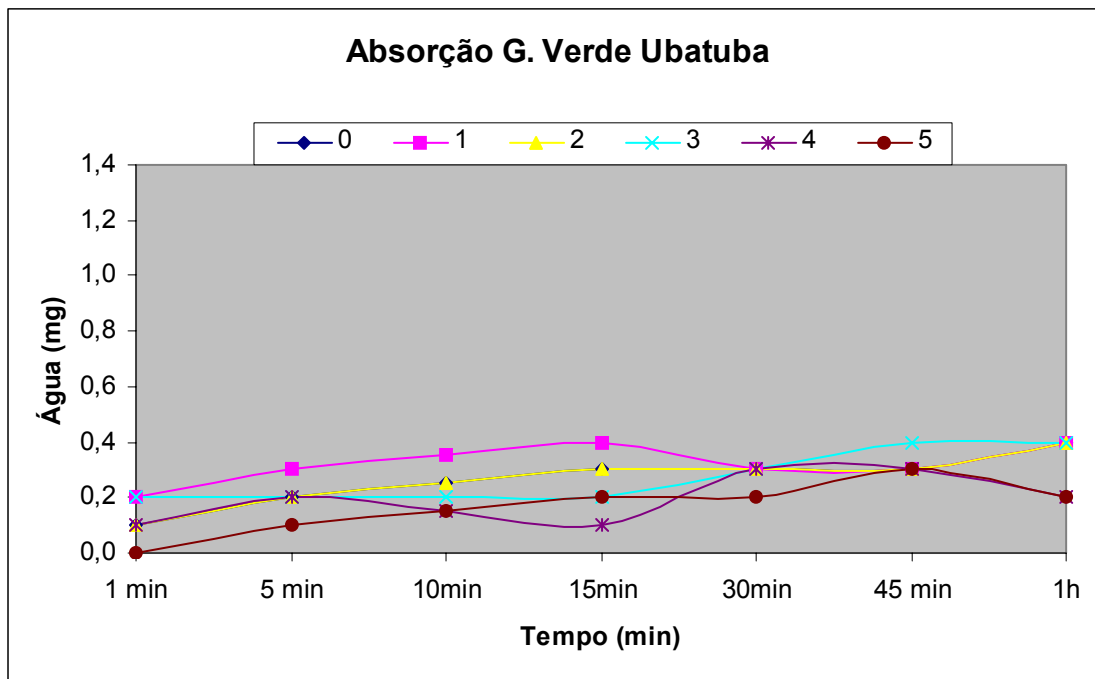


Figura 65: absorção - granito verde Ubatuba

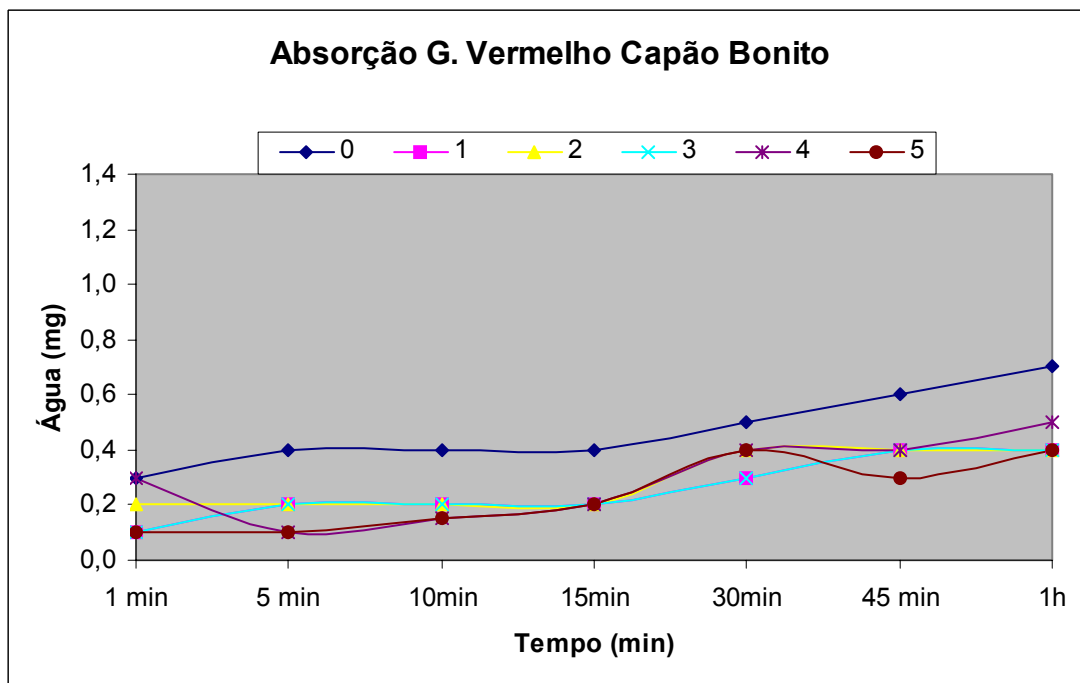


Figura 66: absorção - granito vermelho Capão Bonito

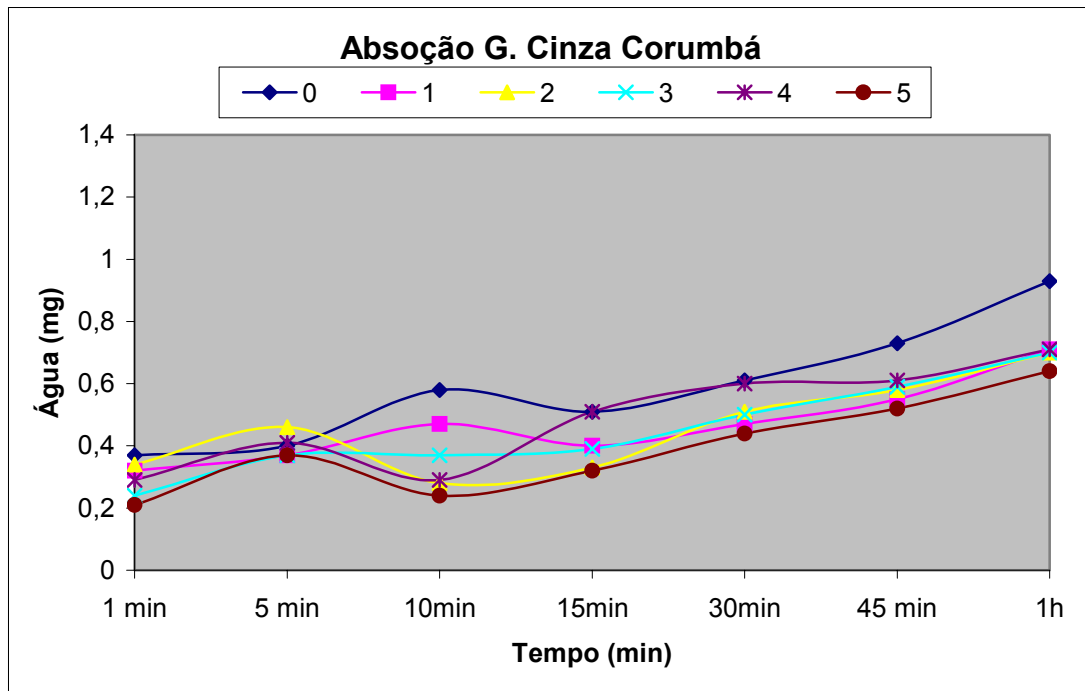


Figura 67: absorção - granito cinza Corumbá

CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões extraídas da pesquisa, obtidas a partir de análises dos resultados dos ensaios de comportamento cromático e de absorção de água das rochas pré-definidas na seção 6.1 deste trabalho. Serão também discutidas sugestões para futuros trabalhos na área de interesse desta dissertação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de rochas ornamentais vem crescendo de maneira sólida no mercado da construção civil, e com isto existe a necessidade de conhecimentos mais profundos sobre as condições de aplicação das rochas de maneira racional e eficaz. O sucesso na utilização de rochas ornamentais, em suas diversas aplicações, só poderá ser atingido quando se disponibilizar um amplo conhecimento quanto ao seu comportamento estrutural e arquitetônico. Este trabalho de pesquisa buscou colaborar neste sentido, principalmente ao versar sobre a influência do tipo de rocha no manchamento frente à umidade de revestimentos pétreos.

A análise dos dados coletados nos ensaios realizados, contidos na seção 5.3.1, permite tecer uma série de considerações que merecem destaque neste ponto, pois fundamentam as conclusões do trabalho.

Em primeiro lugar, salienta-se que ao sofrerem acabamento superficial, as rochas apresentaram mudanças cromáticas significativas além da alteração da textura de sua superfície.

Ao se observar como o grau de polimento dos granitos selecionados, conforme seção 5.1, influencia na absorção de água, verifica-se que na maioria das rochas, o acabamento superficial serrado (bruto) absorve mais que o acabamento polido. Salienta-se também que a

partir do grau de polimento 3 a quantidade de água absorvida praticamente se equivale a quantidade de água absorvida pelo grau de polimento 5.

Pode-se verificar que houve uma certa linearidade com relação às manchas de umidade e a absorção de água das rochas, ou seja, as rochas que apresentaram maior contraste de cor foram aquelas cuja absorção foi mais expressiva. Porém, como o ensaio de absorção teve certas limitações, não seria conveniente fazer tal afirmação.

A realização do programa experimental proposto neste trabalho permitiu coletar subsídios para que, validada a hipótese proposta no capítulo 1, com isso fossem elaboradas algumas conclusões, apresentadas a seguir.

Em relação ao manchamento das rochas frente à umidade, à medida que aumenta o grau de polimento da superfície das rochas estudadas ocorre, uma diminuição do contraste de cor.

Em relação ao tipo de rocha, através da análise colorimétrica, observa-se que todas as rochas estudadas apresentaram diferença de cor em maior ou menor escala. As rochas de coloração cinza (granito cinza Corumbá e granito cinza Andorinha) e amarela (granito amarelo Ornamental e granito amarelo Santa Cecília) apresentam uma percepção de contraste de cor muito grande frente a manchas de umidade. O granito vermelho Capão Bonito é facilmente distinguível, enquanto que o granito verde Ubatuba enquadra-se como distinguível. Já a variação de cor do granito preto São Gabriel é considerada pequena frente ao manchamento por umidade.

O ensaio de absorção de água por capilaridade recebe muitas críticas por apresentar muita variabilidade. Mesmo assim, pode descrever que quanto maior for o grau de polimento, menor será a absorção. As rochas que mais absorveram água foram as amarelas e as cinzas, seguidas do granito vermelho Capão Bonito, granito verde Ubatuba e granito preto São Gabriel.

Visando uma melhor recomendação de aplicação das rochas, sugere-se que se utilize em maior escala, materiais que apresentem uma pequena variação de cor frente ao manchamento por umidade, de maneira a não comprometer o aspecto estético da edificação. Um exemplo claro de aplicação que se pode evitar é a utilização de materiais de grande contraste de cores na presença de umidade, na fachada sul de uma edificação ou em qualquer ambiente no qual a rocha fique exposta constantemente à umidade.

A arquitetura atual dispõe de uma vasta variedade de acabamentos superficiais em rochas ornamentais. O estudo de utilização destes materiais em suas diversas aplicações garante um melhor desempenho convertendo-se assim em benefícios para o usuário final.

A concepção do projeto deve ser o resultado de um estudo aprofundado e exato não apenas das rochas de revestimento, mas de tudo o que se relaciona com ela.⁹

SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Dadas as limitações naturais de um trabalho de diplomação, esta pesquisa só pôde abordar uma pequena fração dos diferentes tipos de rochas ornamentais e de revestimentos existentes no mercado da construção civil, sendo restrito também os tipos de acabamentos superficiais em rochas oferecidos a especificadores de materiais para revestimento. Sendo assim, muitas são as derivações possíveis para continuação deste estudo. Na opinião da autora as mais pertinentes envolveriam os seguintes tópicos:

- avaliação do contraste de cor nas rochas ornamentais levando em consideração os recentes tipos de acabamento superficial que a arquitetura dispõe, tais como: levigado, flameado, apicoado entre outros.
- análise da utilização de selantes e impermeabilizantes de superfícies rochosas;
- este estudo levou em consideração o brilho das superfícies rochosas, sugere-se um estudo comparativo das diferenças de cor não considerando o brilho no ensaio de cor;
- realizar o ensaio de absorção de acordo com a norma de absorção NBR12766.

⁹ “La progettazione deve essere il risultato di uno studio approfondito ed esatto non solo delle pietre di rivestimento ma di tutte le connessione relative.”- Centro Formazione Professionale –Marmi-Pietre-Graniti –S. Abrogio di Valpolicella/Vernona - ITALIA

REFERÊNCIAS

- BÍBLIA SAGRADA, 2000. **Bíblia Sagrada, Nova Versão Internacional**. São Paulo: Vida, 2000
- CENTRO FORMAZIONE PROFESSIONALE MARMI PIETRE GRANITI. **Posa in Opera**. Anno formativo 1998/1999. S. Ambrogio di Valporicella – Verona – Itália
- EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA DAS FACHADAS DE GRANITO IMPRIME NOVO PERFIL À ARQUITETURA BRASILEIRA. **Rochas de Qualidade**: Granitos, mármore e pedras ornamentais. São Paulo, Edição 180, p. 176-188, jan/fev. 2005.
- FIORETTI, G. B. **Acervo Pessoal**. 1999, 2005, 2006, 2007.
- FIORETTI MÁRMORES, **Catálogo** 2006.
- FLAIN, Eleana Patta, Recomendações para revestimentos de fachadas de rochas ornamentais. **Rochas de Qualidade**. São Paulo, Edição 132, p. 76-92, jan/fev. 1997.
- FLAIN, Eleana Patta, Fatores intervenientes no desempenho de revestimentos de pisos com material rochoso e algumas manifestações patológicas. **Rochas de Qualidade**. São Paulo, Edição 171, p. 138-146, jul/ago. 2003.
- FLAIN, Eleana Patta; FRAZÃO, Ely Borges. Considerações sobre algumas patologias em revestimentos com placas pétreas. **Rochas de Qualidade**. São Paulo, Edição 140, p. 86-92, maio/jun. 1998.
- FRASCÁ, Maria H. B. O. Durabilidade e alterabilidade em rochas ornamentais e para revestimento. **Rochas de Qualidade** – Granitos, mármore e pedras ornamentais. São Paulo, Edição 165, p. 176-188, jul/ago. 2002.
- FRASCÁ, Maria H. B. O; FRAZÃO, Ely Borges, A normatização no setor de rochas para revestimento. **Rochas de Qualidade**. São Paulo, Edição 167, p.136-144, nov/dez. 2002.
- FRAZÃO, Ely Borges; FARJALLAT, José Eduardo S. Seleção de pedras para revestimento e prioridades requeridas. **Rochas de Qualidade**. São Paulo, Edição 124, p. 80-94, set/out. 1995.
- GAMA, Helmo Bagdá, **Principais patologias associadas ao uso de rochas ornamentais**. In: I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais; II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 28 nov. _ 01 dezembro 2001, Salvador. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002, Anais, Salvador –BA.
- GLIESE, R. **Medição espectrofotométrica de polpa de caulim visando o controle do processo de beneficiamento**. 2003, 148f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS, 2003.
- HUNTERLAB. CIE L*a*b* color scale. **Applications note**, v. 8, n. 7, July 1-15, 1996. Disponível em: <http://www.hunterlab.com>. Acesso em: 02 dez. 2006.

- HUNTERLAB. **The basics of color perception and measurement**. Version 1.4, 2001. Disponível em: <http://www.hunterlab.com>. Acesso em: 02 dez. 2006.
- KLOSS, C. L. **Materiais para construção civil**. 1 ed. Curitiba: Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 1991.
- MALHEIROS, G. C. **Estudo da alteração da cor e degradação da clorofila durante armazenagem de erva-mate tipo chimarrão**. 2007. 104 f. Dissertação Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos – Curso de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- MARANHÃO, Flávio Leal; BARROS, Mércia M. S. B. **Causas de patologias e recomendações para a produção de revestimentos aderentes com placas de rocha**. São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MASUERO, A.B. **Estabilização das escórias de acearia elétrica com vistas a sua utilização como substituição ao cimento**. 2001, 262f., Tese (Doutorado), PPGEM, UFRGS, Porto Alegre, 2001
- OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.); **Geologia de Engenharia**, ed. 1. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.
- PASSUELO, Alessandra. **Análise de parâmetros influentes na cromaticidade e no comportamento mecânico de concretos à base de cimento branco**. Porto Alegre: Dissertação (Mestrado) – CPGEC/ UFRGS, 2004.
- PETRUCCI, Eladio G. R. **Materiais de Construção**. 8 Ed. Rio de Janeiro: ed. Globo, 1987.
- PETTER, C. O., GLIESE, R., **Fundamentos de Colorimetria**. Apostila do Curso de Colorimetria. Laprom, 2004.
- RICARDO, Sandra M. R. Machado dos Reis. **Modelo para garantia da qualidade de revestimentos em pedra natural de paramentos verticais**. Lisboa, 1992. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior Técnica, Modalidade Construção.
- ROCHAS ORNAMENTAIS NO SÉCULO XXI. **Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais**. Disponível em: <http://www.abirochas.org.br>. Acesso em: 15 nov. 2006.
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL-SENAI. **Cartilha de aplicação de rochas ornamentais**, volume 1 – Pisos. Brasília, 2000.
- SILVA, M.L. **Luz, lâmpadas e iluminação**. Porto Alegre: ed. Pallotti, 2002.
- SILVA, R. A.; PETTER, C. O.; SCHNEIDER, I. A. H. **Avaliação da Perda da Coloração Artificial de Águas**. IN: ENTMMME, XXI, 2005, Natal/ RN. Artigo. PPGEM/UFRGS
- SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE MÁRMORES E GRANITOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL-SIMAG. **Conheça mármores e granitos**. Apostila do Sindicato das Indústrias de Mármores e granitos do Estado do Rio Grande do Sul. S.d.

TRISTÃO, Fernando Avancini et al. **Análise de manchas em revestimentos com placas de granito**. In: Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções IV e Congresso de Controle de Qualidade, VI. Porto Alegre, RS. 1997. p. 281-287. Artigo Técnico

APÊNDICE I - CONTROLE DO TEMPO DE POLIMENTO

Etapa: Acabamento Superficial					
Material: G. Amarelo Ornamental			Material: G. Santa Cecília		
Amostras	Grão	Duração (min)	Amostras	Grão	Duração (min)
0	serrado	-	0	serrado	-
1	36	5	1	36	5
2	60	5	2	60	3
	120	4		120	3
	220	4		220	5
3	400	9	3	400	7
	600	5		600	6
4	1000	5	4	1000	7
	1200	6		1200	5
5	3600	4	5	3600	5
Tempo total		47	Tempo total		46
Material: G. Cinza Andorinha			Material: G. Cinza Corumbá		
Amostras	Grão	Duração (min)	Amostras	Grão	Duração (min)
0	serrado	-	0	serrado	-
1	36	4	1	36	7
2	60	3	2	60	4
	120	2		120	6
	220	3		220	4
3	400	4	3	400	6
	600	6		600	6
4	1000	5	4	1000	5
	1200	5		1200	5
5	3600	2	5	3600	4
Tempo total		34	Tempo total		47
Material: G. Preto São Gabriel			Material: G. Verde Ubatuba		
Amostras	Grão	Duração (min)	Amostras	Grão	Duração (min)
0	serrado	-	0	serrado	-
1	36	5	1	36	10
2	60	3	2	60	5
	120	4		120	5
	220	5		220	6
3	400	5	3	400	5
	600	5		600	6
4	1000	6	4	1000	8
	1200	6		1200	5
5	3600	4	5	3600	7
Tempo total		43	Tempo total		57
Material: G. Vermelho Capão Bonito					
Amostras	Grão	Duração (min)			
0	serrado	-			
1	36	17			
2	60	8			
	120	5			
	220	6			
3	400	6			
	600	7			
4	1000	7			
	1200	6			
5	3600	3			
Tempo total		65			

APÊNDICE II - LEITURAS COLORIMÉTRICAS DAS ROCHAS ESTUDADAS

		34,0152	-0,4841	-0,5466	28,1383	-0,2699	-0,1643
		28,5144	-0,3604	0,253	29,0804	-0,0358	-0,0234
		22,7526	-0,3236	0,7225	29,3979	-0,074	-0,2398
		30,4956	-0,1801	0,3234	29,3964	-0,1117	-0,1689
		30,5136	-0,2369	-0,0198	28,8001	-0,1171	-0,1527
G. Preto São Gabriel	3	29,25828	-0,31702	0,1465	28,96262	-0,1217	-0,14982
		29,8139	-0,2998	-0,1894	31,2884	0,0951	1,0134
		32,5598	-0,0551	1,5391	31,1425	-0,0668	0,3437
		31,9364	-0,0711	0,5866	29,7137	-0,3564	-0,1775
		30,307	-0,4358	-0,1339	31,0843	-0,2706	-0,0177
		31,2844	-0,234	0,1433	29,8449	-0,2573	-0,6916
G. Preto São Gabriel	4	31,1803	-0,21916	0,38914	30,61476	-0,1712	0,09406
		30,9794	-0,2556	-0,0091	30,235	-0,1447	0,3506
		31,859	-0,2447	0,2694	30,3038	-0,2157	-0,0873
		31,0266	-0,369	0,1111	31,4147	-0,1325	0,4163
		31,5044	-0,0216	0,8225	30,5637	-0,4306	-0,1509
		27,8385	0,9295	5,8577	30,8604	-0,0068	0,5762
G. Preto São Gabriel	5	30,64158	0,00772	1,41032	30,67552	-0,18606	0,22098

APÊNDICE III – LEITURAS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO

