

Ministério da Educação
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral
PPGEMinas

**USO E APLICAÇÃO DE MATERIAIS ARTIFICIAIS
COMO ROCHA ORNAMENTAL**

Rodrigo Pedrosa Dantas Lima

Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza

Recife, 2010

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

**USO E APLICAÇÃO DE MATERIAIS ARTIFICIAIS
COMO ROCHA ORNAMENTAL**

Por

Rodrigo Pedrosa Dantas Lima

Engenheiro Civil

Trabalho realizado no Laboratório de Planejamento de Lavra- LAPLA-
CTG - UFPE, do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral –
PPGEMinas, UFPE.

Recife, 2010

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

L732u

Lima, Rodrigo Pedrosa Dantas.

Uso e aplicação de materiais artificiais como rocha ornamental / Rodrigo Pedrosa Dantas Lima. - Recife: O Autor, 2010.

vi, 111 folhas; il., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Sílvio José de Macêdo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2011.

Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia mineral. 2. Rochas ornamentais. 3. Marmoglass. I. Souza, Júlio César de (orientador). II. Título

623.26 CDD (22. ed.)

UFPE/BCTG/2011-98

USO E APLICAÇÃO DE MATERIAIS ARTIFICIAIS COMO ROCHA ORNAMENTAL

DISSERTAÇÃO

Submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do Título de:

MESTRE EM ENGENHARIA MINERAL

Área de concentração: Rochas Ornamentais

por

Rodrigo Pedrosa Dantas Lima
(Engenheiro Civil)

2010



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL
PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA

DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

RODRIGO PEDROSA DANTAS LIMA

**USO E APLICAÇÃO DE MATERIAL ARTIFICIAL ("MARMOGLASS"),
COMO ROCHA ORNAMENTAL,**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MINERAIS E ROCHAS INDUSTRIAIS

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do
Dr. Júlio César de Souza, considera o candidato.

RODRIGO PEDROSA DANTAS LIMA, Aprovado.

Recife, 10 de Dezembro de 2010.

Drº. JÚLIO CÉSAR DE SOUZA - Primeiro Examinador Interno (UFPE)

Dr. FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL - Segundo Examinador Externo
(CETEM-RJ)

Dra. FELISBELA MARIA DA COSTA OLIVEIRA - Terceiro Examinador Externo
(UFPE)

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA MINERAL, Área de concentração: Rochas Ornamentais, e aprovada em sua forma final, pelo orientador e pela banca examinadora do curso de Pós Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza
Departamento de Engenharia de Minas, UFPE

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Júlio César de Souza
Departamento de Engenharia de Minas, UFPE

Prof^a. Dr^a. Felisbela Maria da Costa Oliveira
Departamento de Geologia, UFPE

Dr. Francisco Wilson de Holanda Vidal
Centro de Tecnologia Mineral, CETEM / MCT

Coordenador do PPGEMinas:

Prof. Dr. Júlio César de Souza
Departamento de Engenharia de Minas, UFPE

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Prof. Júlio Cesar de Souza, pela orientação e apoio em todos os momentos, dentro e fora da sala de aula.

Aos meus pais, Corsino e Graça, e aos meus, filhos Lucas e Gabriel, por me inspirarem a uma evolução profissional e pessoal contínua.

Também agradeço à turma do mestrado do PPGEMINAS e os funcionários que ali trabalham, em especial a Juan Parlatto que sempre esteve presente na elaboração dos ensaios aqui realizados.

Aos professores Carlos Magno Muniz, Eldemar de Albuquerque Menor, Robson Ribeiro Lima, José Lins Rolin Filho e à professora Felisbela Maria da Costa Oliveira, por estarem sempre presentes, incentivando-nos ao sucesso.

Um agradecimento especial a Dr. Ricardo Maranhão da Granex-Granitos de Exportação, a Kátia Peixoto, da Pleno revestimentos e às Marmorarias Olho D'água e Marmoart por fornecerem dados e amostras necessários para elaboração deste trabalho.

“Sou filho de Deus. Sou saudável. Que manhã maravilhosa!
Coisas boas virão”

Massaharu Taniguchi

1 SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XIV
RESUMO.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUÇÃO	3
OBJETIVOS	5
CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
1.1 Cadeia Produtiva do Setor de Rochas Ornamentais.....	6
1.1.1 Características da Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais	7
1.1.2 Principais Elos da Cadeia Produtiva do Setor.....	9
1.2 Produtos Obtidos na Cadeia Produtiva	11
1.3 Aspectos Tecnológicos da Produção do Marmoglass.....	13
1.4 O Processo de Cristalização do Marmoglass.....	15
1.5 Ensaio Tecnológicos	17
1.5.1 Índices Físicos (NBR 12.766).....	20
1.5.2 Desgate Amsler (NBR 12.042).....	20

1.5.3 Impacto de Corpo Duro (NBR 12.764)	21
1.5.4 Resistência à Tração Por Flexão (NBR 12.763)	22
1.6 Parâmetros Tecnológicos do Marmoglass	23
1.6.1 Composição Química do Marmoglass	23
1.6.2 Peso Específico	23
1.6.3 Resistência a Flexão	23
1.6.4 Resistência a Abrasão	25
1.6.5 Resistência ao Impacto de Corpo Duro	25
1.7 Aplicação de Rochas na Construção Civil.....	25
1.7.1 Metodologias de Aplicação	25
1.7.2 Rochas Ornamentais na Construção Civil.....	26
1.7.3 Sistema de Fixação.....	26
1.8 Propriedades Estruturais da Rocha.....	28
1.9 Patologias em Rochas Ornamentais	31
1.9.1 Manchamentos.....	31
1.9.2 Eflorescência.....	32
1.9.3 Fissuras.....	33

1.9.4 Destacamento	34
1.9.5 Fungos	34
1.10 Aplicação do Marmoglass na Construção Civil	34
1.11 Análise Colorimétrica de Rochas Ornamentais	36
1.11.1 Fundamentos da Cor	36
1.11.2 Fenômenos Físicos que Ocorrem com a Luz.....	37
1.11.3 Parâmetros Colorimétricos.....	38
1.11.4 Sistema de Medições de Cores	39
1.11.5 Aplicação da Colorimetria para Avaliação de Alterabilidade de Rochas	42
CAPÍTULO II – METODOLOGIA EXPERIMENTAL	43
2.1 Caracterização do Marmoglass.....	43
2.2 Ensaio Tecnológicos do Marmoglass	43
2.2.1 Índices Físicos	44
2.2.2 Resistência a Flexão.....	46
2.2.3 Desgaste Amsler	47
2.2.4 Impacto de Corpo Duro	48
2.3 Ensaio de Alterabilidade Química Acelerada	49
2.4 Levantamento de Campo	53

CAPÍTULO III – RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
3.1. Caracterização do Marmoglass	54
3.1.1 Descrição Macroscópica	54
3.2. Análise Química do Marmoglass	54
3.3. Ensaio Tecnológicos	57
3.3.1 Massa Específica Aparente Seca	58
3.3.2 Massa Específica Aparente Saturada	58
3.3.3 Porosidade Aparente	59
3.3.4 Absorção de Água Aparente	60
3.3.5 Resistência a Flexão	61
3.3.6 Desgaste Amsler	62
3.3.7 Impacto de Corpo Duro	62
3.4. Análise de Alterabilidade Acelerada	63
3.5. Levantamento de Campo	65
CAPÍTULO IV – CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	73

2 LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Decomposição da cadeia produtiva principal do setor de rochas ornamentais.

Figura 2 – Cadeia produtiva primária do setor de rochas ornamentais.

Figura 3 – Partículas granulares de vidro.

Figura 4 – Prateleira de montagem antes da cristalização e após cristalização.

Figura 5 - Partículas de vidro a temperatura ambiente.

Figura 6 – Adensamento do vidro a 850°C.

Figura 7 – Cristalização começa a 950°C.

Figura 8 – A cristalização total do Marmoglass ocorre a cerca de 1.100°C.

Figura 9: Microfotografia dos cristais de Marmoglass após sua fabricação.

Figura 10: Metodologia de ensaio de resistência à flexão em quatro pontos.

Figura 11 - Ilustração do método de fixação utilizando "inserts" metálicos e placas de 3 cm de espessura (fonte: Dorvo Ferragens e Máquinas Ltda)

Figura 12 - Detalhe da fixação com "inserts" metálicos e vista superior da fachada do Edifício Flat Beira Mar, situado na cidade do Recife.

Figura 13 - Vista inferior de "insert" metálico de sustentação.

Figura 14: Manchamento em um revestimento de fachada na cidade do Recife assentada segundo a técnica de grande espessura.

Figura 15: Manchamento devido a oxidação das “grapás” em um revestimento com placas de rocha na cidade do Recife.

Figura 16: Manchamentos devido ao selante.

Figura 17: Oxidação precoce dos “inserts” metálicos.

Figura 18: Eflorescência em revestimento de fachada na cidade do Recife.

Figura 19: revestimento do tipo aderente fissurado.

Figura 20: revestimento do tipo não-aderente fissurado na posição do “insert” metálico.

Figura 21: Aplicação de “*marmoglass*” em fachada do edifício Demir Bank, Turquia.

Figura 22: Revestimento interno e pavimentação do metrô em Dusseldorf, Alemanha.

Figura 23: Fonte de luz, objeto iluminado e detector foto-sensível.

Figura 24: Fenômeno da reflexão da luz em diferentes tipos de superfícies, com o aumento da rugosidade. Fonte: (Kingery, 1976).

Figura 25: Espectros de reflectâncias de objetos opacos e coloridos, na faixa de comprimento de onda do visível. Fonte: Billmeyer e Saltzman (1966).

Figura 26: Relação entre os parâmetros tonalidade, saturação e intensidade.

Figura 27: Representação do sólido colorido para o espaço colorimétrico $L^*a^*b^*$ (Minolta, 1994).

Figura 28: Diagrama de cromaticidade representando o sólido seccionado com L^* constante (Minolta 1994).

Figura 29: Equipamento utilizado para execução dos ensaios de resistência à flexão (Laboratório de Mecânica de Solos e Instrumentação – DECIV/UFPE).

Figura 30: Pesagem a seco de corpo de prova para determinação dos índices físicos do marmoglass.

Figura 31: Equipamento utilizado para execução dos ensaios de resistência à flexão (Laboratório de Mecânica de Solos e instrumentação – DECIV/UFPE).

Figura 32: Rompimento de corpo de prova na hora da medição.

Figura 33: Equipamento para execução do ensaio de resistência ao desgaste abrasivo tipo Amsler.

Figura 34: Ruptura de corpo de prova no equipamento de impacto de corpo duro disponível no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE.

Figura 35: Equipamento de medição de cor utilizado para ensaios de alterabilidade acelerada do Laboratório de Rochas Ornamentais do DEMINAS/UFPE.

Figura 36: Amostras de marmoglass imersas em reagentes químicos para ensaios de alterabilidade acelerada.

Figura 37: Microfotografias digitais com aumento de 200X. Marmoglass branco (superior à esquerda); marmoglass bege (superior à direita) e face vítrea do marmoglass bege (abaixo).

Figura 38: Resultados dos ensaios de determinação da massa específica seca.

Figura 39: Resultados dos ensaios de determinação da massa específica saturada.

Figura 40: Resultados dos ensaios de determinação da porosidade aparente.

Figura 41: Resultados dos ensaios de determinação da absorção d'água aparente.

Figura 42: Resultados dos ensaios de determinação da resistência à flexão.

Figura 43: Resultados dos ensaios de determinação de desgaste Amsler

Figura 44: Resultados dos ensaios de determinação de Impacto de corpo duro.

Figura 45: Diferença colorimétrica ΔE^* após ensaios de alterabilidade

Figura 46: Revestimento de piso interno em edifício residencial em Recife.

Figura 47: Mesa de marmoglass branco com 3,50 m de comprimento

Figura 48: Aplicações de marmoglass branco em bancadas de cozinha

Figura 49: Aplicações de Marmoglass branco em bancada de banheiro

Figura 50: Aplicações de Marmoglass branco em piso

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores limites sugeridos para rochas silicáticas (granitos).

Tabela 2: Normas para ensaios de rochas ornamentais.

Tabela 3: Composição química do marmoglass conforme informações do fabricante (Nippon Electrics Inc).

Tabela 4: Peso específico do marmoglass.

Tabela 5: Resistência à flexão de diversos materiais da construção civil

Tabela 6: Resultados dos ensaios de resistência à abrasão.

Tabela 7: Resistência ao impacto de corpo duro.

Tabela 8- Parâmetros mínimos para dimensionamento de pedras (ASTM)

Tabela 9 - Exemplo de tolerância na indústria de tintas de impressão.

Tabela 10: Resultados da fluorescência de raios X do marmoglass junto a Universidade Federal de São Paulo (Tabela 10A), e composição química fornecida pelo fabricante Nippon Electrics Inc. (Tabela 10B).

Tabela 11: Valores especificados pela Norma ASTM, Frazão & Farjallat (IPT), DEMINAS/UFPE e valores médios obtidos nos ensaios realizados.

Tabela 12 – Diferença colorimétrica ΔE^* após ensaios de alterabilidade.

RESUMO

O objetivo maior desta dissertação é a comparação de parâmetros dos ensaios do material marmoglass, compósito de vidro e minerais de rochas silicáticas, com os granitos comercializados na Região Nordeste do Brasil. Foram realizados ensaios laboratoriais normatizados no Brasil e E.U.A., os valores das propriedades dos materiais, de acordo com estas normas, apresentam quais as principais utilizações indicadas para uma determinada utilização. Os ensaios realizados são os de índices físicos e as propriedades mecânicas. Outro objetivo é discutir os valores indicados pelos fabricantes do material de marmoglass, pois estes utilizam de normas regulamentares vigentes no oriente, China. Todo o processo executado tem a função de ratificar o desempenho deste material e sua utilização, como também a possibilidade de usar mais este recurso para o aproveitamento de sobras da indústria de Rochas Ornamentais. A pesquisa envolveu as etapas de revisão bibliográfica; coleta e análise de dados; ensaios Laboratoriais; e levantamento de obras realizadas na cidade de Recife, Pernambuco. A revisão bibliográfica tem o objetivo de apresentar informações sobre a metodologia de processamento do marmoglass e suas utilizações em todo o mundo. Coleta e análise de dados relevantes a sua aplicabilidade e seu desempenho e identificação de patologias através de dados colhidos e analisados na etapa de coleta e análise de dados.

Palavras – chave: Rochas Ornamentais, Marmoglass.

ABSTRACT

The main goal of this dissertation is to compare parameters of the test results of material marmoglass, composite glass and minerals of silicate rocks, with Granite marketed in the Northeast region of Brazil. Using standardized testing laboratory in Brazil and U.S.A, have values of material properties and in accordance with these standards, which are the main uses listed for a given situation. The tests are the indices of physical and mechanical properties. Another objective is to discuss the values given by the manufacturers of material marmoglass because they use the prescribed norms in east China. The whole process has executed the function of ratifying the performance of this material and its use, but also the possibility of using this feature more for the use of leftovers in the industry of ornamental rocks. The research involved the steps of literature review, collection and analysis; Laboratory Tests, and survey work carried out in Recife, Pernambuco. The literature review aims to provide information on the processing methodology of marmoglass and their uses throughout the world. Collecting and analyzing data relevant to its applicability and its performance and identify pathologies through data collected and analyzed in data collection and data analysis.

key - Words: Ornamental Rocks, Marbleglass.

INTRODUÇÃO

O escopo desta pesquisa é o aprofundamento dos conhecimentos sobre as características tecnológicas e da fabricação de produtos artificiais, conhecidos comercialmente pela denominação genérica de “marmoglass” ou “stoneglass”; o mercado brasileiro tem usado as duas denominações para este tipo de material sucedâneo de rochas ornamentais, dependendo de suas características tecnológicas de acordo com o fabricante e, ao mesmo tempo, análise dos aspectos práticos de sua utilização, especialmente na Construção Civil, em substituição a mármore e granitos naturais.

O mercado da construção civil tem se voltado para a aplicação de marmoglass pela sua homogeneidade, semelhança à textura de rochas naturais e também por propagandas comparativas as mesmas como sendo um material de superior qualidade em vários aspectos, principalmente em relação à resistência para aplicação de piso e na qualidade do lustro da face polida. Dentre as vantagens apresentadas pelos fabricantes deste tipo de material também é feita referência à dureza do material, à não radioatividade, à absorção de água praticamente nula, à resistência a produtos alcalinos e ácidos e à resistência à ruptura muito acima daquela das rochas naturais. Através da presente pesquisa, estudaram-se as propriedades físicas, mecânicas e químicas do material denominado marmoglass comparando aos valores obtidos com aqueles divulgados pelos fabricantes e verificou-se o seu desempenho nas diversas aplicações em relação às rochas naturais.

Vale registrar que os próprios fabricantes dos materiais, destacadamente os de origem chinesa, são unânimes em reconhecer que resultados diferentes são obtidos na prática do uso corrente dos materiais aqui enfocados, o que acreditamos seja decorrente da inexistência de normas de padronização no processo produtivo, e também na etapa de aplicação que possam ser atestadas por uma organização internacional de normatização, como por exemplo, a International Standardization Organization (ISO). Fica assim configurada necessidade premente de que estudos sejam desenvolvidos, da parte dos fabricantes e especialmente dos centros de tecnologia aplicada dos países onde se verifica a utilização dos materiais citados para benefício dos consumidores que, cada vez mais, se sentem atraídos pela beleza do material. Outras características destes materiais lhe conferem um “status” de superioridade aos produtos extraídos da natureza, que, estes sim, não obedecem, por razões óbvias, a qualquer norma pré-estabelecida de fabricação, pois estão associados (os mármore e granitos naturais), à formação geológica do globo terrestre.

A linha de pesquisa adotada na implementação deste trabalho foi o aprofundamento de estudos para melhor conhecimento e compreensão das características físicas e mecânicas dos materiais artificiais aqui citados, com a identificação de suas propriedades tecnológicas. Analisaram-se os resultados apresentados pelos fabricantes; também foi estudado o comportamento do material nas aplicações ornamentais na indústria da construção civil.

Os resultados obtidos nos ensaios de laboratório, para caracterização das amostras selecionadas, vão orientar sobre valores aceitáveis para utilização em projetos, como a resistência à flexão e o desgaste da face lustrada do marmoglass, utilizados respectivamente como parâmetros de segurança para aplicação de fachada ventilada, e à resistência a agressões naturais quando aplicado em piso.

Sendo esse tipo de material artificial produzido industrialmente, sem normatização, sua composição varia de conformidade com os diversos fabricantes que se utilizam de normas próprias, em função de suas próprias pesquisas. Este estudo faz um levantamento dos tipos de “marmoglass” fabricados e comercializados no Brasil e verifica as características tecnológicas dos mesmos comparando-as com os resultados de rochas ornamentais.

A avaliação comparativa do “marmoglass” e das rochas ornamentais mais usuais nas aplicações em construção civil na Região Metropolitana do Recife possibilita a detecção das vantagens e inconvenientes de ambos materiais nas práticas correntes da aplicação e uso.

OBJETIVOS

GERAL:

- Estudo do “Marmoglass” como material ornamental para utilização em revestimento e piso. Comparação de suas propriedades tecnológicas com as rochas ornamentais e valores sugeridos por normas técnicas de especificação de rochas naturais.

ESPECÍFICOS:

- Caracterização tecnológica do “marmoglass” como material para fins ornamentais.
- Comparação dos valores determinados em laboratório com valores informados por fabricantes do marmoglass.
- Comparação dos índices físicos (porosidade e absorção aparentes d'água, massas específica seca e saturada) com os valores médios de rochas ornamentais (granitos e mármore).
- Comparação da resistência à flexão com os valores médios de rochas ornamentais (granitos e mármore).
- Comparação da resistência do desgaste (Amsler) com os valores médios de rochas ornamentais (granitos e mármore).
- Comparação da resistência ao impacto de corpo duro com os valores médios de rochas ornamentais (granitos e mármore).
- Análise da aplicabilidade do “marmoglass” na construção civil de acordo com os valores mínimos sugeridos em normas (ASTM e IPT/USP).
- Levantamento das principais aplicações do “marmoglass” em obras da construção civil na região do Recife-PE.
- Análise química do marmoglass.
- Análise de alterabilidade acelerada e brilho.

CAPÍTULO 1

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a investigação dos parâmetros tecnológicos dos materiais “marmoglass” e rochas ornamentais, comparativamente, fazem-se necessários o conhecimento do processo de formação de cada um e os valores resultantes dos ensaios de caracterização tecnológica, podendo-se inclusive prever as principais perspectivas de aplicação.

As origens dos dois materiais estudados são totalmente diferenciadas. As rochas ornamentais são formadas e extraídas da natureza em sua forma bruta enquanto o “marmoglass” é obtido por meio de processos industriais manipulando minerais encontrados em rochas para composição de cada tipo de “marmoglass”.

A correta utilização dos materiais ornamentais depende prioritariamente das características (propriedades) tecnológicas dos mesmos. Essas são em muito afetados pela gênese e composição mineralógica das rochas naturais, e dos processos de fabricação no caso do “marmoglass”. Como existem vários tipos de gênese de rochas naturais (rochas magmáticas, sedimentares e metamórficas) e diversificados processos de fabricação de “marmoglass”, os materiais formados apresentam uma grande diversidade de parâmetros dos ensaios tecnológicos. Face a isso é necessária uma caracterização completa de cada novo tipo ornamental afim de poder-se avaliar a sua melhor aplicação. Nesse sentido são apresentados ao longo da revisão bibliográfica, os principais ensaios tecnológicos normatizados para as rochas ditas ornamentais.

É também apresentado e comentado o processo de fabricação bem como as principais características tecnológicas do “marmoglass”.

1.1. CADEIA PRODUTIVA DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Uma cadeia produtiva pode ser definida como um sistema constituído por agentes formadores de decisão envolvidos em um processo interdependente, por meio de um fluxo de produtos e serviços em uma direção. Pode envolver desde fornecedores de matéria prima, produção propriamente dita, distribuição e até consumidores finais. Todos os elementos ou níveis de uma cadeia executam funções importantes, cujos respectivos desempenhos determinam de forma interdependente o desempenho do sistema como um todo (Towill, Wilkner apud Figueiredo, 1998).

O conceito de cadeia possui definições bastante amplas, possuindo como característica principal a sua linearidade e sucessão de etapas, e o enfoque em determinados produtos finais ou matérias primas base. Com relação a estes aspectos far-se-á algumas considerações quanto as características da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais.

Segundo Souza, J. C. (2007) pode-se dizer que a cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais envolve as etapas de prospecção geológica, pesquisa de detalhe, lavra de pedreiras, beneficiamento primário (desdobramento de blocos), tratamento de superfícies, beneficiamento final e aplicação junto aos consumidores finais. Essas etapas serão apresentadas ao longo do presente capítulo.

1.1.1.Características da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais.

A cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais compõe-se basicamente das etapas produtivas necessárias para transformação da matéria-prima litológica em produto final a ser utilizado por alguma área de aplicação. (Souza, 2007).

A cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais pode ser caracterizada a partir da decomposição nas etapas produtivas necessárias à transformação dos blocos extraídos das pedreiras em produtos finais como ilustra a figura 1 (Sabadini,1998).

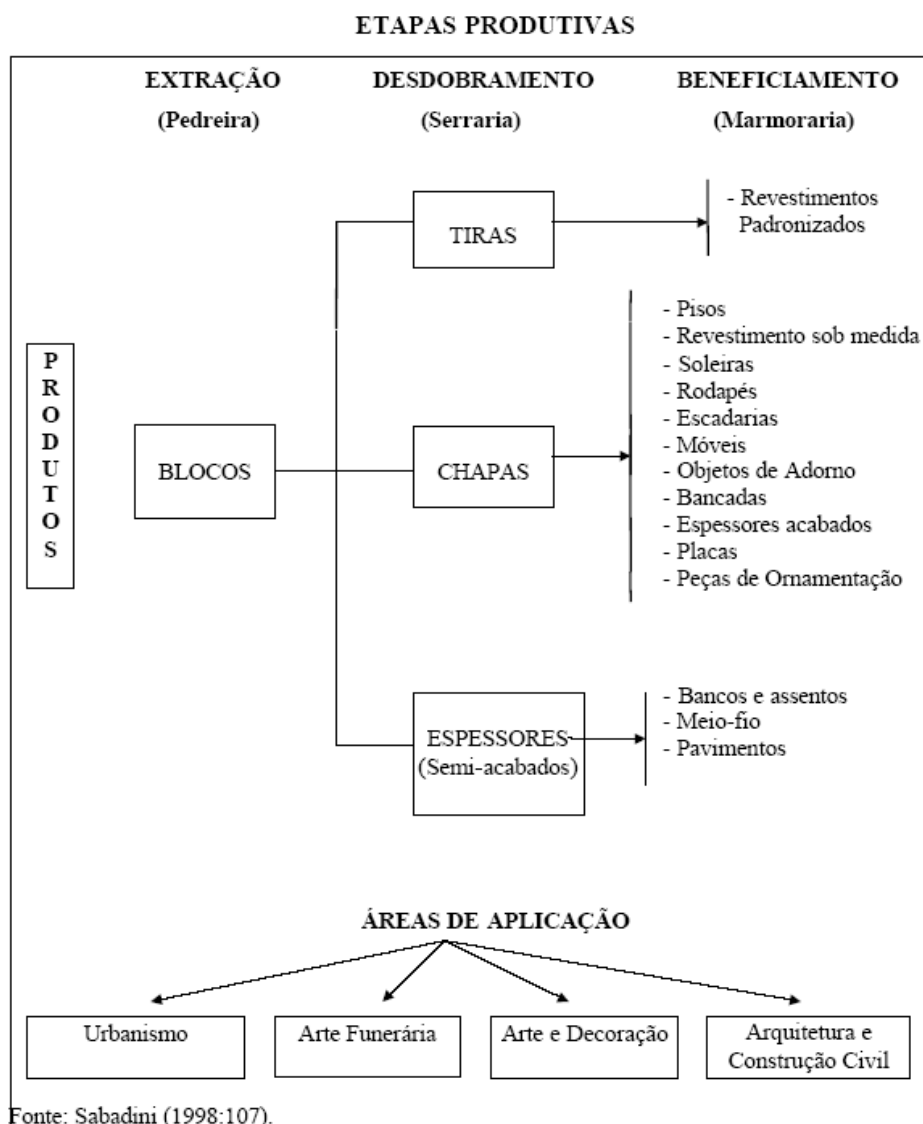


Figura 1 – Decomposição da cadeia produtiva principal do setor de rochas ornamentais

Dessa forma têm-se os seguintes elos compreendendo, desde os trabalhos necessários à identificação de alvos geológicos potenciais para existência de rocha com características ornamentais, até os processos finais de beneficiamento e obtenção de produtos comerciais:

1. Pesquisa do potencial ornamental de formações geológicas
2. Pesquisa de detalhe de alvos potenciais de jazidas de rochas ornamentais
3. Lavra de blocos comerciais
4. Desdobramento primário de blocos comerciais
5. Tratamento superficial de chapas em bruto
6. Beneficiamento final de chapas em marmorarias
7. Beneficiamento final de tiras em linhas automatizadas
8. Beneficiamento final de objetos de arte e decoração
9. Aplicação de rochas ornamentais na indústria da construção civil

Esse desdobramento mais detalhado da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais é ilustrado na figura 2.

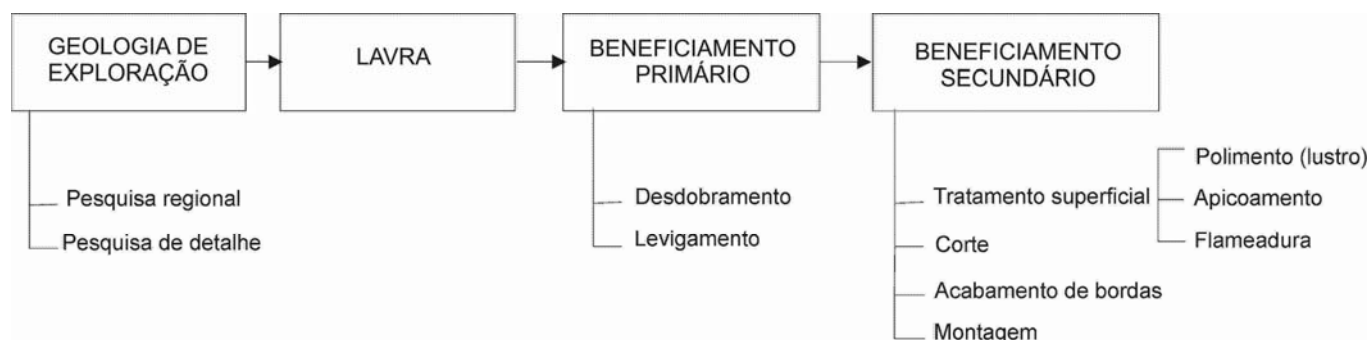


Figura 2 – Cadeia produtiva primária do setor de rochas ornamentais

1.1.2. Principais elos da cadeia produtiva do setor

A pesquisa do potencial ornamental de formações geológicas tem por finalidade básica realizar a determinação de alvos potenciais para encontrar novas ocorrências de rochas ornamentais que deverão ser posteriormente estudadas através da pesquisa geológica de detalhe. O objetivo principal nessa etapa é a descoberta de novas ocorrências de material ornamental.

A pesquisa de detalhe de alvos potenciais de jazidas de rochas ornamentais é a continuação dos trabalhos executados na primeira etapa de pesquisa regional e visa o reconhecimento *in loco* dos alvos potenciais definidos na etapa anterior. É necessário o detalhamento nessa fase de pesquisa para ter-se uma perfeita caracterização da jazida em termos estéticos, estruturais e geomecânicos de forma a poder-se concluir pela viabilidade técnica e econômica de sua exploração. O objetivo final dessa etapa é, portanto, viabilizar a lavra da jazida, através do detalhamento geológico na área da pedreira.

A lavra de blocos comerciais ocorre em decorrência da viabilidade técnico-econômica demonstrada na etapa preliminar de pesquisa de detalhe e compõem-se de todas as operações e metodologias aplicadas para a produção de blocos comerciais de rocha ornamental. Nessa etapa são aplicadas tecnologias e metodologias de trabalho oriundas do campo da engenharia de minas e a finalidade é a obtenção de blocos comerciais para posterior beneficiamento primário e secundário.

O beneficiamento primário de blocos comerciais, também conhecidos como serragem ou desdobramento, visa à obtenção de produtos intermediários, chapas, espessores e tiras, que serão posteriormente processados na etapa de beneficiamento secundário para obtenção de produtos finais especificados para as aplicações desejadas.

O tratamento superficial das chapas em bruto corresponde à segunda etapa de beneficiamento e consiste nos processos de levigamento, lustro, apicoamento e flameadura. Todos esses processos visam a obtenção de uma determinada característica estética da superfície da rocha desdobrada, adequado à especificação e objetivo da aplicação final.

O beneficiamento de chapas em marmorarias é a etapa final do processo de beneficiamento (secundário) e compreende a industrialização do material obtido no desdobramento de blocos (chapas) a fim de obterem-se os produtos finais desejados. Os processos envolvidos constituem-se basicamente do corte das chapas, acabamento de bordas e montagem das peças finais de rocha ornamental.

O beneficiamento de tiras em linhas automatizadas refere-se à obtenção de ladrilhos padronizados, de ampla utilização em pavimentação e revestimentos internos e externos, através do processamento de tiras em linhas automatizadas de produção em série e equipamentos automáticos de fabricação.

A obtenção de objetos de arte e decoração, entre os quais se destacam a produção de estátuas, objetos de adorno, bijuterias e arte funerária, é um processo especial no setor de rochas ornamentais e executado, via de regra, através de técnicas manuais e artesanais, por artesãos altamente especializados e qualificados. Atualmente foram desenvolvidos equipamentos automáticos para fabricação de objetos especiais entre os quais se destacam o tear mono-fio diamantado de 4 eixos, fresas automáticas com corte através de jato de água sob pressão e equipamentos de corte automático com auxílio de sistemas CAD-CAM (Computer Aided Design – Computer Aided Manufacturing).

O último elo da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais refere-se aos processos, tecnologias e metodologias de aplicação de rochas ornamentais nas diversas áreas onde as mesmas são consumidas. Destaca-se nesse meio, o setor da construção civil responsável pela maior parte desse consumo principalmente nas aplicações em pavimentação interna e externa, revestimento de interiores e exteriores, decoração de ambientes internos e externos e urbanização de ambientes públicos e privados. Essa etapa é fundamental para a plena utilização do potencial ornamental dos mármore e

granitos e demanda profundos conhecimentos técnicos das possibilidades construtivas e características tecnológicas dos materiais pétreos para um correto dimensionamento e especificação dos produtos a serem aplicados.

1.2. PRODUTOS OBTIDOS NA CADEIA PRODUTIVA

Na etapa de pesquisa regional são obtidos como resultados as indicações de alvos geológicos potenciais de ocorrência de rochas ornamentais. O principal meio de divulgação é o Mapa Geológico de Atratividade Regional, onde são indicados os tipos geológicos potenciais para encontrarem-se jazidas de rocha ornamental. As principais ferramentas utilizadas nessa etapa são o mapeamento geológico regional, análise de imagens de satélite e levantamentos fotográficos aéreos.

Na fase de execução dos trabalhos geológicos de detalhe nos locais de ocorrência de rochas com potencial ornamental, o produto gerado é a caracterização geológica das condições estruturais, estéticas e geomecânicas da jazida bem como a caracterização tecnológica completa do material ornamental pesquisado. Os estudos realizados nessa etapa fornecem subsídios técnicos e econômicos suficientes para se decidir pela viabilidade de implantação da pedreira e conseqüentemente elaboração do projeto de lavra da jazida. Como ferramentas aplicadas nessa etapa da cadeia produtiva tem-se os levantamentos geológicos locais, estudo de afloramentos, levantamentos topográficos plani-altimétricos, execução de sondagens em sub-superfície, abertura de trincheiras, amostragem e execução de ensaios de caracterização tecnológica, abertura de frentes de lavra experimental, testes de mercado e desenvolvimento do Relatório Final de Pesquisa e do Plano de Aproveitamento Econômico da jazida.

Na fase de lavra são aplicadas tecnologias de corte de rochas coesas com a finalidade de obtenção de blocos com padrão comercial e sem defeitos estéticos ou estruturais graves. O produto final desejado é um bloco em bruto, sem defeitos cromáticos, com padrão estético-textural constante e esquadrejado dentro de um padrão geométrico pré-definido. As tecnologias de corte são de diversas modalidades e destaca-se o uso de perfuração contínua, perfuração e uso de explosivos, perfuração e uso de argamassa expansiva, perfuração e uso de cunhas, fio helicoidal, fio diamantado, flame jet (maçarico), water jet (corte com água) e cortadeira de braço mecânico. Entre as metodologias de lavras aplicadas em pedreiras de rocha ornamental destacam-se os métodos de lavra a céu aberto (bancadas altas, bancadas baixas e lavra de matacões) e subterrâneo (câmaras e pilares).

A etapa seguinte de processamento compreende o beneficiamento primário onde os blocos em bruto são desdobrados obtendo-se três tipos de produtos intermediários: chapas, espessores e tiras. A obtenção desses produtos é realizada através de três tecnologias de processamento: corte em teares de lâminas, corte com discos diamantados e corte com fio diamantado. A aplicação dessas tecnologias e respectivos equipamentos dependem basicamente do tipo de produto intermediário desejado e da análise da relação custo/benefício. Os produtos obtidos nessa etapa são as chapas em bruto para posterior beneficiamento em processos de marmoraria, tiras em bruto para aplicação na fabricação de ladrilhos padronizados e espessores em bruto para aplicações especiais e utilização em arte funerária.

Após a etapa de desdobramento primário os produtos em bruto são submetidos a uma etapa de tratamento superficial visando à obtenção de produtos com a superfície apresentando um padrão estético pré-determinado. Nessa fase estão disponíveis três técnicas de processamento: o polimento utilizando seqüências pré-determinadas de material abrasivo tendo-se como produto final uma superfície levigada (maior rugosidade) ou lustrada (alto grau de polimento com espelhamento da superfície); o apicoamento com ferramentas mecânicas obtendo-se superfícies com variados graus de rugosidade; e o flameamento onde, através da aplicação de uma chama térmica e água, obtém-se uma superfície com elevado grau de rugosidade.

A etapa de beneficiamento secundário dos materiais ornamentais ou beneficiamento final ocorre normalmente em locais denominados marmorarias. O processamento nas marmorarias envolve três etapas básicas: o corte das chapas de material ornamental nas dimensões definidas nos projetos específicos, o acabamento de bordas englobando a configuração e polimento das bordas, e a montagem dos produtos finais, que envolve em geral a colagem das peças e aplicações de acessórios como cubas metálicas por exemplo. Também é comum o uso de equipamentos automatizados que contemplam o uso de tecnologias tipo CAD-CAM para realização das operações de corte e acabamento de bordas nessa etapa. Os produtos obtidos são as mais variadas peças para aplicação na construção civil e decoração de ambientes internos e externos. Outro tipo de indústria característico na cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais na etapa de beneficiamento final é a fabricação de ladrilhos padronizados em linhas automáticas de produção. Essas linhas são alimentadas pelas tiras obtidas na etapa de desdobramento de blocos em talha blocos multidiscos e, após processamento, oferecem ladrilhos em tamanhos padronizados e com calibração de espessura para aplicação em pavimentação e revestimento de paredes. Outros tipos de processamento envolvem diversos tipos de oficinas artesanais de produção de objetos de artesanato mineral, objetos de arte e decoração e fabricação de

produtos para utilização em arte funerária para ornamentação de túmulos e mausoléus.

As rochas ornamentais têm uma aplicabilidade imensa e extremamente diversificada, tendo sido utilizada há milênios pelo homem nas mais diversas formas. As principais aplicações se referem aos materiais destinados à indústria da construção civil e compõem-se de produtos para revestimento, ornamentação, decoração e aplicações estruturais. Além desse importante mercado tem-se também consumidores nas áreas de artesanato, bijuterias, arte sacra, arte funerária, estátuas, monumentos públicos, urbanização, indústria mecânica, etc.

O aproveitamento de resíduos gerados ao longo da cadeia produtiva de rochas ornamentais é um desafio que está sendo constantemente enfrentado pelos agentes do setor. Dessa forma existem diversos trabalhos científicos e aplicações experimentais nas empresas visando o reaproveitamento dessas sobras. Como exemplo tem-se a produção de brita e concentrados quartzo-feldspáticos a partir dos rejeitos de pedreiras; a utilização da lama abrasiva descartada dos teares de lâminas para fabricação de tijolos, blocos pré-moldados, corretivo de solos e obtenção de concentrados de ferro e mineral cominuídos. Por fim, as sobras de marmorarias tem tido uma destinação cada vez mais nobre através de sua utilização como matéria-prima para confecção de objetos de artesanato mineral e bijuterias.

1.3. ASPECTOS TECNOLÓGICOS DA PRODUÇÃO DO MARMOGLASS

O “marmoglass” é um material resultante de estudos da técnica da fusão da Sílica, onde a matéria prima é submetida a um processo a altas temperaturas similar às condições naturais da formação de rochas graníticas através de milhares de anos.

A seleção da matéria prima utilizada e a técnica de fusão resultam um produto com uma estrutura cristalizada homogênea, que é muito agradável a vista e se assemelha a estrutura de um mármore cristalino com uma dureza elevada. (Nippon Electrics, 2002).

O Marmoglass possui uma excelente condição de durabilidade e resistência frente às condições climáticas mais adversas. É um material inorgânico com excelente estabilidade química, inclusive quando está exposto ao sol, chuva, vento, poluição, etc., e não há aderência da sujeira e poluição devido à baixa porosidade e baixa permeabilidade da superfície.

A forma de produção do “marmoglass” requer um método especial pelo processo de cristalização envolvida. Minérios de sílica (SiO_2), feldspatos, carbonato de cálcio (CaCO_3), óxido de zinco (ZnO), carbonato de bário (BaCO_3), etc. são misturados e derretidos a uma temperatura de 1.500°C e depois esta massa é imersa em água para formar partículas granulares. Abaixo, na figura 3, são visualizadas estas partículas granulares de vidro formadas a partir desse processo.



Figura 3 – Partículas granulares de vidro.

Essas partículas de vidro são colocadas em fôrmas refratárias e levadas ao forno novamente, a uma temperatura de 1.100°C . Assim que as partículas de vidro começam a se fundir, dá-se início a formação de milhares de cristais ao redor das partículas de vidro, produzindo o “marmoglass”. Este material é depositado em prateleiras conforme mostrado na figura 4.

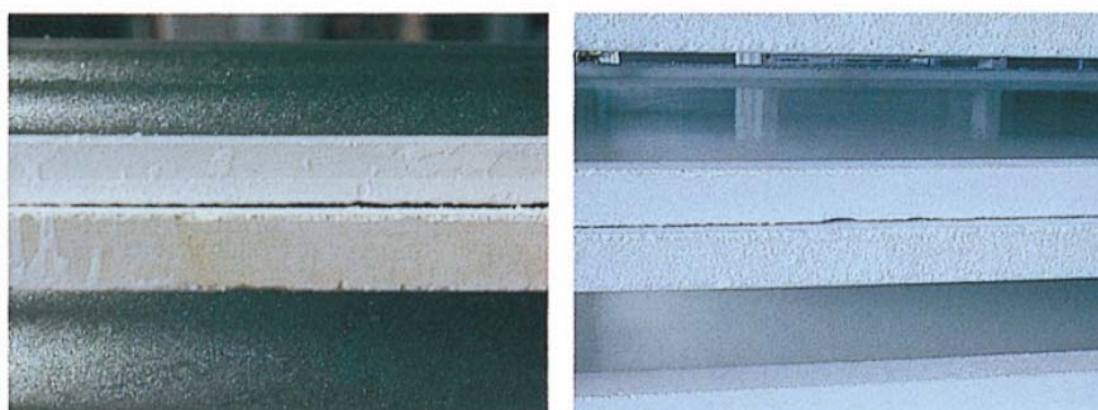


Figura 4 – Prateleira de montagem antes da cristalização e após cristalização.

1.4. O PROCESSO DE CRISTALIZAÇÃO DO MARMOGLASS

As partículas granulares de vidro formadas pelo processo de fusão das várias substâncias envolvidas (sílica, fedspatos, carbonato de cálcio, etc) são, com a ajuda de um moinho, regularizadas para que se obtenha uma forma homogênea da superfície.

A primeira etapa é feita derretendo, moendo e granulando em água as partículas de vidro de composição especial e depois secas (figura 5).

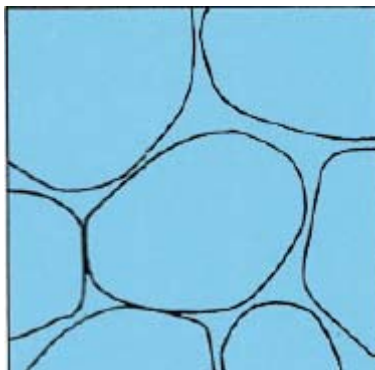


Figura 5 - Partículas de vidro a temperatura ambiente

Depois a matéria-prima para fabricação do “marmoglass” é aquecida a 850°C em fôrma refratária para fundir as partículas granulares até não existir mais espaço entre elas num processo denominado adensamento do vidro (figura 6).



Figura 6 – Adensamento do vidro a 850°C

Quando a temperatura chega a 950°C, prótons de cristais começam a se formar nas bordas das partículas iniciando a cristalização do material, conforme pode ser visto na ilustração da figura 7.



Figura 7 – Cristalização começa a 950°C

A cristalização é completa em uma hora a uma temperatura de 1.100° C formando o marmoglass, caracterizado pela alta coesão e resistência mecânica (figura 8).

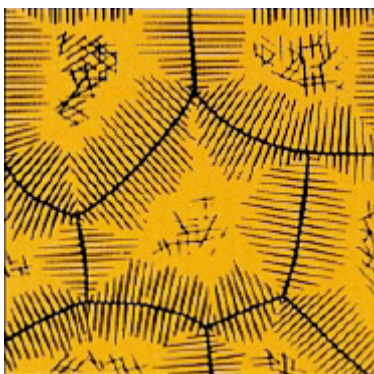


Figura 8 – A cristalização total do marmoglass ocorre a cerca de 1.100°C

A figura 9 abaixo mostra uma microfotografia do “marmoglass” após processo de cristalização completa, mostrando cristais já totalmente formados e interligados.

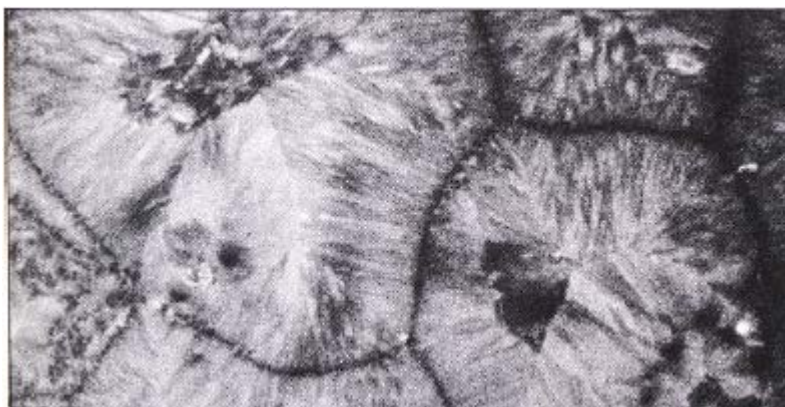


Figura 9: Microfotografia dos cristais de “marmoglass” após sua fabricação.

Após a cristalização, os painéis podem ser levemente esquentados para fabricação de painéis curvos, aproveitando o percentual de 60% de vidro existente em sua composição que proporciona o encurvamento do material quando ainda aquecido.

1.5. ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Na escolha do tipo de rocha a ser usada no revestimento de edificações os fatores econômicos e estéticos são considerados decisivos. Por isso, o conhecimento das propriedades físicas, físico-mecânicas e características petrográficas adquirem grande importância, pois é destas grandezas que depende a durabilidade do material ornamental aplicado.

Conhecendo-se as condições ambientais a que o revestimento estará sujeito e efetuando-se uma análise das características das opções ornamentais disponíveis pode-se reunir valiosos subsídios para a seleção da alternativa que melhor se adapta ou atenda aos requisitos do projeto pretendido, tanto quanto a estética, quanto à durabilidade esperada.

Nos revestimentos em rochas naturais projetados para atender a determinada arquitetura, seja qual for o tipo de projeto arquitetônico e modo de fixação (argamassa ou ancoragem metálica), a característica do material (propriedades tecnológicas) desempenha um papel fundamental.

Durante a vida útil de um revestimento, o material estará sujeito aos mais diversos agentes agressivos tais como: oscilações de temperatura, umidade, pressão de ventos de diversas intensidades, impactos, desgastes abrasivos de particulados em suspensão, ação de agentes químicos (tanto na forma de líquidos como sólidos e/ou gases), entre tantos outros.

Em climas tropicais com alta pluviometria e considerável oscilação de temperaturas diária e sazonal, os revestimentos externos sofrem ciclos de umedecimento e secagem e também estão submetidos a processos de dilatação /contração, concentração de tensões, que ocasionam manchamentos, decomposição de minerais, afrouxamento no embricamento dos cristais, descolamento do revestimento afixado com argamassa, tensionamento de painéis fixados com ancoragem metálica, etc.

Águas de chuva de regiões urbanas e industriais trazem consigo ácidos dissolvidos que corroem as rochas, principalmente as carbonatadas, quando usadas em revestimentos externos.

As partículas de poeira em suspensão depositam-se por ação de orvalhos ao se chocarem contra o revestimento e os tornam opacos. Além disso, particulados de tamanho areia finas causam desgaste na superfície dos revestimentos por ação abrasiva com intensidade variável em função dos ventos.

Os ventos, por sua vez, solicitam o revestimento à flexão, com cargas positivas e negativas de diferentes intensidades provocando fissuras na rocha e ou ruptura nos pontos de ancoragem.

O tipo de acabamento da superfície da placa pode evitar alguns problemas. Porém, poderão causar outros. O acabamento lustrado (em granitos) torna a superfície da placa quase impermeável, evitando a deposição de poeiras do ar. O flameamento, acabamento que mostra as características naturais da rocha tornando as superfícies ásperas, devido a ação das altas temperaturas requeridas na manufatura, enfraquece a resistência mecânica da rocha. O apicoamento poderá gerar também microfissuras as quais, por ação do intemperismo, poderão se propagar (Teoria de Griffth) rompendo a placa quando mal dimensionada.

Por estas razões, é que nos projetos para uso das rochas com fins ornamentais devem ser especificados e previstos os tipos de solicitação a que estará sujeito o revestimento quando em serviço.

No que se referem às características da rocha, estas podem ser facilmente obtidas através da execução de ensaios tecnológicos.

Os principais ensaios para caracterização tecnológica das rochas naturais, normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT são listados abaixo:

-	Petrografia	NBR 12.768
-	Índices físicos	NBR 12.766
-	Dilatação térmica	NBR 12.765
-	Desgaste Amsler	NBR 12.042
-	Impacto	NBR 12.764
-	Flexão em 3 pontos	NBR 12.763
-	Compressão uniaxial	NBR 12.767
-	Gelo degelo conjugado à compressão	NBR 12.769
-	Alterabilidade	NBR 13.818

Pela American Standardization Testing Method (ASTM) destaca-se o ensaio de Flexão em 4 pontos ASTM C-880.

Buscando parâmetros que indiquem a qualidade das rochas, a tabela abaixo compara os valores limites de índices físicos sugeridos para rochas silicáticas (granitos) pela ASTM e pelo Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco (DEMINAS/UFPE).

Tabela 1: Valores limites sugeridos para rochas silicáticas (granitos)

Propriedades	Valores ASTM C 615	Valores DEMINAS/UFPE
Massa específica (kg/m³)	> 2560	> 2550
Porosidade (%)	N. E.	< 1.1
Absorção de água (%)	< 0.4	< 0.4

N. E. – não especificado

O conhecimento das propriedades físicas do material é o ponto de partida para o dimensionamento e desenvolvimento de um projeto de aplicação de rocha ornamental. Para se conhecer estas propriedades devem ser executados os ensaios sugeridos pela tabela 2, adotando como metodologia de ensaio as normas da NBR/ABNT, EN e ASTM.

Tabela 2: Normas técnicas para caracterização de rochas ornamentais

Ensaio	ASTM	DIN	AFNOR	UNI	ABNT	AENOR
Análise Petrográfica	C-295	nd	B-0301	9724/1	12768	nd
Índices Físicos	C-97	52102 52103	B-10503 B-10504	9724/2	12766	22.182
Resistência à Flexão	C-99 C-880	52112	B-10510	9724/5	12763	22.186
Resistência ao Impacto de Corpo Duro	C-170	nd	nd	nd	12764	22.189
Resistência à Compressão	D-2938 C-170	52105	B-10509	9724/4	12767	22.185
Coefficiente de Dilatação Térmica Linear	E-228	nd	nd	nd	12765	nd
Congelamento e Degelo Conjugado à Compressão	nd	52104	B-10513	nd	12769	nd
Desgaste Amsler	C-241	52108	B-10518	2232	6481	23.183
Módulo de Deformabilidade Estática	D-3148	nd	nd	2234	nd	nd
Micro Dureza Knoop	nd	nd	nd	9724/6	nd	22.188

Fonte: Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial - NUTEC

Legenda: ASTM - americana, DIN-alemã, AFNOR - francesa, UNI - italiana, ABNT- brasileira, AENOR - espanhola. nd - não disponível

1.5.1. Índices físicos (NBR 12.766)

Os índices físicos de maior importância na qualificação das rochas ornamentais são massa específica aparente seca e saturada, porosidade e absorção d'água aparentes.

Há uma grande interdependência entre estes fatores, pois um dado tipo petrográfico será mais denso se sua porosidade for menor e conseqüentemente, menor será a absorção d'água. Estes parâmetros, por sua vez, influenciam nas propriedades mecânicas das rochas.

A alta densidade de um dado tipo petrográfico revelará altas resistências mecânicas. Já a alta porosidade conduz a baixas resistências. Uma absorção de água elevada levará à expectativa de uma baixa durabilidade e a progressiva redução da resistência mecânica ao longo do tempo.

Por outro lado, rochas com alta densidade apresentam o inconveniente de representar um elevado peso morto, o que incidirá em custos adicionais no dimensionamento da obra devido ao alto carregamento da estrutura (peso) e dificuldades de manuseio do material.

Norma ABNT/NBR 12.766 - rochas para revestimento - determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente.

Esta Norma prescreve o método para determinação da massa específica aparente (seca e saturada com superfície seca), porosidade e absorção d'água aparente de rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações.

1.5.2. Desgaste Amsler (NBR 12.042)

Desgaste é a desagregação superficial e remoção de partículas de um determinado material submetido à força de atrito.

A resistência que as rochas apresentam ao desgaste abrasivo é dependente de seus minerais constituintes e de sua compacidade ou embricamento de seus minerais e granulometria.

Rochas constituídas de minerais de baixa dureza, como os mármore e calcários (calcita, dureza 3 na Escala de Mohs), não são adequados para uso como revestimentos de pisos e degraus de escadarias onde o tráfego de

pedestre seja intenso, pois haverá progressivo desgaste ou arrancamento dos próprios cristais. As rochas silicáticas são menos desgastáveis e as silicáticas quartzosas menos ainda. A maioria dos silicatos apresenta na Escala de Mohs dureza elevada (maior que 5); o quartzo, mineral bastante abundante na crosta terrestre, tem dureza 7, considerada muito elevada.

A realização da medida ao desgaste é feita pela Norma ABNT/NBR 12.042 - materiais inorgânicos - determinação do desgaste por abrasão

Esta Norma prescreve o método para determinação do desgaste por abrasão de materiais inorgânicos.

O desgaste do corpo-de-prova deve se dar através do atrito entre a sua superfície de uso e a superfície de um anel de ferro fundido, que é continuamente abastecido com um material abrasivo (areia).

O desgaste por abrasão é determinado pela perda de espessura do corpo-de-prova.

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

EB-1133 - Areia normal para ensaio de cimento - Especificação

MB-3378 - Argamassa de alta resistência mecânica para pisos - Determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral - Método de ensaio

1.5.3. Impacto de corpo duro (NBR 12.764)

A tenacidade de uma rocha é a propriedade que reflete sua coesão e indica uma maior ou menor capacidade de suportar ação instantânea (impacto).

A tenacidade depende grandemente do embricamento dos cristais assim como da estrutura. Esta mede a energia liberada pelo impacto de um corpo que provoque a ruptura da placa, sendo importante para subsidiar o seu dimensionamento no revestimento, tanto para pisos como de partes baixas de revestimentos verticais.

O DEMINAS/UFPE sugere que a resistência ao impacto de corpo duro não deva ser inferior a 0,39m para rochas silicatadas.

A NBR 12.764 prescreve o método para determinação da resistência ao impacto de corpo duro de rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações.

1.5.4. Resistência a tração por flexão (NBR 12.763)

A resistência a tração por flexão, é a resultante de ações simultâneas de compressão e tração.

As placas de rocha estão sujeitas a solicitações de flexão quando utilizadas principalmente em revestimentos de fachadas ventiladas (sistema americano). Nestas condições o revestimento é relativamente flexível para absorver acomodações do suporte e as pressões do vento, em que a resistência a flexão das placas tem importância fundamental.

Solicitações importantes de flexão também ocorrem quando no manuseio das chapas, na descarga dos teares, nas operações de polimento, no transporte de obras e confecção de móveis (mesas e pranchas).

Do exposto, este parâmetro mostra a sua importância desde a definição das dimensões das placas, para a qual intervém a proporção adequada entre suas medidas, permitindo suportar os esforços a que vão ser submetidas.

A resistência à flexão dentre outros fatores depende da estrutura e textura da rocha. Estruturas orientadas, ou bandadas, conduzem a resistências diferentes conforme as solicitações se dêem no plano perpendicular ou paralelo a estas. A textura que resultar de menor embricamento dos cristais ou de granulação grossa apresentará diferentes planos de fraqueza pelos quais a rocha, ou placa, pode se romper.

O DEMINAS/UFPE sugere que a resistência à tração por flexão não deverá ser inferior a 10,00MPa, para rochas silicatadas; já a ASTM sugere valores superiores a 10,34MPa.

Norma ABNT/NBR 12.763 - rochas para revestimento - determinação da resistência à flexão

Esta Norma prescreve o método para determinação da tensão de ruptura à tração na flexão de rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações.

1.6. PARÂMETROS TECNOLÓGICOS DO MARMOGLASS

1.6.1. Composição química do marmoglass

Dados obtidos dos fabricantes revelam a composição química descrita na Tabela 3, abaixo. Verifica-se que, de acordo com os fabricantes, este material, o marmoglass, é constituído predominantemente de sílica (56%), alumina (8,5%) e óxido de cálcio (20,0%).

Tabela 3: Composição química do marmoglass conforme informações do fabricante (Nippon Electrics Inc).

Óxidos	%
SiO ₂	56,0
Al ₂ O ₃	8,5
CaO	20,0
K ₂ O	2,0
Na ₂ O	6,0
ZnO	3,0
BaO	2,5
B ₂ O ₃	1,0
TiO ₃	0,5

1.6.2. Peso específico

O peso específico representa a densidade aparente do material, ou seja, o seu peso dividido pelo volume. O peso específico do Marmoglass é de 2,7 g/cm³. Baseado nesse valor, o peso por m² é de 50 kg/m² para placas de 1,5 cm de espessura. A tabela 4 mostra os valores característicos do material segundo o fabricante Nipon Electric CO (2002). Esta tabela apresenta o peso do “marmoglass” para placas de 18 mm de espessura.

Tabela 4: Peso específico do marmoglass

Dimensões	600 x 900 mm	900 x 900 mm	1.200 x 900 mm
Área	0,54 m ²	0,81 m ²	1,08 m ²
Peso	26 kg	40 kg	52 kg

1.6.3. Resistência à flexão

Representa a capacidade de resistir a esforços fletores do material, ou seja, a resistência à tração que ocorre no lado inferior do material quanto exposto a um balanço. A forma de realização do ensaio de resistência à flexão

e a fórmula de cálculo, segundo o fabricante Nipon Electric CO (2002), é mostrada na figura 10. Este é um ensaio de quatro pontos.

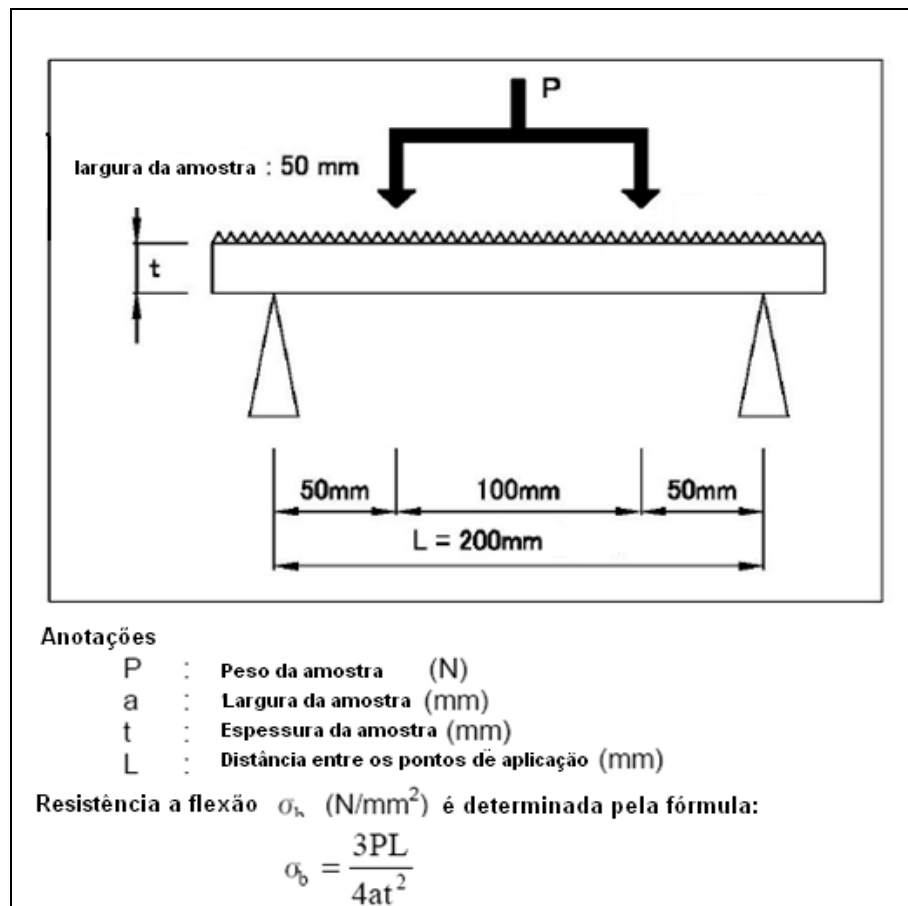


Figura 10: Metodologia de ensaio de resistência à flexão em quatro pontos.

A tabela 5 apresenta os valores característicos de resistência à flexão de diversos materiais utilizados na indústria da construção civil e os valores desse parâmetro para o marmoglass segundo o fabricante Nipon Electric CO (2002).

Tabela 5: Resistência à flexão de diversos materiais da construção civil

Material	Resistência à Flexão (N/mm ²)
Concreto	4
Mármore (média)	11
Granito (média)	14
Vidro	36
Marmoglass	41
Aço	250

1.6.4. Resistência à abrasão

O método e os resultados da resistência à abrasão do marmoglass foram realizados de acordo com a norma JIS A1451 (Japanese Standards Association, 1994). Os testes de abrasão foram realizados em amostras do marmoglass em disco rotatório de aço e medidos após 1.000 rotações. A tabela 6 apresenta os resultados obtidos para o marmoglass de acordo com o fabricante Nippon Electrics CO, comparando com a média histórica dos ensaios realizados em granitos comercializados na região. Estes resultados mostram o marmoglass como duas vezes mais resistente que o granito natural.

Tabela 6: Resultados dos ensaios de resistência à abrasão

Material	Resistência à Abrasão (mm)
Marmoglass	0,01
Granito (média)	0,02

1.6.5. Resistência ao impacto de corpo duro

A resistência ao impacto de corpo duro indica a capacidade do material de não sofrer fissuras, fraturas ou rompimento quando impactada por algum objeto e de certa forma reflete a coesão do material. Na tabela 7 são apresentados os resultados dos ensaios de resistência ao impacto de corpo duro de acordo com o fabricante Nippon Electrics CO (2002).

Tabela 7: Resistência ao impacto de corpo duro

Amostra de marmoglass	Altura rompimento (cm)
1	80
2	110
3	90

1.7. APLICAÇÃO DE ROCHAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

1.7.1. Metodologias de aplicação

Para a finalidade a que este estudo se propõe, serão apreciados e analisados os principais itens relacionados com o revestimento de pisos e fachadas com placas pétreas.

1.7.2. Rochas Ornamentais na Construção Civil

A aplicação de um produto de granito e de marmoglass são similares, como explica Maranhão (2003); dentre as técnicas empregadas mais antigas e mais recentes, podem-se destacar as formas de assentamento aderentes e não aderentes.

O método construtivo aderente caracteriza-se por existir um contato direto entre a rocha e o substrato, sendo que a fixação das placas se dá por adesão química ou aderência física.

Estão incluídos nesse grupo, desde métodos consagrados, onde as placas são fixadas por uma argamassa de cimento e areia, até técnicas inovadoras, em que colas a base de polímeros são utilizadas.

A técnica mais tradicional utiliza para a fixação do granito uma argamassa convencional confeccionada à base de cimento e areia.

Outra técnica utiliza argamassas colantes produzidas industrialmente à base de cimento Portland comum, grãos finos de sílica (areia) e aditivos (Maranhão apud Barros, 1993).

Diversos tipos de argamassas colantes específicas para o assentamento de mármore e granitos estão sendo comercializadas no Brasil, dentre as quais se destacam as produzidas pela Quartzolit, Portobello, Mazforte, Fortaleza, Lafarge e Eliane.

Apesar de não existirem parâmetros que especifiquem a resistência de aderência mínima para os revestimentos com placas de rocha, a norma NBR 13753 (ABNT, 1996), destinada aos revestimentos de piso cerâmicos, especifica como valor mínimo para a resistência de aderência 0,3 MPa.

1.7.3. Sistema de fixação

Especificamente para o acompanhamento dos revestimentos de fachadas, há que se observarem as recomendações das Normas Brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de números NBR-13.707 (ABNT, 1996) e NBR-13.708 (ABNT, 1996), cujo escopo global aplicáveis são os seguintes:

NBR 13.707 - Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha.

Esta Norma fixa as condições exigíveis para a elaboração de projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha. Aplica-se a mármore e granitos e, eventualmente, a outras rochas similares.

NBR 13.708 - Execução e inspeção de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha.

Na fixação das placas de rochas como revestimento externo, pode-se utilizar o sistema de fixação com “inserts” metálicos, através de pinos previamente especificados para suportarem o peso próprio do revestimento, além das demais cargas atuantes na placa e deformações diferenciais existentes entre a rocha e a parede de fixação. Na figura 11 são mostrados alguns exemplos, em fachada aerada, onde as placas pétreas são fixadas por este sistema. A escolha do tipo de “insert” é função da posição da placa no revestimento, de acordo com a paginação sugerida. Desta forma, a fixação metálica de revestimento em varandas e balanços é diferente daquele das fachadas (pano liso). Ainda na figura a seguir, são mostrados os “inserts” de sustentação (LT e LD) e os de fechamento (G e GL). A letra C indica o uso de cantoneira.

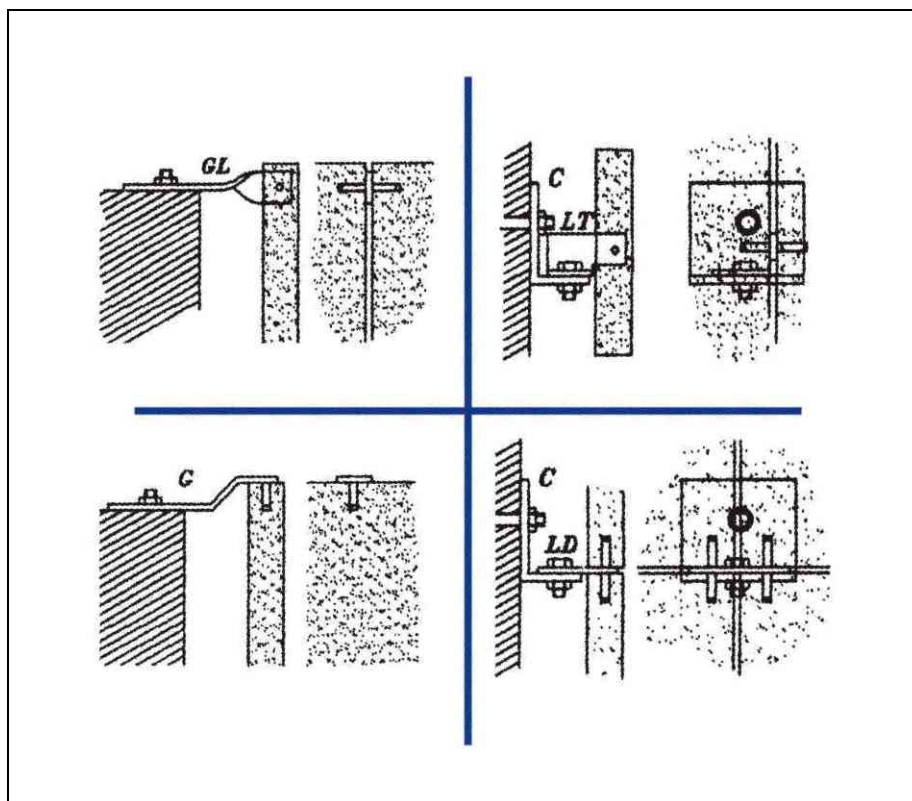


Figura 11 - Ilustração do método de fixação utilizando “inserts” metálicos e placas de 3 cm de espessura (fonte: Dorvo Ferragens e Máquinas Ltda)

Nas figuras 12 e 13 são mostrados detalhes do procedimento de fixação de fachadas de prédios com a utilização de grampos metálicos ("inserts") através do sistema de fachada aerada.



Figura 12 - Detalhe da fixação com "inserts" metálicos e vista superior da fachada do Edifício Flat Beira Mar, situado na cidade do Recife.



Figura 13 - Vista inferior de "insert" metálico de sustentação.

1.8. PROPRIEDADES ESTRUTURAIS DA ROCHA

Para se entender o processo de testes é importante observar as características da rocha comparada a outros materiais usados em estruturas.

- A rocha é dura e pouco flexível em vez de dúctil.
- A rocha é um produto da natureza e, como tal, apresenta grande variação de suas propriedades.

- A rocha perde resistência como resultado de sua exposição ao meio ambiente.
- A rocha apresenta diferentes resistências em diferentes direções.
- A resistência da rocha é afetada pelo acabamento de sua superfície e por estar molhada ou seca.

O homem pouco pode fazer para alterar as propriedades básicas da rocha usada para construção. Entretanto, pode-se obter uma série de informações que são importantes para o desenvolvimento de um projeto por meio de testes apropriados que darão subsídios para a correta especificação do material de revestimento.

Na tabela 8 são indicados os parâmetros mínimos para o correto dimensionamento de rochas para fins ornamentais, segundo a norma C 615 da ASTM (1992).

Tabela 8- Parâmetros mínimos para dimensionamento de pedras (ASTM)

TIPO DE PEDRA	RESISTÊNCIA À FLEXÃO C880 (psi/MPa)	MÓDULO DE RUTURA C99 (psi/MPa)	RESIST. À COMPRESSÃO C170 (psi/MPa)	ABSORÇÃO C97 (percent, máx.)	DENSIDADE C97 (lb/ft³/Kg/m³, mín.)
Mámore C503-89 Calcita Dolomita Serpentina Travertino	1,000/6,89	1,000/6,89	7,500/51,71	0.20	162/2595 175/2803 168/2691 144/2306
Calcáreo (Limestone) C568-89 Baixa Densidade Média Densidade Alta Densidade	Não Especificado	400/2,76 500/3,45 1,000/6,89	1,800/12,41 4,000/27,58 8,000/55,16	12 7.5 3	110/1762 135/2162 160/2563
Granito C615-92	1,200/8,27	1,500/10,34	19,000/131,00	0.40	160/2563
À Base de Quartzo C616-89 Arenito Arenito Quartzítico Quartzito	Não Especificado	300/2,07 1,000/6,89 2,000/13,79	2,000/13,79 10,000/68,95 20,000/137,89	20 3 1	135/2162 150/2402 160/2563
Ardósia C629-89	Não Especificado	MÓDULO DE RUTURA C120 9,000*/62,05 7,200**/49,64	Não Especificado	ABSORÇÃO C121 (percent. máx.) 0.25 Exterior 0.45 Interior	Não Especificado

* Através do grão ** Paralelo ao grão

1.9. PATOLOGIAS EM ROCHAS ORNAMENTAIS

As principais manifestações patológicas observadas nos revestimentos com placas de rocha na cidade de Recife são:

1.9.1. Manchamentos: este tipo de patologia ocorre em todos os métodos construtivos utilizados. Nos aderentes, os principais problemas apresentam como origem a umidade oriunda da própria argamassa de assentamento (figura 14) e a oxidação das “grapas” metálicas chumbadas no tardo das placas (figura 15).



Figura 14: Manchamento em um revestimento de fachada na cidade do Recife assentada segundo a técnica de grande espessura.

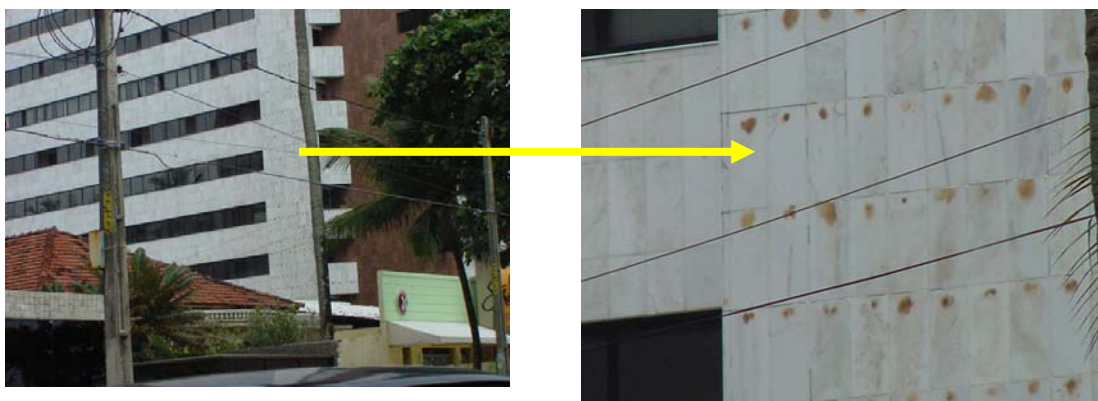


Figura 15: Manchamento devido a oxidação das “grapas” em um revestimento com placas de rocha na cidade do Recife.

No método não-aderente os principais problemas identificados foram os manchamentos devido à degradação do selante utilizado como rejunte entre placas (figura 16) e a oxidação dos insertos metálicos (figura 17).



Figura 16: Manchamentos devido ao selante



Figura 17: Oxidação precoce dos insertos metálicos

1.9.2. Eflorescências: é uma manifestação patológica característica do método aderente, principalmente na técnica de grande espessura, e tem como causa principal a dissolução de sais solúveis presentes na argamassa de assentamento, e posterior migração e cristalização na superfície das placas. Esses sais solúveis têm como principais fontes a hidratação do cimento e da cal (figura 18).



Figura 18: Eflorescência em revestimento de fachada na cidade do Recife.

1.9.3. Fissuras: é uma manifestação patológica não muito comum na cidade do Recife tanto nos revestimentos aderentes como nos não aderentes. As principais causas dessa patologia são: movimentação da estrutura suporte, impactos e a cristalização de sais solúveis da argamassa. Nas figuras 19 e 20 são apresentados exemplos de revestimentos aderentes e não-aderentes, respectivamente onde são mostradas fissuras.



Figura 19: revestimento do tipo aderente fissurado.



Figura 20: revestimento do tipo não-aderente fissurado na posição do “insert” metálico.

1.9.4. Destacamento: Apesar de apresentar um número de ocorrência consideravelmente inferior aos revestimentos cerâmicos, o destacamento de uma placa de rocha pode trazer grandes prejuízos, principalmente devido ao elevado peso das placas. Este tipo de manifestação patológica ocorre com mais frequência nos métodos aderentes, mas já houve casos em dois edifícios que utilizaram o método não-aderente. Apresenta como principais causas as movimentações da estrutura, a inadequada execução das juntas e a má aderência.

1.9.5. Fungos: Manifestação patológica característica dos rejuntas utilizados entre placas quando utilizado os sistemas aderentes para o assentamento. Este mesmo tipo de manifestação patológica já foi destacado por Maranhão apud Gomes (2002) na cidade de Maceió.

1.10. APLICAÇÃO DO MARMOGLASS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A aplicação de Marmoglass, no mundo, usado tanto para revestimento externo (fachadas) e interno de paredes, e piso interno, quanto para peças de corte sob medida como bancadas e soleiras, utilizando os mais diversos tipos de acabamentos de borda.

Observa-se que os tipos de aplicações tanto para materiais de revestimentos como para os objetos de decoração são similares às de rochas ornamentais, possuindo, o marmoglass, uma maior homogeneidade em relação ao material natural.

As principais aplicações existentes referem-se a revestimentos externos de fachadas (figura 21) e à decoração de interiores, em especial a aplicação em pisos, devido à alta resistência à abrasão, característica do marmoglass (figura 22).

A variedade de cor, principal atrativo do ponto de vista estético, faz com que esse material tenha grande aceitação por parte dos consumidores e profissionais da arquitetura. Apesar das diferentes cores, as características tecnológicas (índices físicos, parâmetros mecânicos e composição química) dos diversos tipos de marmoglass são similares, como poderá ser observado nos capítulos 2 e 3 do presente trabalho.



Figura 21: Aplicação de “*marmoglass*” em fachada do edifício Demir Bank, Turquia



Figura 22: Revestimento interno e pavimentação do metrô em Dusseldorf, Alemanha

1.11. ANÁLISE COLORIMÉTRICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

1.11.1. Fundamentos da cor

Sob o ponto de vista puramente físico, a produção de cor requer três fatores: uma fonte de luz, um objeto a ser iluminado e um detector foto-sensível. A figura 22 exemplifica o sistema necessário para percepção da cor.

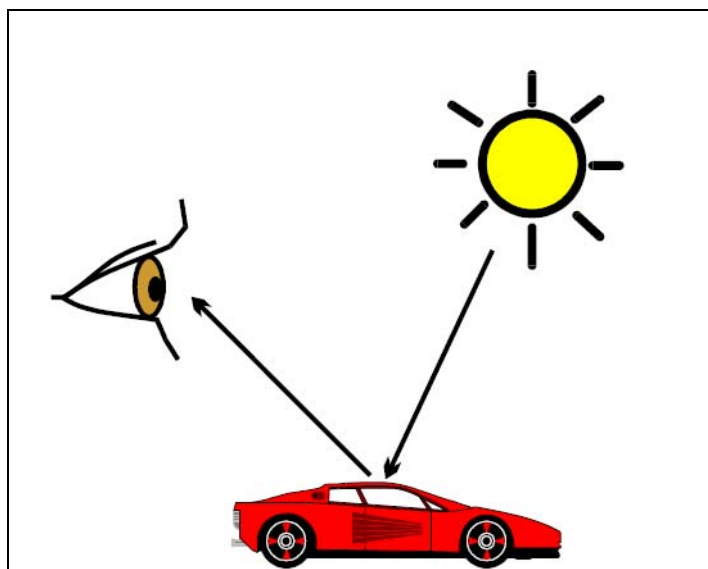


Figura 23: Fonte de luz, objeto iluminado e detector foto-sensível.

A luz visível é uma forma de energia (E), descrita pelo seu comprimento de onda. Os raios luminosos são ondas eletromagnéticas e podem ser definidos por vários parâmetros, (Dordet apud Silva, 2006):

- a) Frequência (n): número de vibrações por segundo;
- b) Período (T): duração de vibração em segundos;
- c) Comprimento de onda (l): distância de propagação durante um período T.

Da física, tem-se:

$$T = 1/n$$

$$L = c/n$$

$$E = h.n$$

onde: $c = 3 \times 10^8$ m/s e $h =$ constante de Planck $= 6,63 \times 10^{-34}$ joules $\times$ s

1.11.2. Fenômenos físicos que ocorrem com a luz

Quando a luz incide sobre um objeto, um ou mais fenômenos físicos podem ocorrer, tais como:

- 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 atravessa o material, sendo transmitida;
- c) parte é absorvida pelo material, se transformando em calor ou promovendo outras reações químicas;
- d) e parte pode ser espalhada por irregularidades na superfície e/ou heterogeneidades do próprio material.

De acordo com o acabamento da superfície do material, a reflectância pode ir de regular a completamente difusa, como está ilustrado na Figura 24.

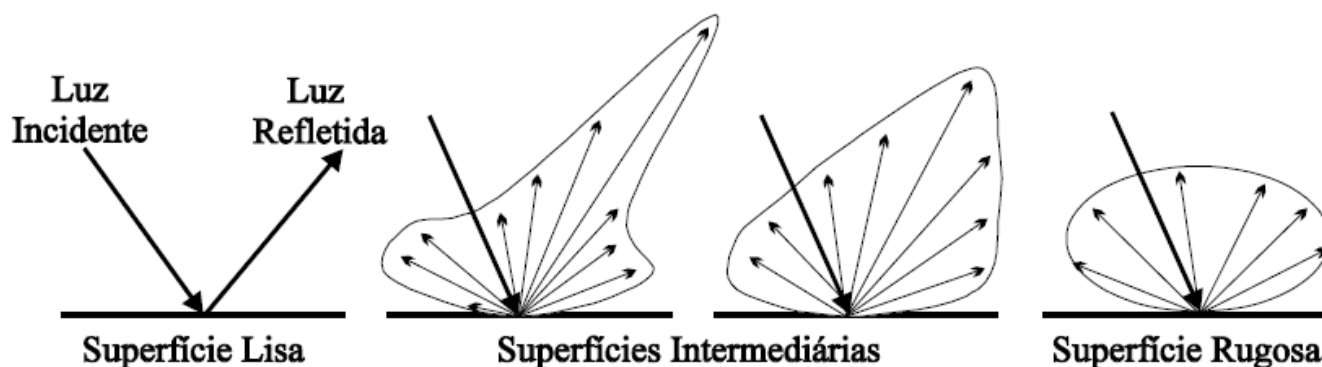


Figura 24: Fenômeno da reflexão da luz em diferentes tipos de superfícies, com o aumento da rugosidade. Fonte: (Kingery apud Silva, 2006).

O efeito da luz sobre objetos opacos pode ser avaliado por meio das curvas de reflectâncias, que mostram a fração da luz refletida pelo objeto, em cada comprimento de onda. Os objetos coloridos refletem a energia luminosa que caracteriza a sua cor, absorvendo todo o restante do espectro (Billmeyer; Saltzman, 1966). A Figura 25 mostra os espectros (ou curvas) de reflectâncias de alguns objetos opacos e coloridos.

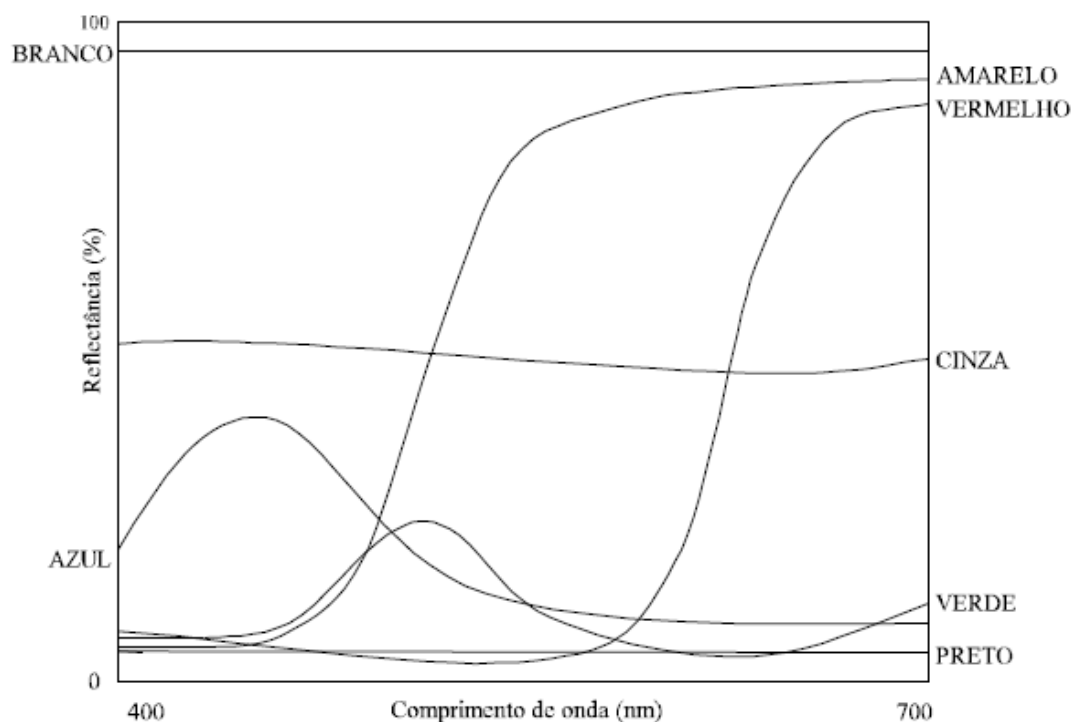


Figura 25: Espectros de reflectâncias de objetos opacos e coloridos, na faixa de comprimento de onda do visível. Fonte: (Billmeyer e Saltzman, 1966).

1.11.3. Parâmetros colorimétricos

Para o entendimento do fenômeno da cor, três variáveis, ou parâmetros, são importantes: tonalidade, saturação e intensidade (luminosidade). Os três parâmetros são usados de maneiras variadas para definir e medir cores (Dordet, 1990). A tonalidade é um fator da qualidade na cor. Ela permite descrever a cor em termos de comprimento de onda. Exemplo: amarelo, azul, verde, etc. A saturação é a percentagem de tonalidade presente na cor, e tem relação com a pureza espectral da cor. A intensidade está relacionada com o brilho, isto é, tonalidade mais clara ou mais escura. Exemplo: azul claro, verde escuro, etc.

A Figura 26 mostra as relações entre os parâmetros tonalidade, saturação e intensidade.

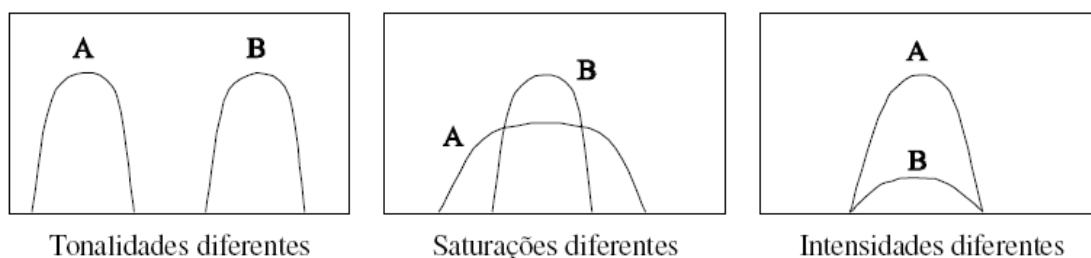


Figura 26: Relação entre os parâmetros tonalidade, saturação e intensidade.

1.11.4. Sistemas de medição de cores

O sistema CIELAB foi desenvolvido por Judd e Hunter e padronizado na reunião da CIE, em 1976. Na prática, é o modelo mais amplamente utilizado, pois ele consegue resolver uma das maiores dificuldades do espaço colorimétrico original Yxy em que a mesma distância de x e y sobre o diagrama da cromaticidade não corresponde a mesma percepção das diferenças de cor. As coordenadas L^* , a^* , e b^* são relacionáveis com os valores tristimulus X, Y e Z. Nele, o parâmetro L^* mede a luminosidade que varia de 100, para o branco nominal, a zero, para o preto, de uma maneira aproximadamente igual como o olho humano poderia avaliar. O parâmetro a^* varia de positivo a negativo: quanto mais positivo mais vermelho é a cor e, quanto mais negativo, mais verde é a cor. Se o parâmetro for zero, a cor é cinza. O parâmetro b^* também varia de positivo a negativo: quanto mais positivo mais amarelada é a cor e, quanto mais negativo, mais azulada é a cor. Se for zero, a cor é acinzentada (Hunterlab, 1996).

As relações das coordenadas L^* , a^* e b^* com X Y Z são:

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (14)$$

$$a^* = 500 ((X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}) \quad (15)$$

$$b^* = 200 ((Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}) \quad (16)$$

onde X_n , Y_n e Z_n correspondem ao branco nominal.

A Figura 27 é a representação visual da cor do sólido do sistema CIELAB.

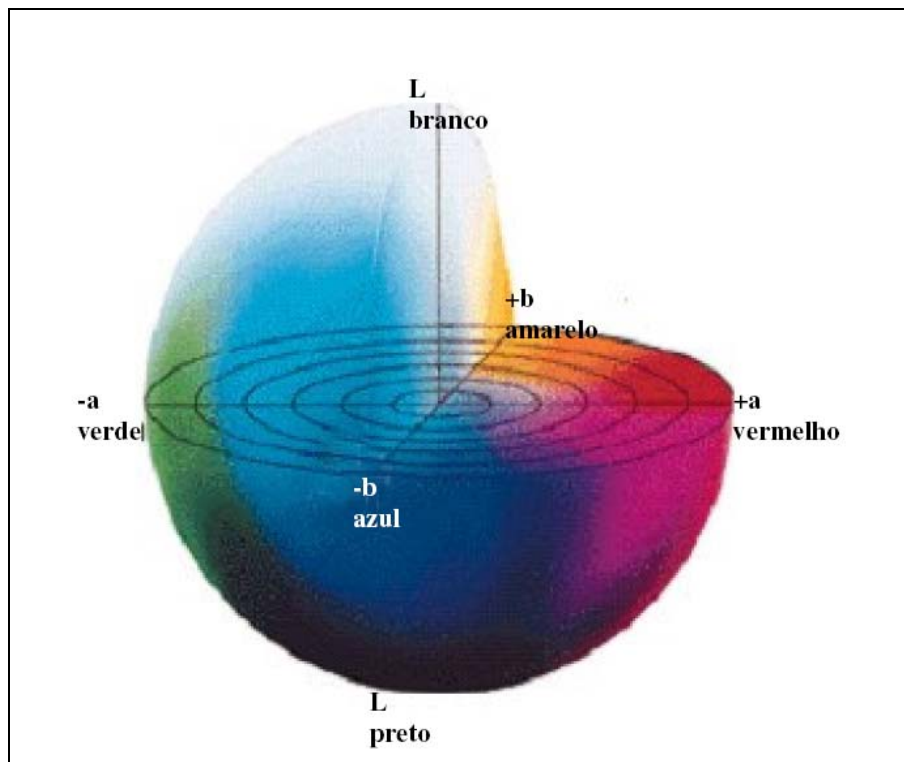


Figura 27: Representação do sólido colorido para o espaço colorimétrico $L^*a^*b^*$ (Minolta, 1994).

A Figura 28 representa o sólido seccionado horizontalmente com o valor de L^* constante.

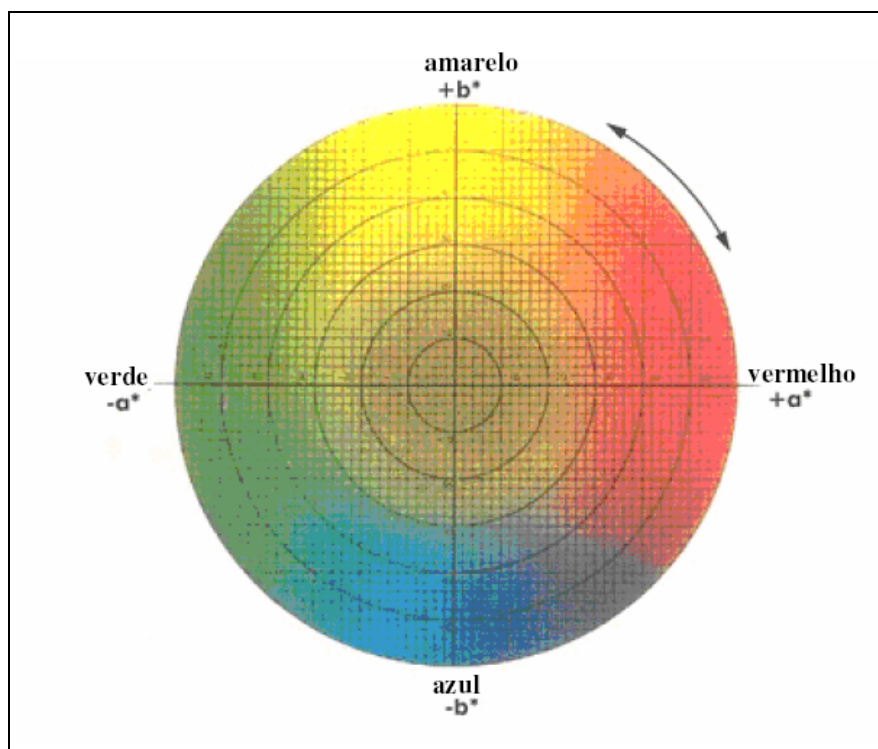


Figura 28: Diagrama de cromaticidade representando o sólido seccionado com L^* constante (Minolta 1994).

Minuciosas diferenças de cor entre duas amostras podem ser facilmente identificadas por um observador treinado. No entanto, quando se necessita transcrever estas diferenças de cor de maneira compreensível e com certa exatidão surgem problemas de interpretação. A colorimetria diferencial é uma ferramenta que pode ajudar a resolver este problema. Ela transforma as diferenças colorimétricas em números facilmente interpretáveis.

Utilizando a equação matemática do ΔE^*_{ab} que relaciona os valores de L^* , a^* e b^* pode-se avaliar quanto uma cor difere da outra.

$$\Delta E^*_{ab} = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

onde:

$$\Delta L^* = (L_1 - L_2)$$

$$\Delta a^* = (a_1 - a_2)$$

$$\Delta b^* = (b_1 - b_2)$$

O ΔE^*_{ab} permite que se avaliem diferenças de percepções também entre observadores.

Na tabela abaixo se observa uma classificação utilizada na indústria de tintas de impressão para controle de qualidade. Tintas que tenham um ΔE^*_{ab} acima do limite esperado são classificadas como cores diferentes. Por exemplo, cores que tenham entre si um ΔE^*_{ab} de 1,5 para os observadores são cores que podem ser distinguidas como cores diferentes (Hunterlab, 1996).

Tabela 9 - Exemplo de tolerância na indústria de tintas de impressão

Diferenças (ΔE^*_{ab})		Classificação
De	até	
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

Fonte: Norma DIN 6174

O objetivo da colorimetria diferencial é prover um modelo quantitativo de percepções das diferenças de cores que concordem bem com a percepção visual das diferenças de cores de uma média de observadores sob condições padronizadas.

1.11.5. Aplicação da colorimetria para avaliação da alterabilidade de rochas

Ensaio tecnológicos para determinação da alterabilidade da rocha ornamental são indispensáveis para uma adequada seleção do material a ser utilizado como revestimento externo de prédios ou de áreas internas afetadas por umidade ou vapor d'água como no caso de piscinas, pias e banheiros (Koppe, 2005).

O presente item aborda questões relativas ao desenvolvimento de metodologias para utilização de técnicas colorimétricas para avaliação do comportamento estético e textural de rochas ornamentais, em especial os efeitos da alteração química de rochas.

A partir de resultados preliminares de avaliação da homogeneidade e estabilização de médias para os parâmetros colorimétricos L^* , a^* e b^* pode-se estabelecer critérios para caracterização colorimétrica de materiais heterogêneos (rocha) com o objetivo de determinar a homogeneidade cromática do material, avaliar as mudanças cromáticas devido a processos de alterabilidade física e/ou química e realizar o controle de qualidade estético de rochas ornamentais utilizadas na construção civil (Souza, 2007).

Já o conceito de alterabilidade vai além da definição qualitativa ou quantitativa do estado de alteração da rocha, ele tem a ver com “a potencialidade, maior ou menor, da rocha a se alterar, ou seja, de apresentar maior ou menor modificação de suas propriedades ao longo do tempo” (Frazão, 2002).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1. CARACTERIZAÇÃO DO MARMOGLASS

A caracterização do material marmoglass foi realizada através da análise do material obtido utilizando-se um microscópio digital USB marca Digimicro com câmera digital de 1,3 Mega Pixel, permitindo um aumento de 200 x no tamanho da imagem.

Também foi realizada análise química do material marmoglass, através de fluorescência de raios X, feita no Laboratório de Fluorescência de Raios X do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, através da técnica do disco de vidro fundido descrita em Haukka e Thomas (1977) e Thomas e Haukka (1978). Os ensaios foram realizados em um equipamento automático Philips, modelo PW2400, com trocador de amostras automático.

2.2. ENSAIOS TECNOLÓGICOS DO MARMOGLASS

Os ensaios foram realizados em amostras de quatro tipos diferentes de *marmoglass* de distintos fornecedores. Todos os ensaios obedeceram às normas ABNT/NBR e foram realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Engenharia de Minas, no Laboratório de Materiais e Estruturas e no Laboratório de Mecânica dos Solos e Instrumentação, estes últimos do Departamento de Engenharia Civil, todos da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

Dos materiais disponíveis, foram ensaiados 3 (três) tipos de coloração branca e 1 (um) tipo de coloração bege. As amostras brancas foram denominadas *stoneglass* (duas amostras), *marmoglass* (uma amostra) e *stoneglass bege* (uma amostra), nomeação de acordo com informação dos fornecedores. As nomenclaturas dadas às amostras foram Branco 1, o *stoneglass* branco da marmoraria Olho d'água de origem da empresa Granos – Granitos do Nordeste, CE; Branco 2, o *stoneglass* branco fornecido pela Granex - Granitos de Exportação do NE, PE; Branco 3, o *marmoglass* branco e o *stoneglass* bege fornecidos pela Marmorart de origem da empresa Pleno Revestimentos, PE.

Como os ensaios do fabricante do *marmoglass* têm utilizado normas internacionais baseadas na ASTM, mesmo havendo grande semelhança entre as metodologias de execução dos ensaios, podem existir diferenças nos resultados e assim os valores obtidos não correspondem necessariamente àqueles obtidos junto aos catálogos de divulgação do material Marmoglass. Este material tem propriedades correspondentes a de rochas naturais, porém, sendo materiais fabricados artificialmente, assim como o porcelanato, apresentam menor variação nos seus resultados comparativamente às rochas naturais.

2.2.1. Índices Físicos

Os índices físicos representam a densidade (ou a massa específica), a porosidade e a absorção de água aparentes (Vidal, 1999). O conhecimento da densidade auxilia na quantificação do peso do material. A porosidade representa percentualmente o volume de vazios contidos na amostra. A absorção de água indica uma relação percentual entre os pesos da amostra e da água nela contida. Sabe-se que há uma grande interdependência entre os índices físicos, pois um dado tipo petrográfico será mais denso se sua porosidade for menor, e, conseqüentemente, terá sua capacidade de absorção d'água menor.

Esses parâmetros, por sua vez, influenciam de forma diferente as propriedades físicas das rochas. Assim, se um determinado tipo petrográfico apresenta densidade elevada, pode-se deduzir que também apresentará alta resistência mecânica. Por outro lado, um elevado índice de porosidade implicará em baixas resistências mecânicas e alta absorção d'água, o que conduz à expectativa de uma baixa durabilidade.

Cada amostra com dimensões de 3 x 3 x 2 cm, foi pesada em balança digital marca Marconi, modelo AS 500 C, com precisão de 0,01g. Foram feitas pesagens a seco, a úmido e saturada em água. Para a pesagem submersa (saturada em água) foi utilizado o dispositivo de pesagem hidrostática, conforme figuras 29. A figura 30 ilustra a pesagem ao ar das amostras de marmoglass.

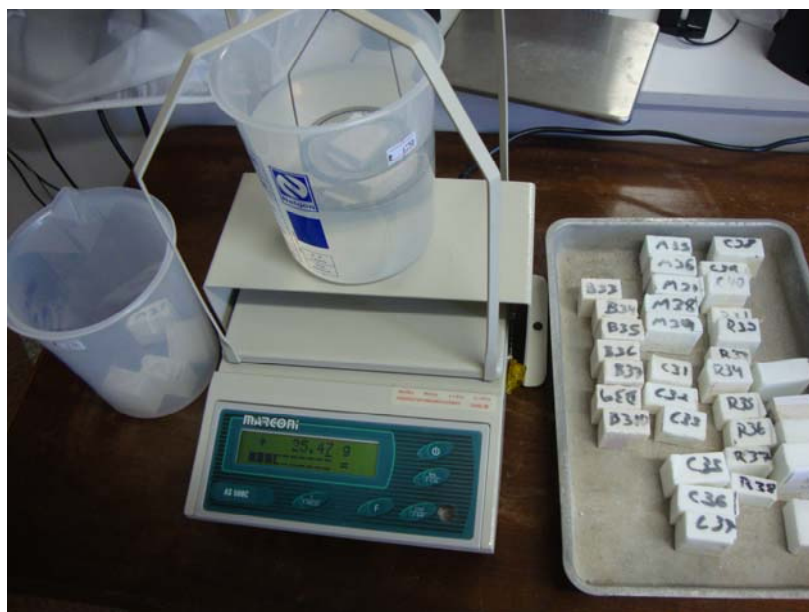


Figura 29: Dispositivo de pesagem hidrostática utilizado para determinação dos índices físicos do marmoglass.



Figura 30: Pesagem a seco de corpo de prova para determinação dos índices físicos do marmoglass.

2.2.2. Resistência à Flexão

Estes ensaios têm como finalidade definir a qualidade do material no que se refere à resistência a esforços físicos de flexão, e desta forma definir os parâmetros geométricos estruturais das placas visando adequar sua resistência aos esforços então solicitados.

Estes ensaios permitem ao projetista e calculista da obra definir as relações mínimas de largura, espessura e comprimento de forma a executar obras com qualidade, garantia, segurança e economia de material, mão de obra e tempo de execução.

Para execução deste ensaio foi utilizada prensa hidráulica com célula de carga, de 10T de capacidade, do fabricante Indústria e Comercio Ronald Top, existente no Laboratório de Mecânica dos Solos e Instrumentação do Departamento de Engenharia Civil – DECIV - da UFPE, conforme é mostrado na figura 31.



Figura 31: Equipamento utilizado para execução dos ensaios de resistência à flexão (Laboratório de Mecânica de Solos e instrumentação – DECIV/UFPE).

Foram ensaiados 05 (cinco) corpos de prova de cada tipo; o procedimento adotado é aquele descrito na norma ASTM C-880. O ensaio a flexão em quatro pontos é ilustrado na figura 32.

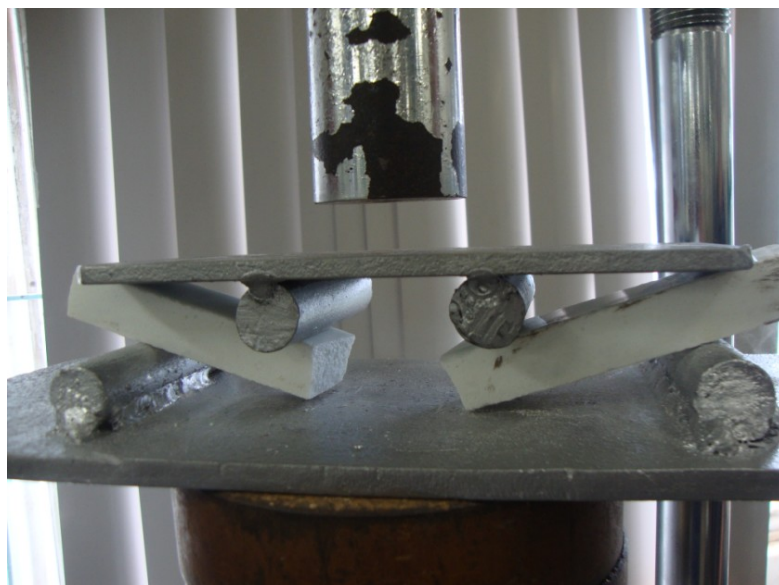


Figura 32: Rompimento de corpo de prova na hora da medição.

2.2.3. Desgaste Amsler

A finalidade deste ensaio é definir a resistência do material em relação ao desgaste abrasivo e a perda de qualidade com o pisoteio sobre o material. Dessa forma pode-se definir a aplicação de determinada rocha no piso de acordo com o pisoteio previsto no ambiente.

Esse ensaio permite ao arquiteto a aplicação correta de material para pavimentação em cada local, de acordo com a resistência à abrasão do material. Assim pode-se citar como exemplo que ambientes de quartos e banheiros permitem rochas de maior desgaste do que os ambientes de sala e cozinha onde o pisoteio é mais intenso.

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais e Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da UFPE com equipamento do tipo Amsler. O equipamento usado é mostrado em fotografia na figura 33.



Figura 33: Equipamento para execução do ensaio de resistência ao desgaste abrasivo tipo Amsler.

Foram ensaiados 05 (cinco) corpos de prova de cada tipo de marmoglass. Foram realizados percursos de 1000 e 500m. O procedimento obedeceu à norma NBR 12.042 da ABNT.

2.2.4. Impacto de Corpo Duro

O ensaio é realizado através do impacto de uma esfera de aço endurecido com peso pré-determinado (aproximadamente 1 kg) em queda livre, gerando um choque perfeitamente elástico sobre a chapa do material. Observam-se com lupa as alterações sofridas na sua superfície, desde as microfissuras propagadas até a ruptura.

Através desse ensaio tem-se informação da capacidade de absorção de choque do material bem como de sua coesão, adotando-se rochas mais resistentes em ambientes onde a rocha estará sujeita a esse tipo de solicitação, ou seja, ambientes comerciais e aeroportos, por exemplo.

Também é importante para avaliar problemas de manuseio de chapas durante a fase de aplicação de placas de rocha, em especial as chapas que serão içadas para aplicação em fachadas.

A figura 34 mostra o resultado do ensaio de impacto de corpo duro e o aspecto de rompimento da chapa ensaiada (marmoglass branco).



Figura 34: Ruptura de corpo de prova no equipamento de impacto de corpo duro disponível no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE.

2.3. ENSAIO DE ALTERABILIDADE QUÍMICA ACELERADA

Os ensaios de alterabilidade acelerada têm como finalidade verificar a resistência química deste material frente a diversos produtos químicos de uso freqüente no cotidiano. A seleção de tais produtos está relacionada ao fato destes estarem presentes na formulação da maioria dos produtos domissanitários que são constantemente utilizados na higienização e manutenção das peças e revestimentos confeccionados com este material (marmoglass). Técnica colorimétrica foi aplicada para avaliação dos possíveis processos de alterabilidade apresentados pelo marmoglass, que atuariam diretamente nas características estéticas e texturais do material.

Segundo Frascá (2003), os principais produtos selecionados para resistência ao ataque químico são: cloreto de amônio, hipoclorito de sódio, ácido cítrico, ácido clorídrico e hidróxido de potássio que são aplicados na superfície polida das placas do material pétreo simulando os processos de limpeza e manutenção.

O ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) é usado como acidulante e estimulante de aroma em refrigerantes, sucos de frutas, geléias, frutas em conserva, balas e produtos de laticínio, além de ser aplicado nas indústrias farmacêuticas, de

cosméticos, de detergentes biodegradáveis e até na produção de plásticos. É um agente comum e que está presente na rotina diária de todos e, como muitos outros produtos, pode ocasionar alguns problemas como alteração na cor e até corrosão dos materiais pétreos (Costa, 2007).

Também conhecido como ácido muriático e hidrolórico, o ácido clorídrico (HCl) é utilizado tanto como material domissanitário como para outras finalidades: tratamento de metais ferrosos; acidificação de poços de petróleo; flotação e processamento de minérios; indústria alimentícia; indústria farmacêutica; neutralização de efluentes.

Por ser um composto químico miscível em todas as proporções, em água, e solúvel em álcool, éter, benzeno, acetona, ácido céptico e clorofórmio, é muito usado na composição dos materiais de limpeza.

O hidróxido de potássio (KOH), também conhecido como potassa cáustica, é usado para alvejamento, na fabricação de sabões moles e no processamento de certos alimentos. O hidróxido de potássio tem pH básico e está presente na composição da maioria dos materiais de limpeza. De elevada alcalinidade provoca, dependendo da concentração utilizada, na maioria dos materiais pétreos, diminuição do brilho afetando, portanto também o polimento. Demonstra que é na verdade, uma substância bastante agressiva, pois reage com a acidez dos materiais pétreos, estando entre os mais agressivos.

O hipoclorito de sódio (NaClO) é o princípio ativo da maioria dos produtos de limpeza, sendo muito usado na: desinfecção hospitalar; produção de água sanitária; tratamento de águas; intermediário na fabricação de produtos químicos; tratamento de efluentes industriais; branqueamento de celulose e têxteis e uso doméstico. Sendo bastante solúvel em água, favorece a sua utilização como um dos principais agentes utilizados na composição dos produtos de limpeza, dentre os quais o mais comum é a água sanitária.

O cloreto de amônio (NH₄Cl), este sal hidrolisável, extremamente solúvel em água, é obtido em solução aquosa a partir da reação do gás amoníaco (NH₃), com solução de ácido clorídrico. É usado na fabricação de produtos de limpeza doméstica, na revelação de filmes fotográficos, em detergentes, na indústria têxtil, entre outras.

Neste trabalho, no entanto, os estudos de alterabilidade acelerada foram efetuados por imersão total do material estudado (marmoglass). Ao invés do proposto pela norma NBR 13818 (anexo H), que utiliza a aplicação dos produtos químicos sobre a superfície polida das placas, modificação para ensaiar os corpos de prova por imersão total nos respectivos reagentes descritos acima foi sugerida pelo autor. Esta mudança foi introduzida para

avaliação das características de alterabilidade do produto frente a condições bem mais agressivas que aquelas propostas pela norma, uma vez que as informações veiculadas pelo fabricante apontam o marmoglass como produto de elevada resistência química.

Foram confeccionadas corpos de prova do material marmoglass de dimensões 10 x 10 x 2 cm que, após lavagem em água corrente, e secados ao ar, com posterior determinação dos parâmetros colorimétricos para estes corpos de prova. Foram obtidas 15 leituras em cada corpo de prova, antes e após os ensaios de imersão para posterior comparação entre os mesmos. Dos parâmetros colorimétricos obtidos $L^*a^*b^*$ foram traçadas curvas de reflectância total, no sistema de cores CIELab (padrão de comparação).

Para realização das medições foi utilizado um iluminante padrão D65 e geometria de medição a 10° . Após medição determinou-se a reflectância média das chapas na faixa espectral de 400 a 700 nm, e também os índices $L^* a^* b^*$ médios bem como o desvio-padrão, que indicam a homogeneidade cromática do material.

Os reagentes utilizados nos ensaios de imersão total estão descritos abaixo, e foram utilizados nas concentrações especificadas:

- Amostra 1: ácido cítrico P.A (diluição de 100 g/l);
- Amostra 2: ácido sulfúrico, solução P.A. (diluição de 50 g/l);
- Amostra 3: aguarrás mineral (produto comercial – hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos)
- Amostra 4: Pinho Brill (produto comercial)
- Amostra 5: Água sanitária (produto comercial – hipoclorito de sódio e carbonato de sódio: 2 a 2,5% p/p de Cl ativo)
- Amostra 6: Ajax (produto comercial – ácido dodecil-benzeno sulfônico)
- Amostra 7: Álcool etílico (produto comercial)
- Amostra 8: Detergente (tensoativo aniônico)
- Amostra 9: Soda cáustica (produto comercial em escamas, concentração 100 g/l)
- Amostra 10: Veja (produto comercial – alquil benzeno sulfotato de sódio)

Para realização dos ensaios, as amostras foram colocadas em imersão total por períodos de 8 dias, 23 dias e 35 dias nas soluções dos respectivos reagentes químicos. Em cada uma das datas previstas os corpos de prova foram retirados dos reagentes, lavados, secos ao natural e efetuadas as

medições com o espectrofotômetro marca Hunter Lab modelo Colorflex (figura 35) para obtenção dos parâmetros de brilho após os ensaios de imersão total.



Figura 35: Equipamento de medição de cor utilizado para ensaios de alterabilidade acelerada do Laboratório de Rochas Ornamentais do DEMINAS/UFPE.

As medições iniciais do material em seu estado original foram realizadas e os corpos de prova submetidos aos respectivos reagentes químicos (figura 36). Para cada uma dessas medições obtidas após o período de imersão, foram determinadas as médias, desvio padrão dos referidos índices bem como a curva de reflectância total. Os valores obtidos foram comparados com aqueles da amostra sã para a verificação de eventuais processos de alterabilidade e mudanças cromáticas que podem ter se desenvolvido no material.



Figura 36: Amostras de marmoglass imersas em reagentes químicos para ensaios de alterabilidade acelerada.

Ao final das medições foram elaboradas planilhas e gráficos mostrando as variações no valor médio dos parâmetros colorimétricos obtidos via espectrofotômetro, cálculo do ΔE^* e variações nas curvas de reflectância das amostras para os três intervalos de tempo sugeridos.

2.4. LEVANTAMENTO DE CAMPO

Foi realizado um levantamento de obras no município de Recife que utilizaram o material marmoglass. A partir desse levantamento elaborou-se uma estatística das aplicações levantadas em campo, agrupando as mesmas em revestimentos (interno e externo), pavimentação (interna e externa), acabamento e decoração.

Foram realizadas visitas aos locais de aplicação anotando-se o tipo de marmoglass, quantidade aplicada (m^2), data de aplicação, local, registro fotográfico e avaliação de desempenho do material (existência de patologias, desgaste, etc).

Levantou-se por fim, junto a um dos principais compradores desse material, os principais produtos fabricados com o material e tipo de aplicação previsto para o mesmo.

Com esses dados foi possível realizar uma estimativa da quantidade de material utilizado em obras na Região Metropolitana do Recife, os principais produtos fabricados e as principais aplicações do material marmoglass.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO MARMOGLASS

3.1.1. Descrição macroscópica:

O material marmoglass é essencialmente silicático tendo quase 60% de SiO_2 , com presença significativa de carbonato (CaO), feldspato (Al_2O_3) e outros elementos acessórios principalmente sódio, zinco e bário. Apresenta grãos arredondados e com forma elíptica, característica de um material artificial. Nunca apresenta fraturas, mas mostra vazios na forma arredondada (bolhas) presos na massa vítrea. É formado por substâncias estáveis que não são solúveis nas condições normais de temperatura e pressão. A figura 37 apresenta microfotografias digitais dos materiais, com aumento de 200 X, que mostra os aspectos texturais do material, notando-se claramente as bolhas de ar aprisionadas no material. Na foto a escala exibida corresponde a centímetro.

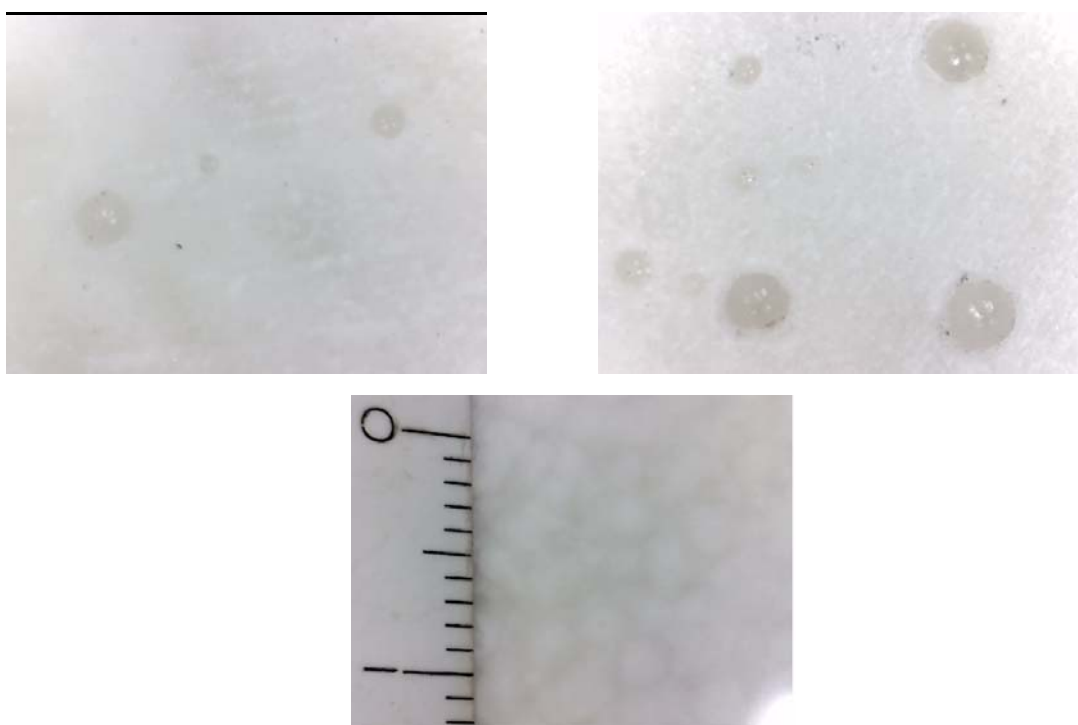


Figura 37: Microfotografias digitais com aumento de 200X. Marmoglass branco (superior à esquerda); marmoglass bege (superior à direita) e face vítrea do marmoglass bege (abaixo).

3.2. ANÁLISE QUÍMICA DO MARMOGLASS

Esta análise química do marmoglass foi realizada através de fluorescência de raios X junto ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Os resultados estão indicados na tabela 10 para o marmoglass branco e bege, respectivamente (resultados relativos à determinação dos elementos maiores).

Tabela 10: Resultados da fluorescência de raios X do marmoglass junto a Universidade Federal de São Paulo (Tabela 10A), e composição química fornecida pelo fabricante Nippon Electrics Inc. (Tabela 10B).

Elemento	Marmoglass Branco (%)	Marmoglass Bege (%)
SiO ₂	58,67	56,62
Al ₂ O ₃	6,84	6,82
CaO	16,41	16,98
K ₂ O	0,57	0,10
Na ₂ O	5,62	6,26
ZnO	3,00	7,50
BaO	3,50	5,50
TiO ₂	0,10	0,05
Fe ₂ O ₃	0,23	0,15
MnO	0,79	< 0.002
MgO	0,16	0,13
P ₂ O ₅	0,05	0,05
Perda ao fogo	0,34	0,28
Total	96,28	100,45

Tabela 10A

Óxidos	%
SiO ₂	56,0
Al ₂ O ₃	8,5
CaO	20,0
K ₂ O	2,0
Na ₂ O	6,0
ZnO	3,0
BaO	2,5
B ₂ O ₃	1,0
TiO ₃	0,5

Tabela 10B

Pelos resultados da fluorescência conclui-se que o material é formado basicamente por sílica (60%), óxido de cálcio (17%), alumina (7%), sódio (6%), zinco (entre 3 e 7,5%) e bário (entre 3,5 e 5,5%), valores esses consistentes com a informação levantada junto ao fabricante (Nippon Electrics Inc).

Os teores de sílica destes material uma vez comparados com os valores médios de SiO₂ presentes nos granitos (70%) e nos feldspatos calcossódicos (43 a 68%) sinalizam características ácidas para este material. De fato, este aspecto é de primordial importância para a resistência química do mesmo.

Os teores de alumínio constantes na tabela 22 são provavelmente oriundos de feldspatos que são adicionados para a fabricação do deste

material. Os valores encontrados apresentam proporções menores que aqueles característicos dos granitos e feldspatos. No entanto os valores encontrados para a composição química modal deste material correspondem à metade dos teores presentes em feldspatos e granitos.

Os percentuais de ferro presentes na composição química do Marmoglass revelam ainda que os feldspatos adicionados devem apresentar baixos teores de minerais metálicos de ferro.

As proporções percentuais de bário e de zinco apresentam-se elevadas sugerindo, portanto a adição de substâncias a base destes elementos. As diferenças detectadas nos teores de bário e zinco nas amostras de marmoglass provavelmente devem-se à utilização de materiais diferentes para obtenção da coloração desejada, o carbonato de bário funciona ainda como fundente. Observa-se ainda que os maiores teores de bário e zinco estão presentes na variação bege. Para a amostra de marmoglass branco a composição química é praticamente a mesma comparada às informações do fabricante.

Os valores de óxidos de cálcio e de sódio apresentam-se também bastante elevados. Para os de cálcio, observa-se que este pode ter duas origens prováveis. A primeira decorrente da adição de carbonato de cálcio que atua provavelmente como fundente, e a segunda, que pode advir da adição de feldspatos calcossódicos. Os percentuais do óxido de sódio provavelmente se originam da adição dos feldspatos.

As análises de fluorescência de raio x, nas amostras de marmoglass branco e bege, não revelaram a presença de boro (B_2O_3) discordando portanto do resultado analítico fornecido pelo fabricante.(Tabela 10 B).

3.3. ENSAIOS TECNOLÓGICOS

A partir dos resultados dos ensaios realizados sobre o material denominado Marmoglass de origem chinesa, foram realizados alguns estudos comparativos entre os índices limites estabelecidos pela norma ASTM C 615, e aqueles propostos por Frazão & Farjallat (IPT/USP), os valores sugeridos pela DEMINAS/PE e os valores médios obtidos nos ensaios do marmoglass. Esses índices são apresentados na tabela 11, a seguir.

Tabela 11: Valores especificados pela Norma ASTM, Frazão & Farjallat (IPT), DEMINAS/UFPE e valores médios obtidos nos ensaios realizados.

PROPRIEDADES	VALORES FIXADOS PELA ASTM C-615 e ASTM C-880	VALORES SUGERIDOS POR FRAZÃO & FARJALLAT	VALORES SUGERIDOS PELA DEMINAS/UFPE	VALORES MÉDIOS OBTIDOS NOS ENSAIOS
Massa Específica Aparente (Kg/m ³)	≥2.560	≥2.550	≥2.550	2.640
Porosidade Aparente (%)	n.e.	≤ 1,0	≤ 1,1	1,36
Absorção D'água (%)	≤ 0,4	≤ 0,4	≤ 0,4	0,52
Desgaste Amsler	n.e.	≤ 1,0	n.e.	0,44
Flexão em 4 pontos (MPa)	8,27	n.e.	n.e.	48,47
Impacto de Corpo Duro (m)	n.e.	≥ 0,4	n.e.	0,65

Fonte: American Society for testing and Materials – ASTM.

Frazão & Farjallat (1995)

DEMINAS/UFPE (2002)

Nota n.e.= não especificado

Os valores acima podem ser considerados como valores aceitáveis para a maioria das aplicações usuais de rochas ornamentais, indicando a qualidade mínima que a rocha deve possuir para sua aplicação como material ornamental. Tais valores podem ser relacionados com aqueles parâmetros encontrados nos ensaios do marmoglass considerando que este material pode ser usado nas mesmas aplicações e usos da rocha ornamental. A seguir, discutem-se as relações entre os vários parâmetros determinados (marmoglass) e aqueles do material pétreo.

3.3.1. Massa Específica Aparente Seca

Conforme pode ser observado na figura 38, as amostras estudadas apresentam valores que variam entre 2.580 e 2.679 kg/m³. A norma ASTM C 615 estabelece que o material pétreo utilizado como revestimento de exteriores ou peças estruturais deve ter densidade ou massa específica aparente mínima de 2.560 kg/m³. Assim verifica-se que as amostras de marmoglass em estudo atendem à especificação estabelecida nessa norma (ASTM) e, por conseguinte, aos valores sugeridos por Frazão e Farjallat e por DEMINAS/UFPE, que indicam índices menores.

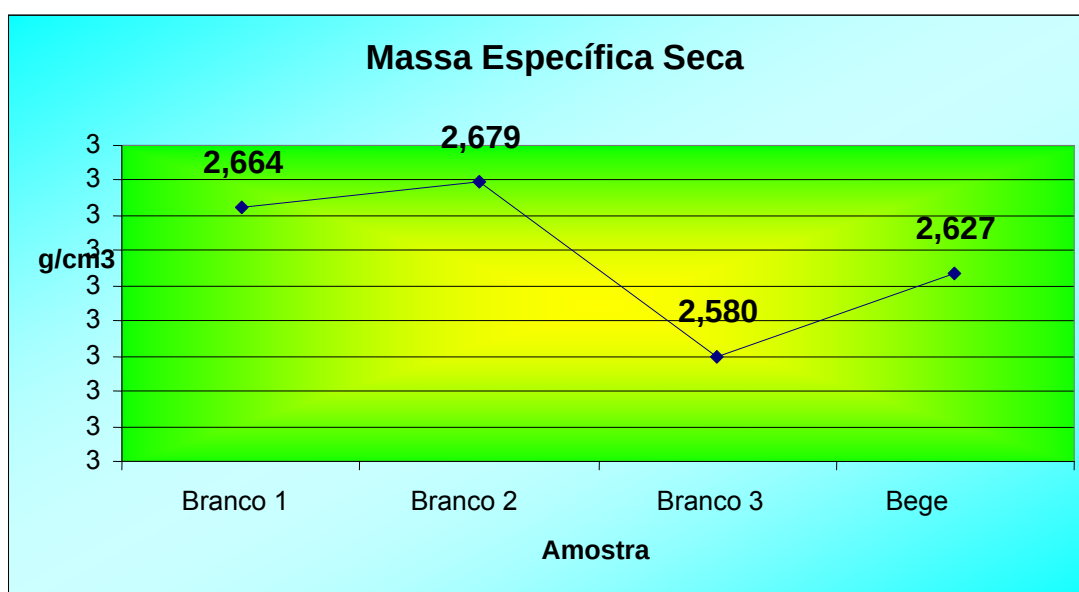


Figura 38: Resultados dos ensaios de determinação da massa específica seca

3.3.2. Massa Específica Aparente Saturada

A determinação da massa específica saturada é utilizada para fins de estimativa do peso aparente de placas a serem dimensionadas para obras diversas onde há a presença de umidade, visto que as placas provavelmente estarão saturadas com água na maior parte do tempo de utilização, principalmente em revestimentos externos. As amostras estudadas apresentam neste ensaio valores entre 2.595 a 2.689 kg/m³, maiores que aqueles considerados tanto pela ASTM como por Frazão & Farjallat e o grupo do DEMINAS/UFPE. Observe-se a figura 39.

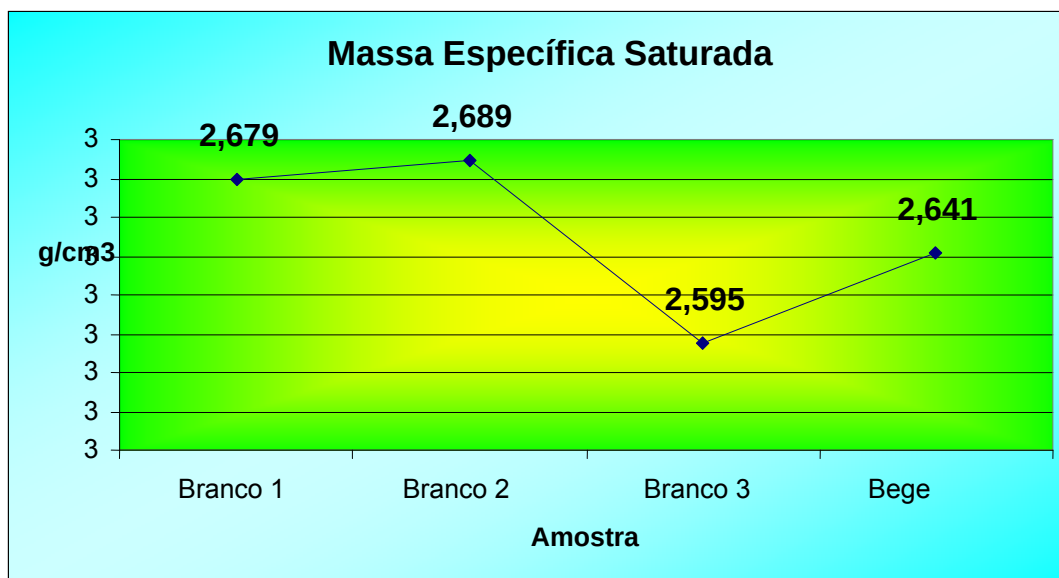


Figura 39: Resultados dos ensaios de determinação da massa específica saturada

3.3.3. Porosidade Aparente

Com relação aos valores de porosidade não existe limite especificado pela norma ASTM, porém Frazão & Farjallat (1995) e DEMINAS/UFPE, através de estudo estatístico relativo às características tecnológicas das principais rochas silicáticas do Brasil, sugerem o valor máximo de 1% para essa propriedade em materiais utilizados como revestimento. A figura 40 mostra os resultados obtidos nas amostras de marmoglass analisadas, mostrando que apenas uma das 4 (quatro) amostras está abaixo deste limite, ou seja, dentro da especificação proposta pelos referidos autores. O material Branco 2 pode ser usado sem restrição (áreas secas ou úmidas) já que sua porosidade é

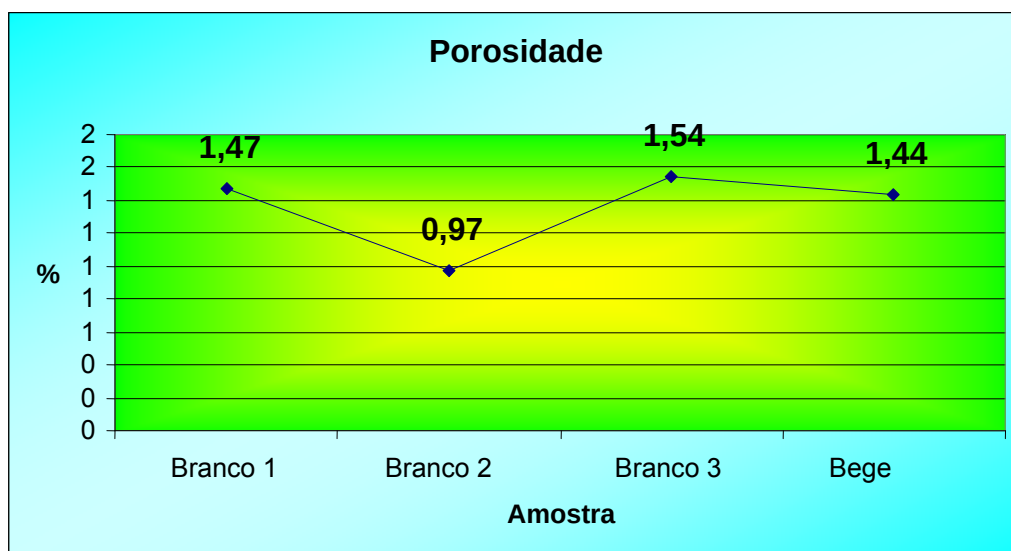


Figura 40: Resultados dos ensaios de determinação da porosidade aparente.

menor que 1%. Os demais materiais, segundo os parâmetros relativos às rochas de revestimento (Frazão & Farjallat e DEMINAS/UFPE) não podem ser aplicados indiscriminadamente em locais onde haja a presença de água. Os fabricantes, entretanto, não mencionam os valores de porosidade deste material.

3.3.4. Absorção de Água Aparente

Os valores indicados pelo fabricante (absorção de água igual a zero), neste caso, não correspondem aos valores obtidos nos ensaios realizados nos Laboratórios da UFPE. Existe uma variação de resultados entre as diferentes amostras, tendo-se uma média de 0,515% de absorção de água e um desvio padrão de 0,145%.

Tomando-se como base os valores fixados pela ASTM (0,40%) e também Frazão & Farjallat constata-se que apenas uma das amostras atende a este limite, apesar da variação ser de pequena monta (figura 41).

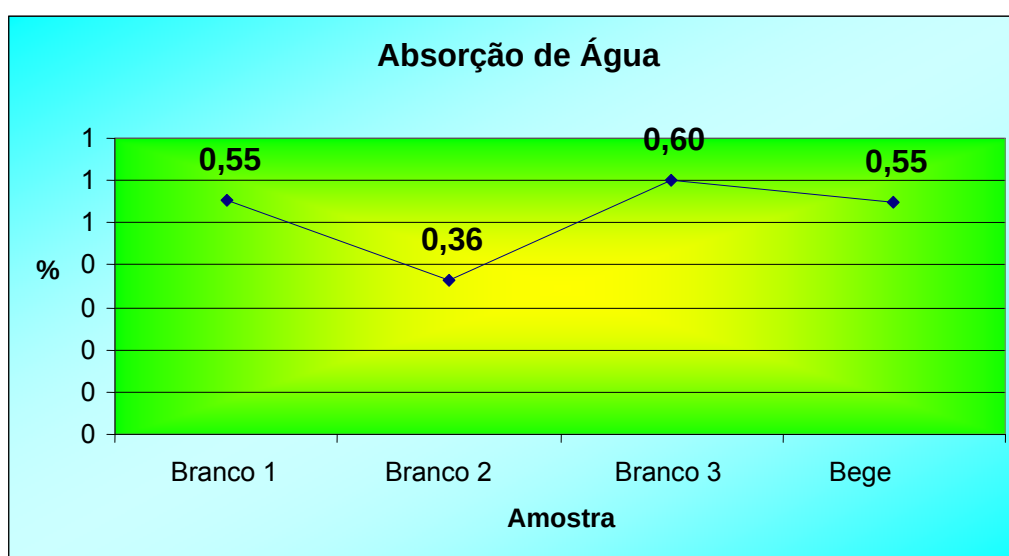


Figura 41: Resultados dos ensaios de determinação da absorção d'água aparente.

O que se observa é que a amostra do Branco 2 apresentou a menor absorção d'água. É também aquela que apresenta a menor porosidade e a maior massa específica, fato que confirma a grande interdependência entre esses fatores. De acordo com estes resultados tem-se que a amostra do Branco 2 é a única ensaiada que pode ser utilizada sem restrições. Quando do uso dos outros materiais (Branco 1, Branco 3 e Bege), deve-se observar os valores dos índices físicos para que os mesmos possam ser utilizados de forma otimizada. Em áreas úmidas, estes materiais não devem ser aplicados sob

pena de ocorrer manchamentos decorrentes da absorção e porosidade consideradas elevadas para materiais de revestimento.

3.3.5. Resistência à Flexão

Em rochas silicáticas essa propriedade é muito dependente da estrutura e textura das rochas, pois há estruturas orientadas, ou bandadas, que conduzem a resistências diferentes, conforme as solicitações se dêem no plano paralelo ou perpendicular a essas estruturas. No material em estudo, o marmoglass, isso não ocorre, pois são materiais fabricados em estufas e não existe orientação de esforços na estrutura.

Os resultados obtidos, visualizados na figura 42, apresentam-se bastante similares àqueles do fabricante Nippon Eletrics, coletados a partir das informações na revisão bibliográfica. Estes resultados, comparados com àqueles especificados para rochas de revestimento na Norma ASTM C 615 (valor mínimo de resistência à flexão igual a 8,27 MPa), traduzem característica de alta resistência à flexão que torna este material de excelente qualidade para revestimento externo pelo sistema de fixação com “inserts” metálicos, fabricação de pias e objetos que trabalhem em balanço. Os valores obtidos mostram uma média de 48,47 MPa, com desvio padrão de 4,38 MPa. Nesse caso, verifica-se que todas as amostras de marmoglass analisadas neste estudo podem ser consideradas como de ótima qualidade, sob o ponto de vista de sua aplicação como revestimento.

Observa-se também que a mostra de a marmoglass que apresenta maior resitência à flexão é aquela que apresenta maiores massas específicas e menores prosidade e absorção de água.

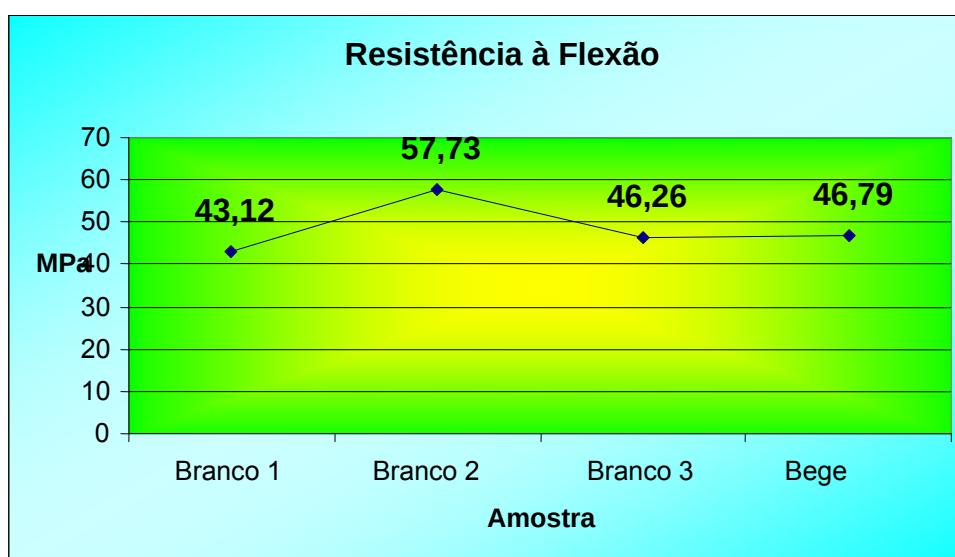


Figura 42: Resultados dos ensaios de determinação da resistência à flexão

3.3.6. Desgaste Amsler

Os valores obtidos neste ensaio mostram uma grande variação entre os materiais stonessglass de tonalidades bege, branco 1 e branco 2 e o marmoglass branco 3. Como se trata de um material obtido a partir da manipulação de diferentes compostos químicos (minerais silicáticos, carbonatos e óxidos), estes podem conferir maior ou menor resistência à abrasão seja em função do tipo vítreo obtido no processo de cristalização ou do processo de fabricação como um todo.

Para essa propriedade não existe valor fixado pela norma ASTM C 615, então se fez a comparação com os valores sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), que recomenda para este ensaio o valor máximo de 1 mm. Com base nesse limite superior, observa-se que todas as amostras analisadas ficam abaixo desse valor (figura 43), o que permite afirmar que a sua aplicação em áreas de pisoteio mais intenso, tais como salas, cozinhas e ambientes comerciais é viável. Nota-se, no entanto, que a amostra branco 3 é a que mais se aproxima do valor limite indicando portanto que esta amostra é aquela menos resistente ao pisoteio.

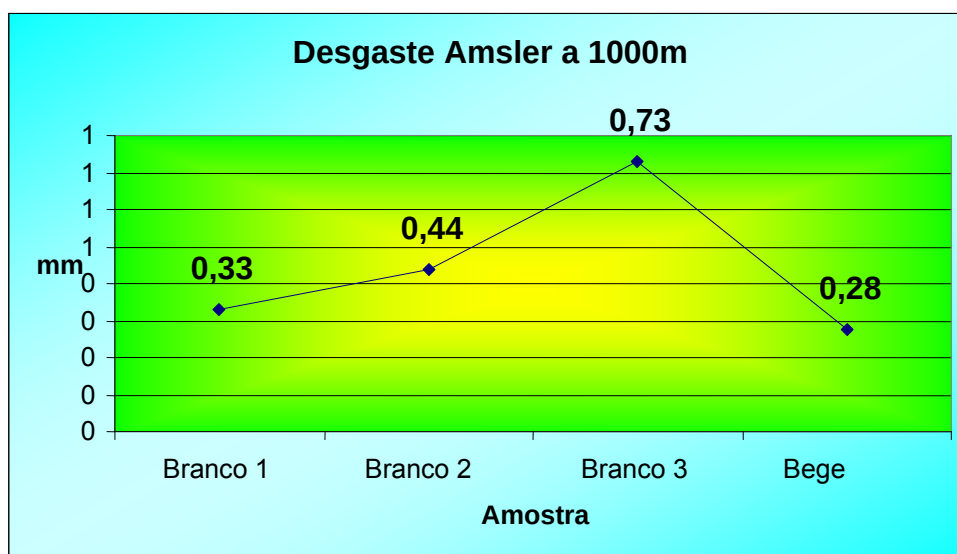


Figura 43: Resultados dos ensaios de determinação de desgaste Amsler

3.3.7. Impacto de Corpo Duro

Para esta propriedade também não há valor limite fixado pela norma ASTM C 615 referentes a rochas graníticas utilizadas como material de revestimento. No entanto, Frazão & Farjallat (1995) propõem um valor limite (inferior) de 40 cm.

Os resultados obtidos para os materiais ensaiados indicaram um valor médio de 65 cm com desvio padrão de 16,03 cm. Os valores fornecidos pelo fabricante (Nippon Electric) são de 95 cm, acima dos obtidos no Laboratório da UFPE. A discrepância entre os valores obtidos e os de referência, provavelmente se deve basicamente a metodologia de ensaio diferenciada. todos os ensaios resultaram em valores superiores aos sugeridos por Frazão & Farjallat (1995). O material de coloração bege apresentou o maior valor para este ensaio (90 cm). Quando comparada à composição química do branco 2, aquela exibe um teor mais elevado dos óxidos de bário e zinco e sódio. Esta diferença de composição química, associada ao processo de fabricação e a qualidade da matéria prima, podem ser os prováveis responsáveis pela variação dos resultados observados na figura 44.

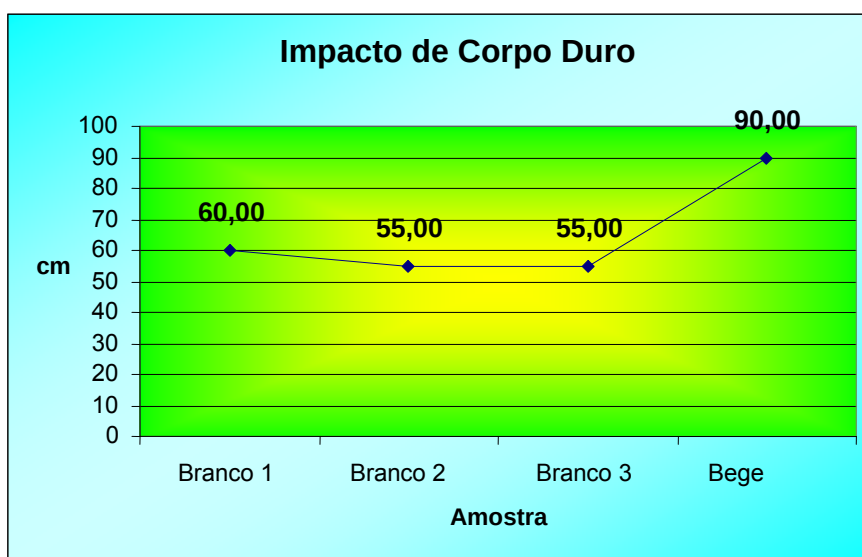


Figura 44: Resultados dos ensaios de determinação de impacto de corpo duro.

3.4. ANÁLISES DE ALTERABILIDADE ACELERADA

Os resultados dos ensaios de alterabilidade acelerada por imersão total nos respectivos reagentes químicos selecionados encontram-se exibidos na tabela 12, abaixo. Nesta observa-se o comportamento do marmoglass frente aos diversos reagentes selecionados.

Neste estudo o que mais interessa é a diferença colorimétrica representada pela tabela ΔE^* . Os valores de a^* representam a diferença entre as cores vermelha e verde. Os valores de b^* mostram a diferença entre as cores amarelo e azul e os valores de L^* medem a luminosidade que varia entre o branco e preto, conforme descrito no item 1.12.4.

Durante os ensaios de alterabilidade foi observada a superfície das várias amostras de marmoglass submetidas aos diversos agentes agressivos. À vista desarmada não foi observada modificações estéticas significativas na maioria destes materiais. Este fato pode ser corroborado pelos dados mostrados na tabela 12, obtidos a partir das leituras do espectrofotômetro. Estes valores indicam, de acordo com a tabela 9, página 43, que nenhum dos reagentes conseguiu alterar consideravelmente as características cromáticas das amostras de marmoglass; as diferenças de cor são consideradas pequenas (azul escuro), muito pequenas (azul) e imperceptíveis (azul claro) a olho nu.

Tabela 12 – Diferença colorimétrica ΔE^* após ensaios de alterabilidade.

Valores ΔE^*				
Produto \ Dias	0	8	23	35
Ácido sulfúrico	0,00	0,23	0,08	0,18
Aguarrás	0,00	0,18	0,19	0,20
Detergente	0,00	0,20	0,32	0,22
Pinho bril	0,00	0,29	0,26	0,35
Água sanitária	0,00	0,23	0,34	0,37
Ácido cítrico	0,00	0,39	0,36	0,45
Álcool	0,00	0,40	0,48	0,45
Ajax	0,00	0,45	0,46	0,49
Veja	0,00	0,25	0,62	0,50
Soda cáustica	0,00	0,58	0,67	0,61

Observa-se que dentre os reagentes usados, há os produtos ácidos e os de natureza básica. Entre os ácidos, tem-se: ácido sulfúrico, aguarrás, ácido cítrico, pinho bril e álcool. Os reagentes alcalinos, de natureza básica, são os detergentes, água sanitária, Ajax, Veja e soda cáustica.

Como se verifica no gráfico da figura 45, as modificações introduzidas pelos produtos de natureza ácida são menos significativas que aquelas causadas pelos produtos alcalinos, onde se observa a ação mais intensa do Veja e da soda cáustica. Provavelmente este fato está associado à composição química do marmoglass, constituída por quase 60% de sílica, substância de natureza ácida que reage mais facilmente com as substâncias alcalinas.

Dentre os produtos ácidos, álcool e ácido cítrico foram os que mais agrediram o marmoglass. Isto se deve possivelmente ao ataque aos polímeros utilizados na resinação deste material (marmoglass).

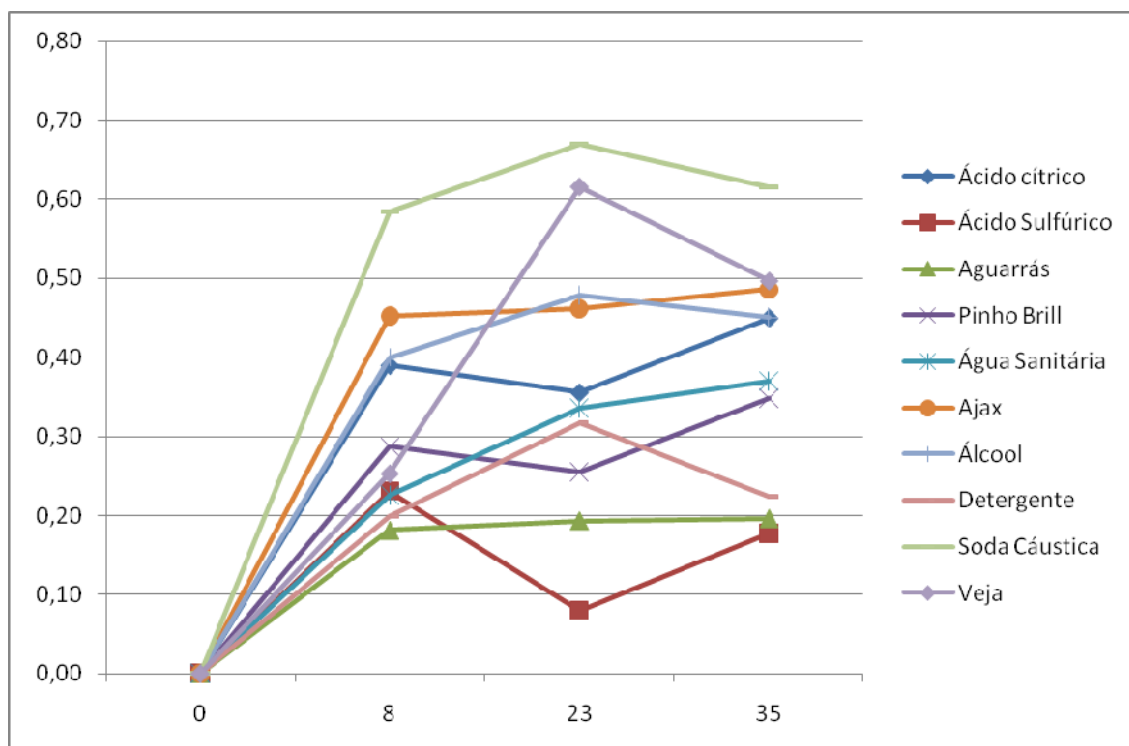


Figura 45: Diferença colorimétrica ΔE^* após ensaios de alterabilidade

3.5. LEVANTAMENTO DE CAMPO

As principais aplicações verificadas em diversas obras visitadas em Recife correspondem à utilização do material para pavimentação de interiores (figura 46), mesas (figura 47) e bancadas de cozinha e banheiro (figuras 48) em unidades residenciais. Praticamente não foi encontrada nenhuma aplicação na forma de revestimento de paredes, seja interno ou externo, nem como elemento de pavimentação externa. Também não foi verificada a utilização desse material em unidades comerciais, muito provavelmente em função do alto custo do material. Por ser material sintético, fabricado por processos controláveis, apresenta uniformidade na textura (tamanho e arranjo de grãos) e coloração. Desta forma, o marmoglass atende aos requisitos de estética e versatilidade, tão desejados pelos profissionais de arquitetura.



Figura 46: Revestimento de piso interno em edifício residencial em Recife.

O uso para revestimentos de piso internos se apóia na elevada resistência à abrasão verificada para este material, tanto nesta pesquisa como nos dados fornecidos pelo fabricante que são muito mais conservadores que aqueles obtidos nos ensaios. A alta abrasividade se explica pelo elevado teor de SiO_2 , que pode provavelmente estar cristalizado sob a forma de sílica.

A figura 47 mostra a utilização do marmoglass como tampo de mesa. Esse uso é possível graças à elevada resistência à flexão para este material verificada nos ensaios laboratoriais e também revelada pelo fabricante. A resistência à flexão é importante nos casos em que a peça trabalha em balanço como nas escadas e também quando a peça é submetida a esforços do vento como nas fachadas ventiladas.



Figura 47: Mesa de marmoglass branco com 3,50 m de comprimento



Figura 48: Aplicações de marmoglass branco em bancadas de cozinha

A resistência ao ataque químico demonstrada pelo marmoglass justifica seu uso como material de revestimento de áreas como balcões de pias de cozinha, banheiros e áreas de serviço, não sendo indicado para pisos de áreas externas (sujeito à molhagem) por ser material extremamente liso e portanto escorregadio. Fato que poderia ser perigoso quando se trata de idosos e crianças.

Nota-se, na figura 49, defeito no acabamento na fase de montagem (colagem) das peças de marmoglass, principalmente em função das dificuldades de polimento e acabamento das bordas. A alta resistência à abrasão encontrada para esse material e a falta de mão-de obra especializada impedem a perfeição requerida para o acabamento e limitam os diferentes tipos de arremates das bordas das peças.

Segundo informações dos fabricantes, esses defeitos são oriundos da dificuldade de execução dessas etapas de beneficiamento com equipamentos que são dimensionados para operação com chapas de rochas naturais, de menor dureza e sem tendência de trincamento.



Figura 49: Aplicações de Marmoglass branco em bancada de banheiro

A figura 50 apresenta outras patologias verificadas em peças aplicadas nas obras visitadas e são caracterizadas pelo aparecimento de manchamento na superfície do marmoglass utilizado para pavimentação de interiores.

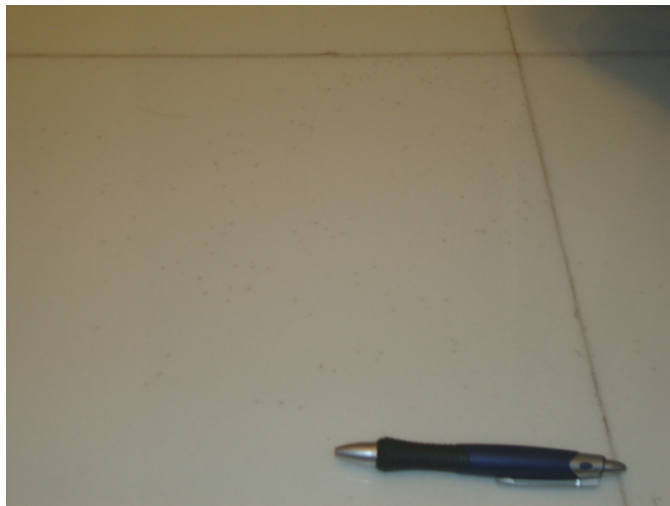


Figura 50: Aplicações de Marmoglass branco em piso

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSÕES

A caracterização tecnológica dos granitos da Região Nordeste e o “marmoglass” apresentam algumas semelhanças. Quanto à massa específica os valores são praticamente os mesmos com uma média de $2,65\text{g/cm}^3$, sendo que o processo de formação dos minerais encontrados no granito é diferente dos “minerais” que constituem o aqui chamado “marmoglass”. O granito, rocha natural caracterizada pelo resfriamento e consolidação de seus componentes minerais a grandes profundidades, em altas temperaturas e pressões por milhares de anos, diferencia-se do marmoglass, obtido artificialmente através de manipulação em forno. A norma ASTM C 615 estabelece que, para os granitos terem função estrutural, devem apresentar densidade ou massa específica maiores que 2560kg/m^3 ; os valores que Frazão & Farjallat (1995) estabeleceram valor limite de 2550kg/m^3 . Verifica-se assim que todos os materiais de marmoglass ensaiados atendem às especificações acima para fins de revestimento externo.

Conforme dados obtidos, referentes à resistência à flexão do marmoglass, estes valores são maiores que aqueles encontrados para as rochas ornamentais, tornando aquele material de excelente qualificação para fachadas ventiladas, cujo valor mínimo exigido, para rochas de revestimento, pela norma ASTM C 615 é de $8,27\text{ MPa}$.

Com relação à resistência à abrasão, parâmetro importante para a especificação de material para revestimento de pisos, determinado através dos ensaios de desgaste Amsler, todas as amostras de marmoglass ensaiadas atendem à especificação sugerida por Frazão & Farjallat (1995) que é de, no máximo, desgaste de 1mm para percurso de 1000m .

Com relação aos valores de absorção de água, o marmoglass apresenta índices muito parecidos aos das rochas naturais, ao contrário do que se faz menção nos catálogos do marmoglass, onde afirma-se ser nula a absorção de água. Apenas uma das amostras de marmoglass ensaiadas apresentou valor abaixo daquele da norma ASTM de $0,4\%$. A porosidade deste material também se assemelha à das rochas graníticas, apresentando uma média equivalente aos granitos pouco consolidados como os monzogranitos ou albita-granitos. O valor sugerido por Frazão & Farjallat (1995) e DEMINAS/UFPE é $< 1\%$ e somente uma das amostras de marmoglass apresenta índice abaixo deste valor, sugerindo que o material pode gerar problemas em aplicações em ambientes úmidos.

Dentre as amostras de marmoglass analisadas no ensaio de impacto de corpo duro, uma das amostras apresentou valor bem mais alto que a média das outras amostras; mesmo assim todas demonstram valores acima do limite (40 cm) propostos por Frazão & Farjallat (1995). Da mesma forma esses valores são semelhantes aos obtidos com granitos e sugerem que são materiais que possuem boa capacidade de absorção de impacto e, conseqüentemente, boa coesão.

No que se refere aos valores sugeridos pela ASTM, por Frazão & Farjallat (1995) e pela DEMINAS/UFPE, os resultados obtidos nos ensaios realizados nos vários laboratórios da UFPE mostram que o marmoglass é um material que tem bom desempenho no aspecto de revestimento externo e interno por atender aos valores exigidos pelas normas. Entretanto, por ser um material manufaturado e não existir normas que regulamentem seu uso tal qual o porcelanato, alguns de seus produtos podem não estar qualificados para algumas especificações de aplicação, fazendo necessário o estudo prévio de cada tipo de produto antes de sua especificação.

De acordo com visitas realizadas a obras e informações dos importadores de marmoglass e empresários do setor, pode-se verificar que a aplicação deste material na região do Grande Recife restringe-se a utilização de pavimentação interna e peças de corte sob medida (bancadas de cozinhas e banheiros, mesas e rodapés). Segundo informações das mesmas fontes, pode-se estimar uma demanda aproximada de 40.000 m² por ano, sendo 25.000 m² utilizado para pavimentação interna e 15.000 m² para peças de corte sob medida, movimentando valores da ordem de R\$8.000.000,00 por ano.

Dentre os reagentes usados, aqueles que mais agrediram o marmoglass foram a soda cáustica e o Veja, substâncias de natureza alcalina, portanto capazes de ataque a produtos de natureza ácida como o marmoglass, constituído por quase 60% de sílica. Entretanto a maior alteração cromática do material foi considerada pequena de acordo com os limites fixados pela indústria de tintas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM (C 615). Standard specification for granite dimension stone. 1992
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (NBR 12.042) Rochas para revestimento – Determinação da abrasividade 1992. 2p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (NBR 12.763) Rochas para revestimento – Determinação da resistência à flexão 1992. 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (NBR 12.764) Rochas para revestimento – Determinação da resistência ao impacto de corpo duro 1992. 2p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (NBR 12.766) Rochas para Revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. 1992. 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (NBR 13.707) Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (NBR 13.708) Execução e inspeção de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (NBR 13753) Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento, 1996.
- BILLMEYER. F.W; SALTZMAN M. Principles of color technology. New York: Interscience, 1966.
- COSTA, A.P.L. Alterabilidade e caracterização tecnológica dos gnaisses enderbíticos da porção norte do estado do Ceará com aplicação no setor de rochas ornamentais. Tese (Doutorado), UNESP. Rio Claro (SP) 2007.
- DORVO FERRAGENS E MÁQUINAS LTDA – Folder de divulgação do produto, 2005.
- FIGUEIREDO, R. S., ZAMBOM, A. C. - A empresa vista como um elo da cadeia de produção e distribuição. Revista de Administração. São Paulo, v.33., n.3, pg 30, (1998).
- FRAZÃO, E. B., FARJALLAT, J. E. S. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como rocha de revestimento. I Congresso Internacional da Rocha Natural. Lisboa. 1995. 47-58p.
- FRAZÃO, E.B. Tecnologia de rochas na construção civil. São Paulo: ABGE, 2002.
- FUNDAÇÃO NÚCLEO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL - NUTEC

- HAUKKA, M.T.; THOMAS, I.L. Total X-ray fluorescence analysis of geological samples using a low-dilution lithium metaborate fusion method. Matrix corrections for major elements - X-Ray Spectrometry Volume 6, Issue 4, pages 204–211, October 1977
- HUNTERLAB. Technical Services Department, Reston, Virginia, v. 8, n. 7, July 1-15, 1996.
- JAPANESE STANDARDS ASSOCIATION – “JIS A 1451 – Method of abrasion test for building materials and part of building construction (method of abrasion test for flooring materials. Method with rotating disk fitted friction and impact)”. Japão, 1994
- KOPPE, J.C.; ZINGANO, A.C.; JOÃO F.C.L. COSTA. Alterabilidade de rochas ornamentais. A importância das propriedades tecnológicas na seleção de revestimentos externos, 2005.
- MARANHÃO, F.; LIMA, R.P.D., MERCIA. M. S. B. BARROS, M.M.S.B. Fachadas com placas de rocha na cidade de Recife, 2003.
- MARANHÃO, F. L. (2002). Patologias de revestimento com placas de Rocha. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MINOLTA. Precise Color Communication: color control from feeling to instrumentation. Osaka, Japan, 1994.
- NIPPON ELECTRIC GLASS CO, Catálogo, 2002.
- SABADINI, M. de S. Os distritos industriais como modelo de crescimento endógeno: o caso do segmento de rochas ornamentais (mármore e granito) no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES). Vitória, 1998. 193f. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas), Universidade Federal do Espírito Santo.
- SILVA, R.A. Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas, 2006. Dissertação (Mestrado), PPGEM, UFRGS. Porto Alegre. 2006.
- SOUZA, J.C.; ROLIM J.L.; LIRA, B.B.; BARROS, M.L.S.; OLIVEIRA, F.M.C. Avaliação dos procedimentos de ensaio para caracterização de rochas ornamentais. Anais IIIº SRONE - Recife - 2002
- SOUZA, J. C. Cadeia produtiva setor de rochas ornamentais, 2007.
- SOUZA, J.C.; ROLIM J.L.; BARROS, M.L.S.; LIRA, B.B.; SILVA, S.A.; RIECK, F.E. Análise colorimétrica de rochas ornamentais Anais do VIº simpósio de rochas ornamentais do nordeste, VI SRONE. Natal. 2009.
- VIDAL, F.W.H.; Bessa, M. F.; LIMA, M. A. B. Avaliação de rochas ornamentais do ceará através de suas características tecnológicas, 1999.

ANEXOS

Índices físicos (NBR 12.766)

Aparelhagem

- a) Estufa, de preferência ventilada, capaz de manter a temperatura em $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$;
- b) Balança com capacidade de 1000g e resolução de 0,01g, capaz de permitir pesagens hidrostáticas;
- c) Bandeja de alumínio ou de outro material não-oxidável, com dimensões de 40 cm x 20 cm x 10 cm;
- d) Bomba de vácuo de 100 Kpa;
- e) Recipiente de dimensões convencionais para acondicionamento de água para pesagem dos corpos-de-prova na condição submersa.

Execução do ensaio

Amostragem e preparação dos corpos-de-prova

Colher amostras representativas da jazida, ou do afloramento rochoso, em quantidades tais que representem todas as características da rocha.

Assegurar volume suficiente para permitir a preparação de dez corpos-de-prova para cada amostra. Os corpos-de-prova, que podem ter qualquer formato, devem ser preparados por quebra manual da amostra e devem possuir diâmetro em torno de 7 cm ou massa ao redor de 250 g cada.

Ensaio

Para execução do ensaio adotam-se os procedimentos indicados abaixo.

Lavar os corpos-de-prova em água corrente.

Colocar os corpos-de-prova em estufa e deixar secar por 24 h.

Retirar os corpos-de-prova da estufa e deixar resfriar a temperatura ambiente.

Pesar os corpos-de-prova individualmente ao ar, com precisão de 0,01g; anotar massa "A".

Colocar os corpos-de-prova na bandeja e adicionar água até 1/3 de sua altura. Após 4 h adicionar água até 2/3 da altura dos corpos-de-prova, após 4 h completar a submersão dos corpos-de-prova e deixar completar o tempo total de 24 h, ou proceder a saturação com auxílio da bomba de vácuo por 3 h.

Retirar os corpos-de-prova da água, enxugar suas superfícies com um pano absorvente e pesar ao ar; anotar a massa “B”.

Pesar os corpos-de-prova individualmente, na condição submersa, utilizando-se o dispositivo da balança para pesagem hidrostática, amarrando-se o corpo-de-prova com fio de massa desprezível; anota massa “C”.

Cálculos

Proceder aos cálculos de acordo com as seguintes expressões:

a) massa específica aparente seca:

$$\rho_{a_{sec}} = A/(B-C) \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

b) massa específica aparente saturada

$$\rho_{a_{sat}} = B/(B-C) \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

c) porosidade aparente

$$\eta_a = (B-A)/(B-C) \times 100$$

d) absorção d'água aparente:

e)

$$\alpha_a = (B-A)/A \times 100.$$

Resultados

O documento técnico resultante da realização do ensaio deve conter:

- a) Tipo petrográfico e nome comercial do material ou designação da amostra;
- b) Discriminação pormenorizada da procedência da amostra (região, cidade, jazida e local de coleta, etc);
- c) Massa dos corpos-de-prova, resultados individuais e média aritmética dos valores calculados;
- d) Data da coleta da amostra;

- e) Data da realização do ensaio;
- f) Identificação desta Norma.

Desgaste Amsler (NBR 12.042)

Norma ABNT/NBR 12.042 - materiais inorgânicos - determinação do desgaste por abrasão

Objetivo

Esta Norma prescreve o método para determinação do desgaste por abrasão de materiais inorgânicos.

O desgaste do corpo-de-prova deve se dar através do atrito entre a sua superfície de uso e a superfície de um anel de ferro fundido, que é continuamente abastecido com um material abrasivo (areia).

O desgaste por abrasão é determinado pela perda de espessura do corpo-de-prova.

Documento complementar

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

EB-1133 - Areia normal para ensaio de cimento - Especificação

MB-3378 - Argamassa de alta resistência mecânica para pisos - Determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral - Método de ensaio

Desgaste

Desagregação superficial e remoção de partículas de um determinado material submetido à força de atrito.

Aparelhagem

Para a execução deste ensaio, deve-se utilizar um equipamento, com as seguintes características, que:

- a) Seja provido de um anel de ferro fundido, com superfície plana e lisa; (pista de desgaste) de dureza Brinell entre 160 e 190, disposto horizontalmente, com diâmetro externo de (800 ± 5) mm e largura de (160 ± 2) mm;
- b) Possibilite a rotação da pista de desgaste em torno de um eixo vertical, com velocidade de (30 ± 1) rpm;
- c) Permita ensaiar dois corpos-de-prova simultaneamente;
- d) Seja provido de sapatas de acoplamento que mantenham os corpos-de-prova em contato com a pista de desgaste, em posições diametralmente opostas em relação ao eixo vertical do equipamento; o centro geométrico dos corpos-de-prova deve estar posicionado à meia largura da pista de desgaste, de maneira que cada rotação desta tenha-se percorrido uma distância de (200 ± 2) cm;
- e) Possibilite a rotação de corpos-de-prova em torno do seu próprio eixo perpendicular à superfície de uso, com velocidade de $(0,6 \text{ V } 0,02)$ rpm;
- f) Permita aplicar uma carga variável sobre cada corpo-de-prova;
- g) Seja provido de dois funis para armazenar o abrasivo (areia seca número 50 $(0,3 \text{ mm})$ conforme EB-1133) e dispositivo que possibilite a regulação da vazão;
- h) Seja provido de escovas de cerdas macias, que direcionem o abarativo para a parte da pista de desgaste em contato com os corpos-de-prova;
- i) Seja provido de contador automático do número de voltas da pista de desgaste.

Nota: A máquina marca AMSLER, tipo A 154, atende às condições mencionadas.

Dispositivo para medida de perda de espessura, composto por chapa metálica provida de dois apoios laterais, perpendiculares entre si, três pinos para apoio do corpo-de-prova e relógio comparador com curso de 30 mm e resolução igual ou inferior a 0,01 mm, fixado à garra magnética.

Soquete de base quadrada de 2 cm x 2 cm e comprimento aproximado de 15 cm, de borracha dura com madeira tornada não absorvente por banho em parafina à temperatura de 200°C, durante 15 min.

Execução do ensaio

Corpo-de-prova

Os corpos-de-prova devem ter a forma de um paralelepípedo regular, com os lados da base medindo (70 ± 2) mm e com altura entre 25 mm e 50 mm.

O corpo-de-prova que não apresentar paralelismo entre bases e/ou altura inferior a 25 mm deve ser arrematado com argamassa e/ou colagem de uma

placa, na superfície oposta à superfície a ser ensaiada, com adesivo a base de resina epóxi; as dimensões superficiais da placa devem ser iguais às do corpo-de-prova, devendo a altura do corpo-de-prova arrematado estar entre 25 mm e 50 mm.

Corpos-de-prova de concreto ou argamassa podem ser obtidos por moldagem ou cortados com discos diamantados de componentes acabados.

No preparo de corpos-de-prova de argamassa, recomenda-se que sejam seguidas as diretrizes gerais da MB-3378, com relação ao preparo da argamassa e cura.

Corpos-de-prova com altura de até 30 mm devem ser moldados em uma única camada; os com altura entre 30 mm e 50 mm devem ser moldados em duas camadas. Em cada camada devem-se aplicar 25 golpes, uniformemente distribuídos, com soquete.

Entre 48 h e 72 h antes do ensaio, os corpos-de-prova devem ser retirados de câmara úmida e deixados no laboratório, de tal modo que seja permitida a livre aeração de suas faces.

Corpos-de-prova especialmente moldados de componentes que são polidos antes de serem colocados em uso devem ser submetidos a desgaste preliminar, que é obtido no próprio equipamento de ensaio, seguindo-se o procedimento especificado para um percurso de 200 m (100 voltas da pista de desgaste).

Ensaio

Com auxílio do dispositivo efetuar as leituras nos pontos indicados da amostra. A leitura inicial é a média das quatro leituras obtidas.

Posicionar os corpos-de-prova nas respectivas sapatas de acoplamento do equipamento.

Aplicar sobre cada corpo-de-prova uma carga de 66 N.

Regular a vazão de areia em (72 ± 6) cm³/min.

Colocar o equipamento em funcionamento, até que o anel tenha dado 250 voltas, que equivalem a um percurso dos corpos-de-prova em relação ao anel de aproximadamente 500 m.

Terminado o percurso, retirar os corpos-de-prova do equipamento, remover a poeira aderente a eles com escova macia e repetir a operação descrita acima, para obter a leitura intermediária (média das leituras efetuadas nos quatro pontos).

Repetir as operações descritas acima, mas invertendo a posição dos corpos-de-prova nas sapatas de acoplamento.

Terminado o novo percurso de aproximadamente 500 m, retirar os corpos-de-prova do equipamento, remover a poeira aderente a eles com escova macia e repetir a operação descrita acima, para obter a leitura final (média das leituras efetuadas nos quatro pontos).

Para corpos-de-prova passíveis de sofrerem alguma alteração superficial, recomenda-se que as operações descritas acima sejam feitas em etapas. Por exemplo, percurso percorrido pelos corpos-de-prova da ordem de 50 m por etapa. Ao final de cada etapa, deve-se efetuar uma inspeção visual nos corpos-de-prova, registrando-se eventuais alterações, tais como perdas de brilho e risco.

Resultados

Os resultados relativos à 500m e à 1000m de percurso são obtidos respectivamente pela diferença entre a leitura final e leitura inicial, e pela diferença entre leitura final e inicial.

O documento técnico, contendo os resultados dos ensaios, deve apresentar:

- a) Descrição dos corpos-de-prova ensaiados;
 - tipo de material;
 - características apresentadas e/ou as declaradas pelo solicitante do ensaio;
- b) Desgaste aos 500 m de percurso e aos 1000 m de percurso de cada corpo-de-prova ensaiado, bem como a média dos desgastes verificados nos corpos-de-prova; todos com aproximação para décimo de milímetro;
- c) Descrição das eventuais alterações observadas em relação ao aspecto superficial dos corpos-de-prova, com os respectivos percursos nos quais foram observadas as alterações;
- d) identificação desta Norma.
- e) data da realização do ensaio e, no caso de corpos-de-prova moldados, a sua idade.

Impacto de corpo duro (NBR 12.764)

Norma ABNT/NBR 12.764 - rochas para revestimento - determinação da resistência ao impacto de corpo duro

Objetivo

Esta Norma prescreve o método para determinação da resistência ao impacto de corpo duro de rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações.

Aparelhagem

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio é a que se segue:

- a) Dispositivo de queda livre de esfera de aço de 1 Kg;
- b) Equipamento para corte de rochas constituído de disco diamantado, capaz de cortar superfícies tão planas quanto possível;
- c) Paquímetro com curso de 200 mm e resolução igual ou inferior a 0,05 mm;

Execução do ensaio

Amostragem

Colher amostras representativas da jazida, ou do afloramento rochoso, em quantidades tais que representem todas as características da rocha.

Assegurar volume suficiente para permitir a obtenção de tantos corpos-de-prova quantos sejam necessários para representar a variabilidade dos valores de tensão de ruptura.

Preparação dos Corpos de Prova

Preparar cinco corpos-de-prova na forma de placas, com dimensões de 20 cm x 20 cm x 3 cm e com superfícies paralelas.

A preparação dos corpos-de-prova deve ser feita de tal forma que as superfícies cortadas representem as feições estéticas que terão as placas quando do seu emprego na obra.

Ensaio

Para execução do ensaio adotam-se os procedimentos indicados abaixo.

Assentar a placa sobre o colchão de areia, nivelando-a o mais perfeitamente possível com o auxílio do nível de bolha.

Alçar a esfera de aço até a altura inicial de 20 cm (distância entre a face da placa a ser submetida ao impacto e o centro de massa da esfera), abandonando-a a seguir em queda livre.

A partir desta altura inicial, repetir o procedimento para intervalos de altura de 5cm até que ocorra fissura, lascamento ou ruptura da placa; anotar as alturas em que esses eventos ocorrerem.

Após o ensaio das cinco placas, calcular a média aritmética das alturas em que ocorreram fissuras, lascamentos e rupturas das placas.

Resultados

O documento técnico resultante da realização do ensaio deve conter:

- a) Tipo petrográfico e nome comercial do material ou designação da amostra;
- b) Discriminação pormenorizada da procedência da amostra (região, cidade, jazida e local de coleta, etc);
- c) Número de corpos-de-prova ensaiados e respectivas dimensões; Valores individuais e médios das alturas em que ocorreram fissuras, lascamentos ou rupturas das placas de rochas ensaiadas;
- d) Data da coleta da amostra;
- e) Data da realização do ensaio;
- f) Identificação desta Norma.

Resistência a tração por flexão (NBR 12.763)

Norma ABNT/NBR 12.763 - rochas para revestimento - determinação da resistência à flexão

Aparelhagem

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio é a que se segue:

- a) Prensa com capacidade de no mínimo 1000KN e resolução igual ou inferior a 2KN; deve dispor de um prato inferior rígido e um prato superior suspenso na cabeça da prensa e munido de rótula, de modo a permitir pleno contato com o topo do corpo-de-prova; deve dispor, ainda, de sistema de aplicação de carga que permita um carregamento progressivo e contínuo.
- b) Dispositivo de ensaio dos corpos-de-prova, constituído por dois cutelos articulados, um móvel e o outro fixo (que se assentam sobre o prato inferior da prensa) e de um cutelo superior, móvel (que se fixa no prato superior da prensa); o comprimento de cada cutelo deve ser no mínimo igual à largura do corpo-de-prova;
- c) Equipamento para corte de rochas constituído de disco diamantado capaz de cortar superfícies tão planas quanto possível;
- d) Paquímetro com curso de 200 mm e divisões de 0,05 mm para medição dos corpos-de-prova;
- e) Bandejas de alumínio, ou outro material não oxidável, com dimensões de 40 cm x 20 cm x 10 cm para saturação dos corpos-de-prova em água, quando isto for desejável;
- f) Estufa com temperatura de $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, de preferência ventilada, para secagem dos corpos-de-prova.

Execução do ensaio

Amostragem

Colher amostras representativas da jazida, ou do afloramento rochoso, em quantidades tais que representem todas as características da rocha.

Assegurar volume suficiente para permitir a obtenção de tantos corpos-de-prova quantos sejam necessários para representar a variabilidade dos valores de tensão de ruptura.

Preparação dos Corpos de Prova

Preparar os corpos-de-prova com formato prismático retangular com dimensões de aproximadamente 20 cm x 10 cm x 5 cm.

Garantir superfícies planas e faces opostas paralelas.

No caso de rochas estruturadas, preparar no mínimo seis corpos-de-prova, sendo três para ensaio na direção paralela e três na direção perpendicular às estruturas; quando a direção for especificada previamente pelo interessado, preparar no mínimo três corpos-de-prova nessa direção.

Se houver interesse em executar ensaios nas condições seca e saturada, preparar três corpos-de-prova para cada condição.

Traçar uma linha na seção transversal posicionada a meio comprimento do corpo-de-prova, perpendicular às suas arestas longitudinais; traçar outras duas linhas paralelas com distâncias de 9 cm para cada lado da linha média inicialmente traçada.

Efetuar as medições das dimensões do corpo-de-prova sobre as três linhas demarcadas e registrar os valores finais como a média aritmética dessas medidas; se a rocha for estruturada, assinalar a direção das estruturas no corpo-de-prova.

Para ensaio na condição seca, deixar os corpos-de-prova previamente na estufa por 24 horas e ensaiá-los logo após resfriamento ao ar.

Para ensaio na condição saturada, deixar os corpos-de-prova imersos em água limpa na bandeja, por 48 horas, e ensaiá-los após sua retirada da bandeja.

Ensaio

Para execução do ensaio adotam-se os procedimentos indicados abaixo.

Assentar o corpo-de-prova sobre os cutelos inferiores, nas posições correspondentes às linhas demarcadas a 9 cm da linha média (vão de ensaio aproximadamente de 18 cm).

Assentar o cutelo superior na posição correspondente à linha média traçada no corpo-de-prova, aplicando-se pequena carga inicial para obter a estabilização do sistema corpo-de-prova/cutelo/prensa.

Efetuar o carregamento de modo lento e progressivo, a uma taxa de aproximadamente 4.450 N/min, até que ocorra a ruptura do corpo de prova.

Cálculos

Calcular a tensão de ruptura da rocha por tração na flexão (σ_f) pela seguinte expressão:

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

Onde:

P = força de ruptura, em N

L = distância entre as duas linhas externas traçadas no corpo-de-prova, em cm ou m

b = largura do corpo-de-prova, em cm ou m

d = altura do corpo-de-prova, em cm ou m

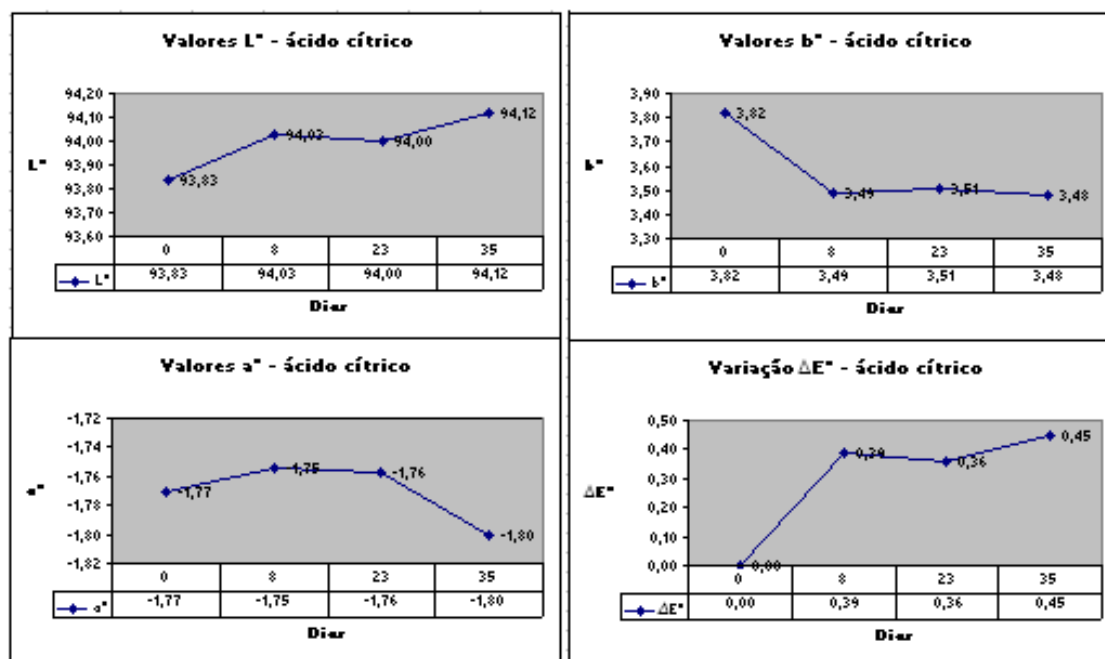
Resultados

O documento técnico resultante da realização do ensaio deve conter:

- a) Tipo petrográfico e nome comercial do material ou designação da amostra;
- b) Discriminação pormenorizada da procedência da amostra (região, cidade, jazida e local de coleta, etc);
- c) Número de corpos-de-prova ensaiados; dimensões e tensões de ruptura de cada um;
- d) Condições de ensaio dos corpos-de-prova:
 - seca e/ou saturada;
 - paralela ou perpendicular às estruturas.
- e) Data da coleta da amostra;
- f) Data da realização do ensaio;
- g) Identificação desta Norma.

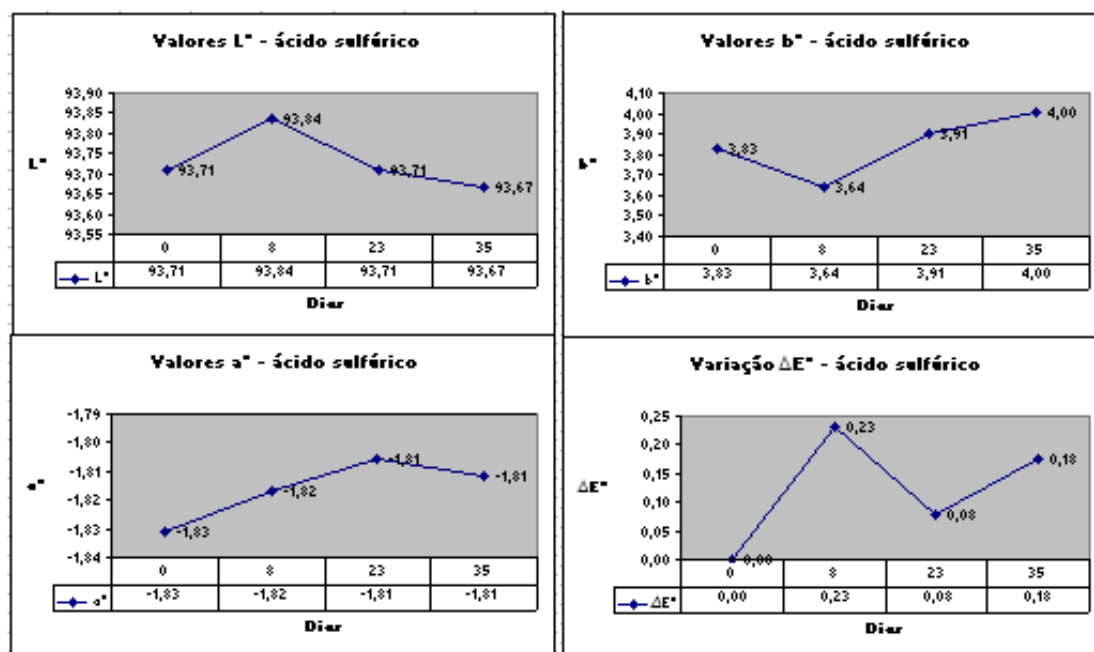
A seguir são apresentados os gráficos elaborados para as medições dos parâmetros L^* , a^* e b^* nas diferentes datas de aferição e o cálculo do ΔE^* entre as diferentes medições.

Tabela 13: Valores dos parâmetros L^* , a^* , b^* e cálculo ΔE^* medidos em ácido cítrico.



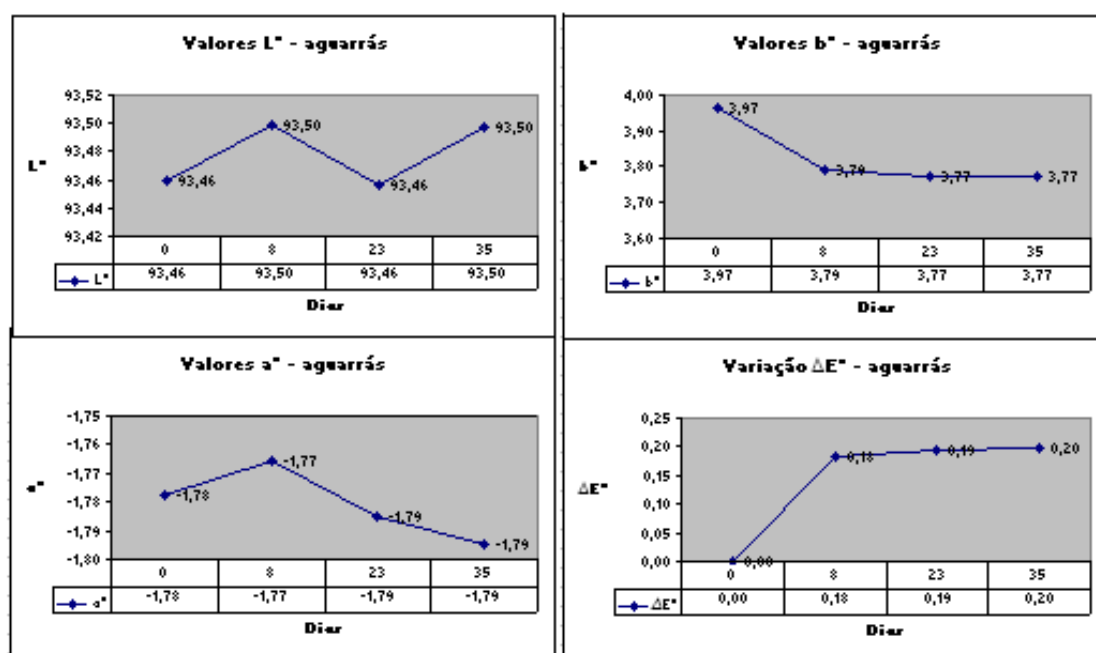
Conforme a tabela 13 pode-se concluir que a alterabilidade do material foi praticamente nula visto que a variação nos parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* foi muito pequena e a variação no ΔE^* é de 0,45 o que, segundo a tabela 9 é muito pequena. Podemos afirmar com base nos resultados que o material é resistente ao ataque por ácido cítrico.

Tabela 14: Valores dos parâmetros L^* , a^* , b^* e cálculo ΔE^* medidos em Ácido Sulfúrico



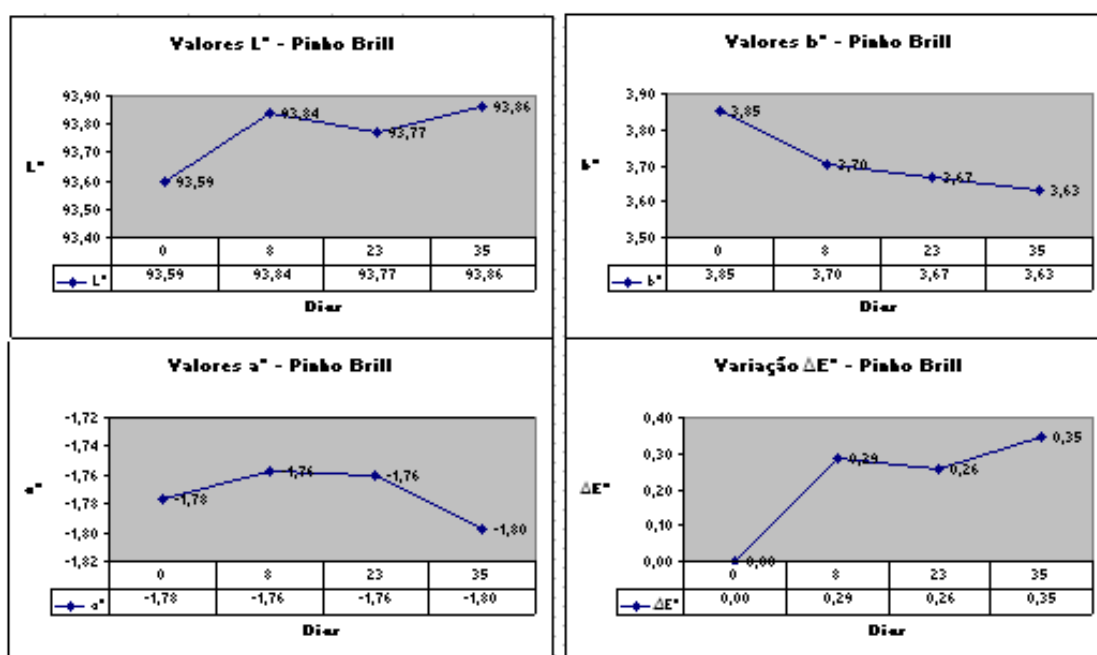
Conforme a tabela 14 pode-se concluir que a alterabilidade do material foi praticamente nula visto que a variação nos parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* foi imperceptível e a variação no ΔE^* é de 0,18 o que, segundo a tabela 9 é imperceptível. Podemos afirmar com base nos resultados que o material é resistente ao ataque por ácido sulfúrico.

Tabela 15: Valores dos parâmetros L^* , a^* , b^* e cálculo ΔE^* medidos em Aguarrás.



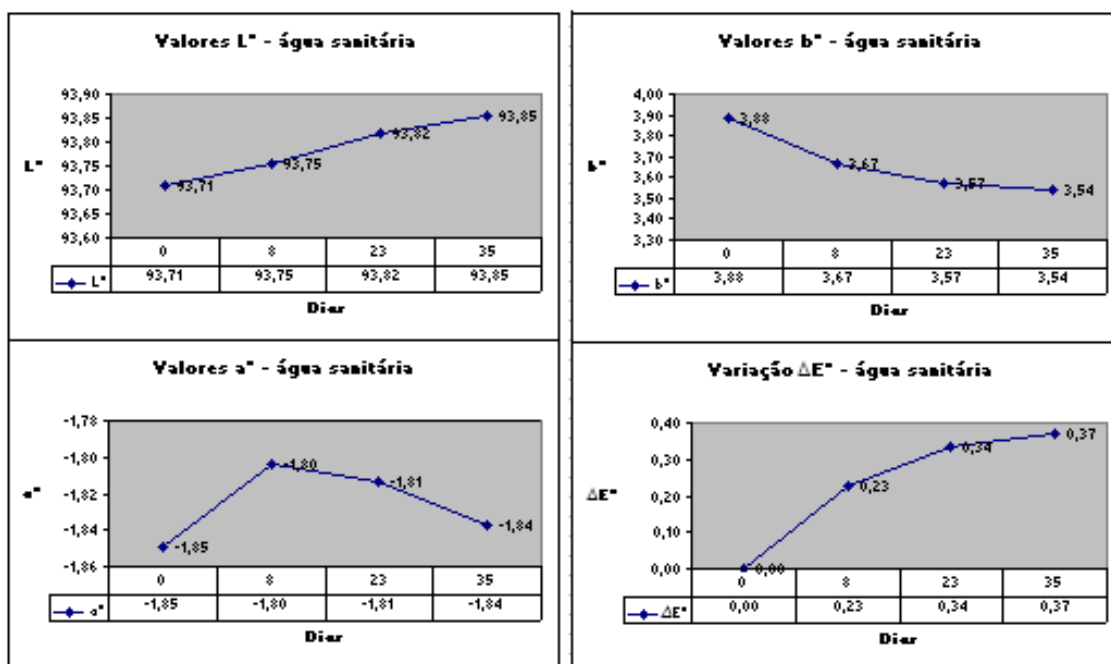
Conforme a tabela 15 pode-se concluir que a alterabilidade do material foi praticamente nula visto que a variação nos parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* foi muito pequena e a variação no ΔE^* é de 0,20 o que, segundo a tabela 9 é imperceptível. Podemos afirmar com base nos resultados que o material é resistente ao ataque por aguarrás.

Tabela 16: Valores dos parâmetros L^* , a^* , b^* e cálculo ΔE^* medidos em Pinho Brill.



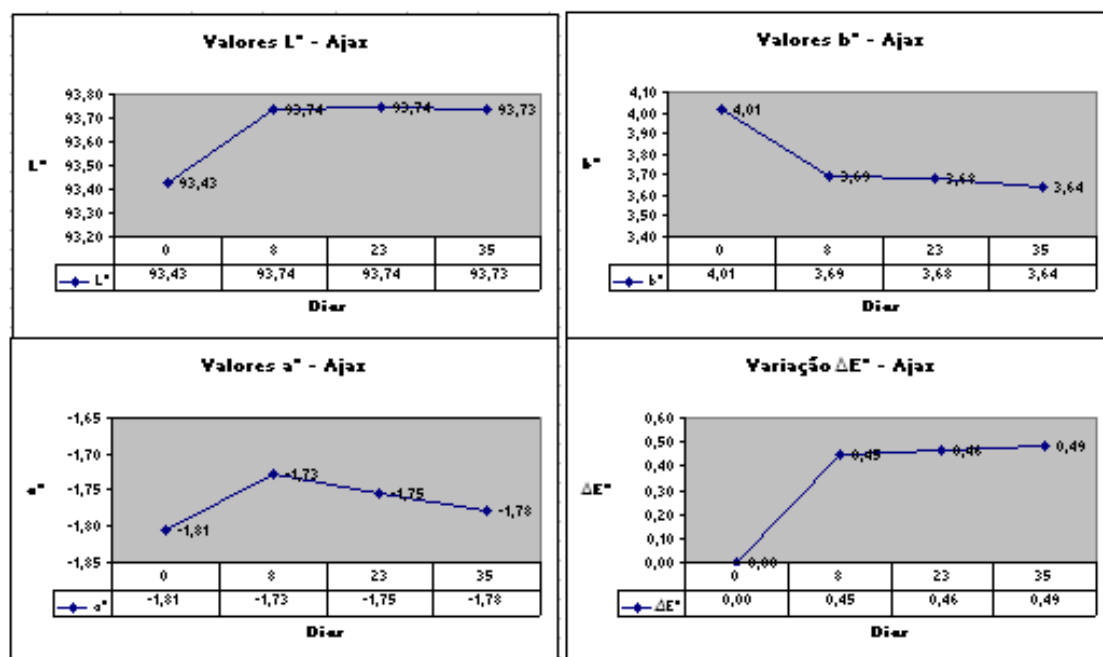
Conforme a tabela 16 pode-se concluir que a alterabilidade do material foi praticamente nula visto que a variação nos parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* foi muito pequena e a variação no ΔE^* é de 0,35 o que, segundo a tabela 9 é muito pequena. Podemos afirmar com base nos resultados que o material é resistente ao ataque por Pinho Brill.

Tabela 17: Valores dos parâmetros L^* , a^* , b^* e cálculo ΔE^* medidos em Água Sanitária.



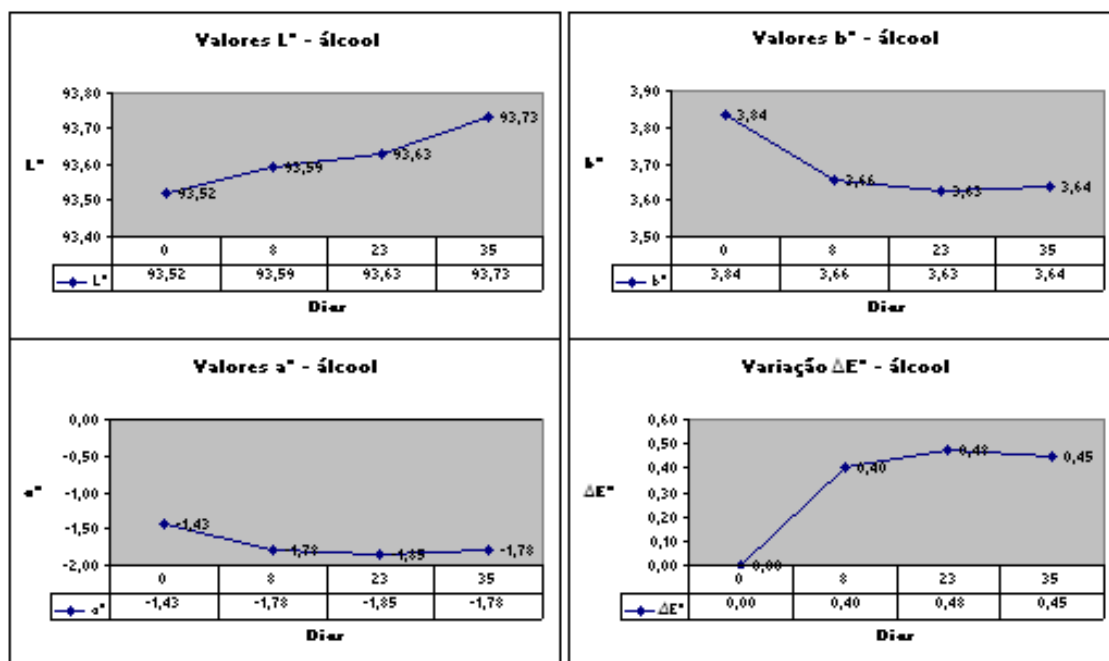
Conforme a tabela 17 pode-se concluir que a alterabilidade do material foi praticamente nula visto que a variação nos parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* foi muito pequena e a variação no ΔE^* é de 0,37 o que, segundo a tabela 9 é muito pequena. Podemos afirmar com base nos resultados que o material é resistente ao ataque por água sanitária.

Tabela 18: Valores dos parâmetros L^* , a^* , b^* e cálculo ΔE^* medidos em Ajax.



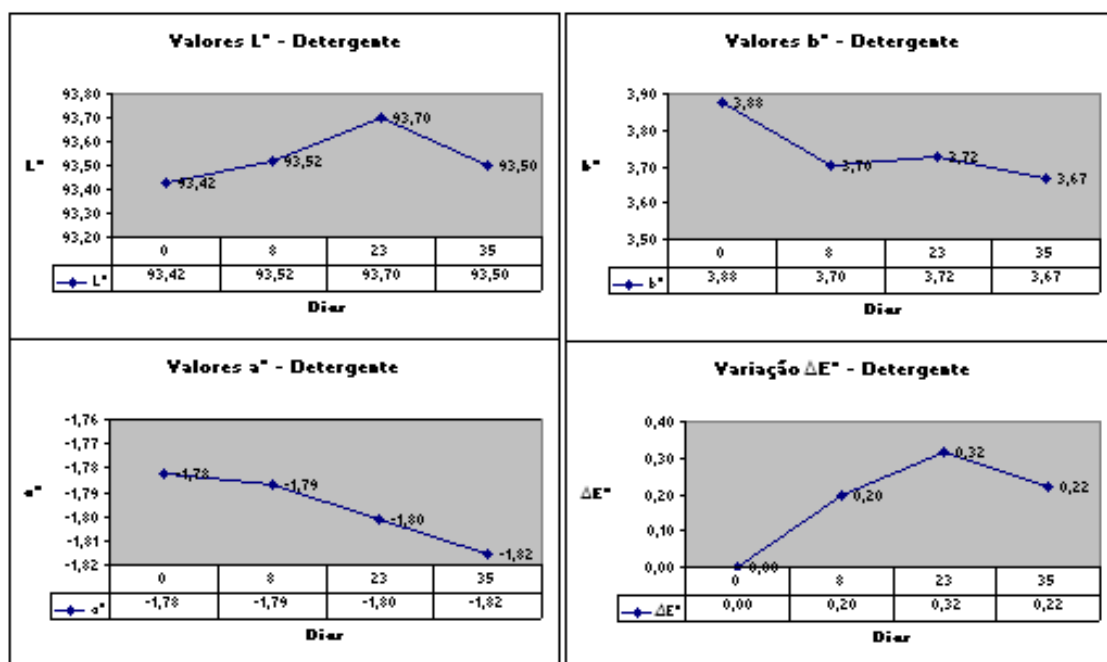
Conforme a tabela 18 pode-se concluir que a alterabilidade do material foi praticamente nula visto que a variação nos parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* foi muito pequena e a variação no ΔE^* é de 0,49 o que, segundo a tabela 9 é muito pequena. Podemos afirmar com base nos resultados que o material é resistente ao ataque por ajax.

Tabela 19: Valores dos parâmetros L^* , a^* , b^* e cálculo ΔE^* medidos em Álcool.



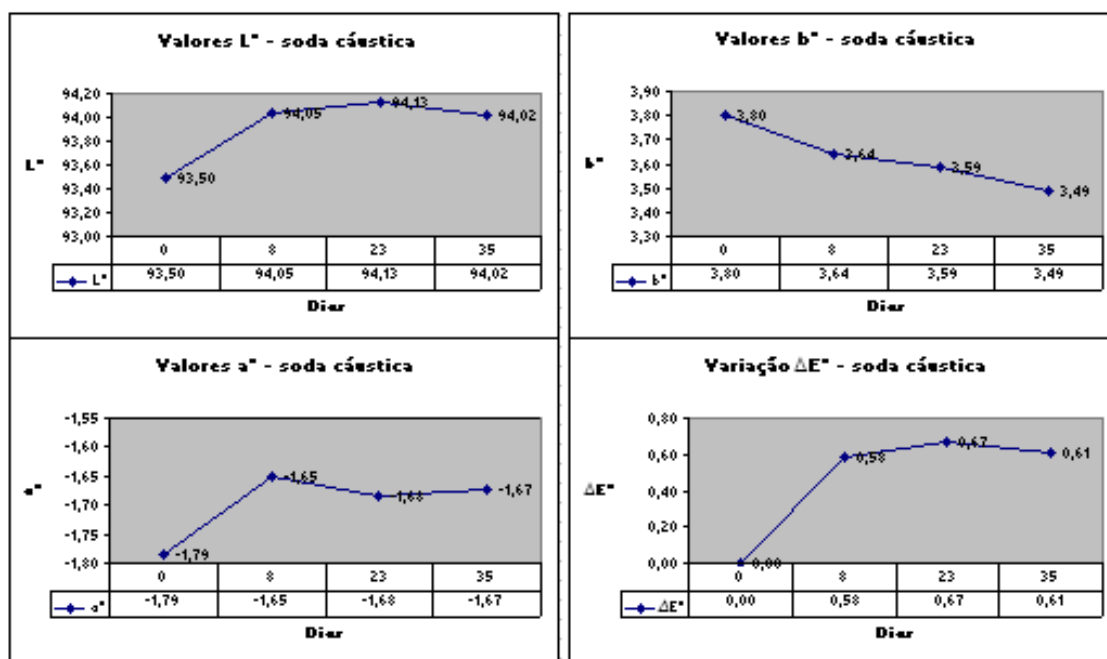
Conforme a tabela 19 pode-se concluir que a alterabilidade do material foi praticamente nula visto que a variação nos parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* foi muito pequena e a variação no ΔE^* é de 0,45 o que, segundo a tabela 9 é muito pequena. Podemos afirmar com base nos resultados que o material é resistente ao ataque por álcool.

Tabela 20: Valores dos parâmetros L^* , a^* , b^* e cálculo ΔE^* medidos em Detergente.



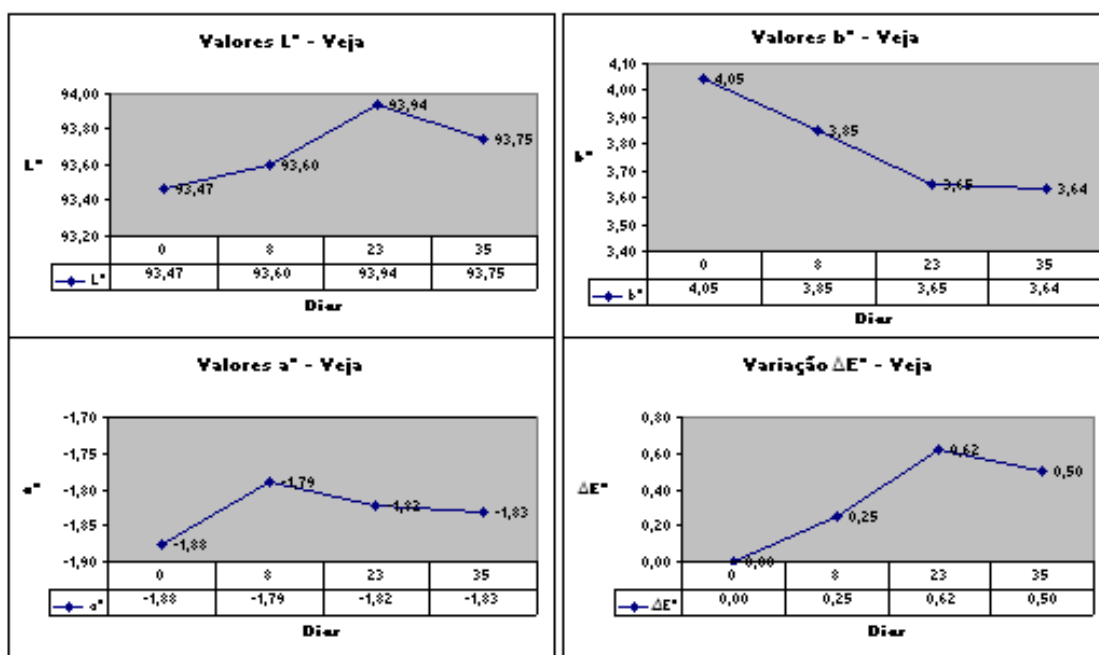
Conforme a tabela 20 pode-se concluir que a alterabilidade do material foi praticamente nula visto que a variação nos parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* foi muito pequena e a variação no ΔE^* é de 0,22 o que, segundo a tabela 9 é muito pequena. Podemos afirmar com base nos resultados que o material é resistente ao ataque por detergente.

Tabela 21: Valores dos parâmetros L^* , a^* , b^* e cálculo ΔE^* medidos em Soda Cáustica.



Conforme a tabela 21 pode-se concluir que a alterabilidade do material foi praticamente nula visto que a variação nos parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* foi muito pequena e a variação no ΔE^* é de 0,61 o que, segundo a tabela 9 é pequena. Podemos afirmar com base nos resultados que o material é resistente ao ataque por soda cáustica.

Tabela 22: Valores dos parâmetros L^* , a^* , b^* e cálculo ΔE^* medidos em Veja multiuso.



Conforme a tabela 22 pode-se concluir que a alterabilidade do material foi praticamente nula visto que a variação nos parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* foi muito pequena e a variação no ΔE^* é de 0,50 o que, segundo a tabela 9 é pequena. Podemos afirmar com base nos resultados que o material é resistente ao ataque por veja.

