**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA**

LIZANDRA NOGAMI

**FIXAÇÃO DE PLACAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS:
ESTUDO DA ADERÊNCIA COM ARGAMASSA COLANTE**

**Novembro
São Carlos
2007**

LIZANDRA NOGAMI

**FIXAÇÃO DE PLACAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS:
ESTUDO DA ADERÊNCIA COM ARGAMASSA COLANTE**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para a obtenção de título de Mestre em Geotecnia.

Área de concentração: Geotecnia

Orientador: Prof. Dr. Antenor Paraguassú

São Carlos
2007

FOLHA DE APROVAÇÃO

Lizandra Nogami

Fixação de placas de rochas ornamentais: estudo da aderência com argamassa colante

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo para
a obtenção de título de Mestre.

Área de concentração: Geotecnia.

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Masaru e Kazue, e irmãos Rossana e Gustavo com amor e gratidão pelo carinho e apoio ao longo deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Deus sobre todas as coisas.

Aos meus pais Masaru e Kazue, e irmãos Rossana e Gustavo pelo carinho e apoio ao longo deste trabalho.

Ao orientador Prof. Dr. Antenor Braga Paraguassú, pela amizade, orientação e dedicação ao longo da elaboração desta dissertação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de mestrado concedida como suporte financeiro que possibilitou a realização desta pesquisa.

À Quimicryl S.A. pela doação de material para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Departamento de Geotecnia e Arquitetura da Escola de Engenharia de São Carlos, pela infra-estrutura oferecida.

Aos Professores Doutores Eduvaldo P. Sichieri, José Eduardo Rodrigues e ao Dr. Ely Borges Frazão pelas sugestões e avaliações.

Ao colega Rogério Pinto Ribeiro pelas sugestões feitas durante o desenvolvimento da pesquisa.

Aos funcionários, Álvaro Luis Nery, Antonio Claret Carriel, Antonio Garcia, Benedito Oswaldo de Souza, Décio Aparecido Lourenço, Herivelto Moreira dos Santos, Maristela A. Z. Batissaco, Neiva Mompean Rosalis Cardoso, Paulo Wanderley Prata Viera, Paulo César Albertini e Sérgio Aparecido Trevelin, do Departamento de Geotecnia e Laboratório de Construção Civil da ESSC/USP que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos amigos que fiz ao longo deste tempo, em especial à Isabella Andreczewski Chaves, Paula Maia e Camilla Borges que estiveram ao meu lado nas horas mais difíceis e a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para que esta pesquisa fosse concluída.

“O que for teu desejo, assim será tua vontade.
O que for tua vontade, assim serão teus atos.
O que forem teus atos, assim será teu destino.”

Deepak Chopra

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – Introdução.....	1
CAPÍTULO 2 - Objetivo.....	4
CAPÍTULO 3 - Revisão bibliográfica.....	5
3.1 - Panorama das rochas ornamentais.....	5
3.2 – Rochas ornamentais no Mundo.....	6
3.2.1 – Mercado brasileiro.....	8
3.3 - Rochas ornamentais.....	10
3.3.1 – Características petrográficas.....	12
3.3.2 – Índices físicos.....	16
3.3.3 – Microdureza Knoop.....	17
3.3.4 – Abrasão profunda.....	19
3.3.5 – Coeficiente de atrito dinâmico.....	22
3.3.6 – Resistência ao desgaste abrasivo (AMSLER).....	24
3.3.7 – Resistência à compressão uniaxial.....	25
3.3.8 – Coeficiente de dilatação térmica liner.....	27

3.3.9 – Resistência à tração na flexão.....	28
3.3.10 – Resistência ao Impacto de corpo duro.....	29
3.3.11 – Velocidade de propagação de ondas (Vp).....	29
3.3.12 -Rugosidade.....	30
3.3.12.1 – Rugosímetro portátil.....	32
3.4 - Problemas com a utilização de rochas como revestimento.....	33
3.5 - Tipos de assentamento de placas.....	34
3.4.1 – Argamassa colante.....	36
3.4.2 – Cimento.....	37
3.4.2.1 – Hidratação do cimento Portland.....	38
3.4.3 – Superplastificante.....	39
3.4.4 – Efeito da adição de látices polimérico as argamassas.....	40
3.4.4 – Polímero acrílico.....	42
3.4.6 – Sílica ativa.....	43
3.6 - Resistência de aderência.....	44
CAPÍTULO 4 - Materiais.....	45
4.1 - Argamassas.....	45

4.1.1 – Argamassa Comum.....	45
4.1.2 – Argamassa Industrializada.....	46
4.1.3 – Argamassa A4.....	47
4.2 – Ladrilhos de Rochas.....	48
CAPÍTULO 5 - Métodos.....	50
5.1 - Determinação da rugosidade dos corpo-de-prova.....	50
5.2 – Determinação da resistência de aderência a tração.....	52
CAPÍTULO 6 - Resultados dos ensaios.....	61
6.1 - Rugosidade.....	61
6.1.1 – Preto Indiano.....	62
6.1.2 – Vermelho Brasília.....	66
6.1.3 – Verde Labrador.....	69
6.2 – Resistência de aderência à tração.....	72
6.2.1 – Argamassa Industrializada.....	72
6.2.2 – Argamassa Comum.....	74
6.2.3 – Argamassa A4.....	76
6.3 – Resistência de aderência à tração para corpos-de-prova com a face retificada.....	79

6.3.1 – Argamassa Industrializada.....	79
6.3.2 – Argamassa A4.....	81
CAPÍTULO 7 – Análises dos resultados.....	84
7.1 – Resistência de aderência à tração na face rugosa.....	84
7.2 – Resistência de aderência à tração na face retificada.....	92
CAPÍTULO 8 – Conclusões.....	96
8.1 – Sugestões para trabalhos futuros.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Propriedades das Rochas destinadas a revestimento segundo a ASTM (FRASCÁ, 2002).....	6
Tabela 3.2 - Distribuição Regional da Produção de Rochas Ornamentais no Brasil – 2002 (CHIODI FILHO, 2003).....	9
Tabela 3.3 - Resultados obtidos de índices físicos (RIBEIRO,2005).....	16
Tabela 3.4 - Resultados de dureza Knoop das amostras estudadas (RIBEIRO, 2005).....	19
Tabela 3.5 – Determinações dos valores da resistência à abrasão profunda (RIBEIRO, 2005).....	22
Tabela 3.6 - Classificação do coeficiente de atrito dinâmico, de acordo com as diretrizes do Anexo N da norma NBR 13818 (ABNT, 1997b).....	24
Tabela 3.7 – Valores médios de coeficiente de atrito dos granitos em superfície seca e molhada (RIBEIRO, 2005).....	24
Tabela 3.8 - Resultados dos ensaios de resistência ao desgaste abrasivo (RIBEIRO, 2005).....	25
Tabela 3.9 – Resultados dos ensaios de compressão uniaxial (RIBEIRO, 2005).....	26
Tabela 3.10 - Resultados do ensaio de dilatação térmica linear; de acordo com as diretrizes da norma NBR 12765 (ABNT, 1992d) (RIBEIRO, 2005).....	27

Tabela 3.11 - Determinação dos valores da resistência de tração na flexão (RIBEIRO, 2005).....	28
Tabela 3.12 - Resultados da determinação da resistência ao impacto de corpo duro (RIBEIRO, 2005).....	29
Tabela 3.13 - Resultados da determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas.....	30
Tabela 3.14 - Valores da amplitude máxima da rugosidade das chapas dos granitos selecionados (RIBEIRO, 2005).....	33
Tabela 3.15 – Resistência de aderência à tração (NBR 14084) para cerâmica.....	44
Tabela 4.1 - Resultados de análise química.....	46
Tabela 4.2 - Resultados de reconstituição do traço.....	47
Tabela 4.3 - Composição granulométrica.....	47
Tabela 4.4 - Sumário dos valores médios dos ensaios não rotineiros (RIBEIRO, 2005).....	49
Tabela 4.5 - Valores médios dos ensaios de caracterização tecnológica do migmatito “Preto Indiano”, do sienogranito “Vermelho Brasília” e do charnoquito “Verde Labrador” (RIBEIRO, 2005).....	49
Tabela 6.1 - Resistência de aderência à tração do sienogranito Vermelho Brasília com a <i>Argamassa Industrializada</i>	73

Tabela 6.2 - Resistência de aderência à tração do charnoquito Verde Labrador com a <i>Argamassa Industrializada</i>	73
Tabela 6.3 - Resistência de aderência à tração do migmatito Preto Indiano com a <i>Argamassa Industrializada</i>	74
Tabela 6.4 - Resistência de aderência à tração do sienogranito Vermelho Brasília com a <i>Argamassa Comum</i>	75
Tabela 6.5 - Resistência de aderência à tração do charnoquito Verde Labrador com a <i>Argamassa Comum</i>	75
Tabela 6.6 - Resistência de aderência à tração do migmatito Preto Indiano com a <i>Argamassa Comum</i>	76
Tabela 6.7 - Resistência de aderência à tração do sienogranito Vermelho Brasília com a <i>Argamassa A4</i>	77
Tabela 6.8 - Resistência de aderência à tração do charnoquito Verde Labrador com a <i>Argamassa A4</i>	78
Tabela 6.9 - Resistência de aderência à tração da rocha Preto Indiano com a <i>Argamassa A4</i>	78
Tabela 6.10 - Resistência de aderência à tração do sienogranito Vermelho Brasília com <i>Argamassa Industrializada</i>	80
Tabela 6.11 - Resistência de aderência à tração do charnoquito Verde Labrador com <i>Argamassa Industrializada</i>	80
Tabela 6.12 - Resistência de aderência à tração do migmatito Preto Indiano com <i>Argamassa Industrializada</i>	81

Tabela 6.13 - Resistência de aderência à tração do sienogranito Vermelho Brasília com <i>Argamassa A4</i>	81
Tabela 6.14 - Resistência de aderência à tração do charnoquito Verde Labrador com <i>Argamassa A4</i>	82
Tabela 6.15 - Resistência de aderência à tração do migmatito Preto Indiano com <i>Argamassa A4</i>	83
Tabela 7.1 – Valores médios dos ensaios de aderência com as três argamassas para o Vermelho Brasília.....	84
Tabela 7.2 – Valores médios dos ensaios de aderência com as três argamassas para o Verde Labrador.....	85
Tabela 7.3 – Valores médios dos ensaios de aderência com as três argamassas para o Preto Indiano.....	86
Tabela 7.4 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Preto Indiano com a <i>Argamassa Industrializada</i>	88
Tabela 7.5 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Vermelho Brasília com a <i>Argamassa Industrializada</i>	88
Tabela 7.6 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Verde Labrador com a <i>Argamassa Industrializada</i>	89
Tabela 7.7 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Preto Indiano com a <i>Argamassa Comum</i>	89
Tabela 7.8 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Vermelho Brasília com a <i>Argamassa Comum</i>	90

Tabela 7.9 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Verde Labrador com a <i>Argamassa Comum</i>	90
Tabela 7.10 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Preto Indiano com a <i>Argamassa A4</i>	91
Tabela 7.11 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Vermelho Brasília com a <i>Argamassa A4</i>	91
Tabela 7.12 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Verde Labrador com a <i>Argamassa A4</i>	91
Tabela 7.13 – Valores médios dos ensaios de aderência com a <i>Argamassa Industrializada</i> para os três “granitos” com a face polida/retificada.....	93
Tabela 7.14 – Valores médios dos ensaios de aderência com a <i>Argamassa A4</i> para os três “granitos” com a face polida/retificada.....	93

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Produção Mundial de Chapas e ladrilhos dos Continentes (MONTANI, 2004).....	7
FIGURA 3.2 – (A) aspecto macroscópico do ladrilho submetido ao ensaio de coloração seletiva de feldspatos e (B) fotomicrografia do migmatito “Preto Indiano”: porção leucossômica com cristais de plagioclásios saussuritizados e quartzo com microfissuras intragrão	13
FIGURA 3.3 – (A) aspecto macroscópico do ladrilho submetido ao ensaio de coloração seletiva de feldspatos e (B) fotomicrografia do sienogranito “Vermelho Brasília”. Notar a saussuritização sobre os cristais de plagioclásio, com formação de cristais de muscovita.....	14
FIGURA 3.4 – (A) aspecto macroscópico do ladrilho submetido ao ensaio de coloração seletiva de feldspatos e (B) fotomicrografia do charnockito “Verde Labrador”. Notar o intenso microfissuramento intergranular.....	15
FIGURA 3.5 – (A) esquema das quarenta impressões realizadas em cada corpo-de-prova. Os números indicam a ordem em que são feitas as impressões e (B) impressão em cristal de quartzo do sienogranito “Vermelho Brasília”; comprimento da diagonal maior = 55,5µm. (RIBEIRO, 2005).....	18
FIGURA 3.6 – (A) abrasímetro disponibilizado pelo Parque de Alta Tecnologia de São Carlos (Parqtec) e (B) detalhe mostrando o disco rotativo tangenciando o corpo-de-prova (RIBEIRO, 2005).....	20

FIGURA 3.7- (A) Medida do comprimento da cavidade (C_{cav}) e (B) Detalhe mostrando as cavidades impressas (material removido no ensaio) em amostra do migmatito “Preto Indiano”. Cada amostra foi desgastada em dois locais posicionados ortogonalmente (RIBEIRO, 2005).....20

FIGURA 3.8 – Disposição dos ladrilhos do migmatito “Preto Indiano” para determinação do coeficiente de atrito dinâmico com “scivolosímetro”. (A) Superfície polida e seca, caminhamento perpendicular ao bandamento gnáissico e (B) superfície bruta e molhada, a seta branca indica o sentido de medição do coeficiente de atrito dinâmico, enquanto que a linha tracejada indica a direção das estrias de rugosidade (RIBEIRO, 2005).....23

FIGURA 3.9 – Bloco esquemático de rocha movimentada (sem escala), orientado de acordo com a programação de serragem. Observar as direções de amostragem dos corpos de prova para determinação da resistência à compressão: **F** – frontal e **L** – lateral (RIBEIRO, 2005).....26

FIGURA 3.10 – Bloco esquemático de uma rocha movimentada, orientado de acordo com a programação de serragem. Observar as direções de amostragem: **F** – frontal e **S** – superior (RIBEIRO, 2005).....28

FIGURA 3.11 – Métodos disponíveis de medição da rugosidade (GRASSELLI, 2001).....31

FIGURA 3.12 - “Avaliador de Rugosidade de Chapas – ARC” (RIBEIRO, 2005).....32

FIGURA 5.1 Medição da rugosidade dos ladrilhos de “granito” nos quais estão desenhados os corpos de prova, que posteriormente serão extraídos.....51

FIGURA 5.2 (A) Perfil medido e (B) perfil horizontalizado (MUMMERY, 1992).....51

FIGURA 5.3 Definição de R_t (SANDVIK, 1994 *apud* SPÍNOLA, 1998).....52

FIGURA 5.4 Molde metálico com a tela de aço e espaçadores plásticos.....	53
FIGURA 5.5 Colocação do concreto no molde até que a tela esteja totalmente recoberta e que o concreto esteja nivelado com as cantoneiras da forma.....	54
FIGURA 5.6 Adensamento em mesa vibratória.....	54
FIGURA 5.7 Cura do substrato por 24 horas.....	54
FIGURA 5.8 Furadeira de coluna cortando o corpo-de-prova de placas de “sienogranito” Vermelho Brasília, com os CPs delimitados.....	55
FIGURA 5.9 (A) Torno mecânico com retífica; (B) Detalhe da retificação dos corpos-de-prova.....	56
FIGURA 5.10 Detalhe dos cordões da argamassa colante Industrializada formados pela desempenadeira.....	58
FIGURA 5.11 Assentamento dos corpos-de-prova (verde labrador) com argamassa colante industrializada.....	58
FIGURA 5.12 Argamassa aplicada ao substrato padrão com os corpos-de-prova (Preto Indiano) curando por 28 dias.....	59
FIGURA 5.13 Detalhe da placa metálica e a rocha.....	59
FIGURA 5.14 Equipamento utilizado no ensaio de resistência de aderência à tração.....	60
FIGURA 5.15 Detalhe da conexão entre a pastilha metálica colada à rocha e o equipamento de tração.....	60

FIGURA 6.1 Medição das estrias (depressões e saliências) superficiais da chapa.....	62
FIGURA 6.2 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova fixados com <i>Argamassa Industrializada</i>	63
FIGURA 6.3 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova fixados com <i>Argamassa Comum</i>	64
FIGURA 6.4 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova fixados com <i>Argamassa A4</i>	65
FIGURA 6.5 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova fixados com <i>Argamassa Industrializada</i>	66
FIGURA 6.6 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova fixados com <i>Argamassa Comum</i>	67
FIGURA 6.7 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova fixados com <i>Argamassa A4</i>	68
FIGURA 6.8 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova fixados com <i>Argamassa Industrializada</i>	69
FIGURA 6.9 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova fixados com <i>Argamassa Comum</i>	70
FIGURA 6.10 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova fixados com <i>Argamassa A4</i>	71
FIGURA 6.11 Corpo-de-prova quebrado do sienogranito Vermelho Brasília, que não resistiu ao ensaio de arrancamento.....	77

FIGURA 6.12 Corpo-de-prova do sienogranito Vermelho Brasília, que rompeu na rocha no ensaio de arrancamento.....	82
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 7.1 – Resistência de aderência à tração do sienogranito Vermelho Brasília.....	85
GRÁFICO 7.2 – Resistência de aderência à tração do charnoquito Verde Labrador.....	85
GRÁFICO 7.3 – Resistência de aderência à tração do migmatito Preto Indiano.....	86
GRÁFICO 7.4 Resistência de aderência à tração das argamassas e rochas (superfície não polida) em estudo, sob cura normal.....	87
GRÁFICO 7.5 – Resistência de aderência à tração entre os “granitos” e a <i>Argamassa Industrializada</i> x Rugosidade da rocha.....	89
GRÁFICO 7.6 – Resistência de aderência à tração entre corpos-de-prova dos “granitos” e a <i>Argamassa Comum</i> x Rugosidade da rocha.....	90
GRÁFICO 7.7 – Resistência de aderência à tração entre os “granitos” e a <i>Argamassa A4</i> x Rugosidade da rocha.....	92
GRÁFICO 7.8 – Resistência de aderência à tração da <i>Argamassa Industrializada</i> com os “granitos” ensaiados.....	93
GRÁFICO 7.9 – Resistência de aderência à tração da <i>Argamassa A4</i> com os “granitos” ensaiados.....	94

GRÁFICO 7.10 – Resistência de aderência à tração da <i>Argamassas Industrializada e A4</i> com os “granitos” ensaiados.....	95
---	----

GLOSSÁRIO

Euédricos: cristais com formas geométricas próprias.

Rocha movimentada: rocha de aparência não uniforme.

Tempo em aberto: refere-se ao tempo máximo em que a argamassa conserva suas propriedades, mínimas de aderência, contado após a abertura de um pano de argamassa fresca sobre um substrato.

C₃S: é uma sigla para o Silicato tricálcico.

C₂S: é uma sigla para o Silicato dicálcico

C₃A: é uma sigla para o Aluminato tricálcico

C₄AF: é uma sigla para o Ferro aluminato tetracálcico

Tardo: superfície que esta em contato com a argamassa.

Reação Pozolanica: reação que melhora a capacidade do aglomerante.

CPH: NBR – 11578/91 (EB – 2138) Cimento Portland Composto.

Matriz de cimento fresco: Argamassa a base de cimento no estado fresco.

RESUMO

NOGAMI, L. **Fixação de Placas de Rochas Ornamentais: Estudo da Aderência com Argamassa Colante**. 2007. 97 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2007.

Nos revestimentos de paredes a fixação de placas de rochas pode ser feita com *inserts* metálicos ou por aderência com argamassas. Nos assentamentos com argamassas os valores de aderência, por norma, devem ser superiores a 1 MPa e a altura máxima do revestimento não pode ultrapassar 3 m. No presente trabalho foram feitos ensaios com ladrilhos de três tipos de “granitos” para comparar a aderência da argamassa existente no mercado, específica para estas rochas, com uma argamassa colante para porcelanatos, de mesmo custo de produção, desenvolvida por pesquisadores do Departamento de Arquitetura da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. As rochas escolhidas foram “Vermelho Brasília” (sienogranito), “Verde Labrador” (charnoquito) e “Preto Indiano” (migmatito) apresentam características petrográficas e serrabilidades diferentes, o que implica em valores distintos de rugosidade das chapas obtidas pelo desdobramento dos blocos em teares. A aderência destas rochas com as com argamassas foi determinada, tanto na face rugosa como na face polida por meio do ensaio de arrancamento por tração, normatizado para cerâmica. Os resultados mostraram para estas rochas que a aderência das argamassas está relacionada à rugosidade e à mineralogia/textura. A aderência obtida para a argamassa colante desenvolvida para porcelanato foi aproximadamente 2 vezes superior a encontrada para argamassa comercial, mostrando sua excelente qualidade para o assentamento de placas de “granitos”.

Palavras-chave: Cimento. Argamassa colante. Rochas ornamentais.

ABSTRACT

NOGAMI, L. **Setting of Dimension Stones: Study of the Tack with adhesive Mortar**. 2007. 97 p. Dissertation (Master of Science) – Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2007.

In coverings of walls the setting of dimension stones can be made with metallic inserts or by tack with mortar. In the nestings with mortar the values of tack, for norm, must be superior the 1 MPa and the maximum height of covering cannot exceed 3 m. In the present work, assays with floor tiles of three types of “granites” had been made to compare the tack of the existing mortar in the market, specific for these granites, with a adhesive mortar for porcelain, of same cost of production, developed for researchers of the Department of Architecture of the School of Engineering of São Carlos of the University of São Paulo. The chosen stones had been “*Vermelho Brasília*” (sienogranite), “*Verde Labrador*” (charnockite) and “*Preto Indiano*” (migmatite) they present petrographics analysis and saw different, what implies in distinct values of the rugous of plates gotten for the unfolding of the blocks in sewing presses, that use grain of steel as abrasive element. The tack of plates of these stones with mortar was determined in such a way in the rugose face as in the polishing face by way of the assay of pulling up for traction, prescriptive for ceramics. The results had shown that the tack of mortar is related to the rugous and mineralogy/texture for these stones. The tack gotten for the developed adhesive mortar for porcelain was approximately two times superior the found one for commercial mortar, showing its excellent quality for the nesting of “granite” plates.

Keywords: Cement. Adhesive mortar. Dimension stones.

CAPÍTULO 1 – Introdução

As rochas ornamentais e de revestimento são muito utilizadas devido sua durabilidade, resistência mecânica, efeitos estéticos e funcionais nas construções, inserindo-se em um importante setor da economia em diversos países. O Brasil, destacado pela sua espetacular “geodiversidade”, já se coloca no grupo dos grandes produtores e exportadores mundiais do setor de rochas. De acordo com ABIROCHAS (2006), produz cerca de 6,9 milhões de toneladas/ano, abrangendo mais de 1.000 tipos de rochas ornamentais, derivadas de 1.600 frentes de lavras.

As rochas ornamentais funcionam como elemento durável e decorativo em revestimentos horizontais e verticais, servindo para manter os aspectos estéticos ao longo do tempo, protegendo as estruturas do intemperismo, promovendo isolamento térmico na edificação, facilitando a limpeza e mantendo higidez do ambiente.

As rochas ornamentais são aplicadas, principalmente, em pisos e revestimentos. Cerca de 69,5% da produção mundial de mármore e granitos é utilizada na forma de pisos (internos e externos) e em revestimento de paredes e fachadas; 17,5 % em arte funerária; 9,5% em decoração e 3,5% em outras aplicações (MONTANI, 2004).

No mercado mundial, o Brasil que antes era um exportador de blocos, vem aumentando a sua participação na exportação de produtos acabados, como exemplo, chapas brutas, chapas polidas, placas, ladrilhos e outros.

Esse aumento se deu graças ao aprimoramento tecnológico que vem ocorrendo nos últimos anos tornando o produto nacional competitivo frente aos internacionais. Um dos principais motivos desse desenvolvimento é a interação entre empresas, instituições de pesquisa e universidades.

Em contrapartida, no Brasil as técnicas de aplicação de rochas ornamentais para revestimento não acompanham o desenvolvimento do setor produtivo.

Os sistemas de revestimentos com rochas ainda que muito utilizados em construções, são baseados no empirismo, não existindo uma metodologia para a especificação tanto da rocha, quanto dos materiais utilizados na fixação.

Há cerca de quinze anos, foram introduzidas técnicas modernas de assentamento, desenvolvidas nos Estados Unidos e na Alemanha, que utilizam componentes metálicos para a fixação das placas, conhecidos como “*inserts*”.

Porém, essa técnica necessita de um conhecimento do comportamento estrutural da placa de rocha, da realização de um projeto estrutural, da correta especificação do tipo de rocha, do material dos *inserts* e da correta forma de fixá-los. Muitas vezes, os construtores negligenciam a natureza das rochas e as propriedades dos aços utilizados nos *inserts*, não levando em consideração a agressividade do meio sobre esses materiais.

Diversos tipos de patologias ocorrem, desde simples manchas que interferem apenas na estética, até mesmo fissuras, quebras e destacamentos, que causam grandes prejuízos e comprometem toda a sua funcionalidade e segurança.

Maranhão (2006) cita alguns exemplos destes prejuízos como no *Bank of East Asian*, cujas placas de granito da fachada apresentaram problemas de fissura e destacamento, causando prejuízo de US\$ 38 milhões; e o ocorrido no ano de 2002, em um edifício na cidade do Rio de Janeiro, em que houve destacamento de placas da fachada provocando ferimentos em várias pessoas e consideráveis danos materiais.

Tanto para pisos como para paredes, é possível apontar que as principais causas dos problemas patológicos são: a má fixação das placas, o rejuntamento, a deterioração de produtos “impermeabilizantes”, os procedimentos ou produtos de limpeza e as alterações na própria rocha.

Por esta razão, o presente trabalho trata da fixação das placas de rocha que usualmente é feita com argamassa comum ou por “*inserts*” metálicos, dando ênfase no uso das argamassas colantes, que ultimamente vem apresentando grande crescimento.

No Capítulo 2, é feita uma revisão na literatura, que ressalta a existência de poucos trabalhos que tratam do assunto e a falta de normatização para o uso de argamassas colantes industrializadas na fixação de placas de rocha. São utilizados as normas e estudos para revestimento cerâmico com algumas modificações.

No Capítulo 3, é feita uma descrição das rochas ornamentais utilizadas como material de revestimento, os ensaios de caracterização tecnológica e a especificação das argamassas.

Nos Capítulos 4, 5 e 6, são apresentados as descrições, os resultados dos ensaios realizados nessa pesquisa e a análise dos dados obtidos, sobre a rugosidade dos corpos-de-prova e a resistência de aderência. No Capítulo 7, são feitas algumas considerações sobre as argamassas sendo utilizadas para fixação de ladrilhos de “granitos”.

Esta pesquisa foi realizada nos laboratórios do Departamento de Geotecnia e de Arquitetura e Urbanismo, da EESC/USP. Neste último, contamos com a valiosa colaboração do Prof. Dr. Eduvaldo P. Sichieri ao qual externamos nossos profundos agradecimentos.

CAPÍTULO 2 – Objetivo

O presente trabalho trata da fixação das placas de rocha utilizando argamassas. Tem o objetivo de comparar a aderência da argamassa que é a mais utilizada no assentamento de placas de rocha, com a existe no mercado, específica para granitos, com uma outra argamassa não comercial desenvolvida no laboratório que tem custo de produção semelhante, levando em conta a influência da rugosidade das placas e as características petrográficas da rocha.

CAPÍTULO 3 – Revisão bibliográfica

3.1 Panorama das rochas ornamentais

Desde a Antiguidade, as rochas têm sido utilizadas para os mais diversos fins, como elementos estruturais de grandes edificações, monumentos, igrejas, palácios, entre outros. Inicialmente, com função estética e ornamental, ao redor de 3000 a.C., pelos mesopotâmios e egípcios e posteriormente pelos gregos, que difundiram seu emprego por meio da escultura e da arquitetura.

Os romanos, por volta do ano 80 a.C., consolidaram seu uso nas mais audaciosas obras públicas, utilizando-as como revestimento em grandes construções de alvenaria, principalmente por motivos estéticos, inspirando opulência e durabilidade, tornando-se os pioneiros dessa modalidade.

Atualmente, as aplicações das rochas ornamentais são quase que ilimitadas. As rochas ornamentais são aplicadas, principalmente, em pisos e revestimentos de paredes e fachadas. Cerca de 69,5% da produção mundial de mármore e granito é utilizada na forma de pisos (internos e externos) e em revestimento de paredes e fachadas, 17,5 % em arte funerária, 9,5% em decoração e 3,5% em outros casos (MONTANI, 2004).

Com o avanço tecnológico, as rochas foram submetidas aos mais diversos tipos de testes e simulações, de modo que é possível definir limites de espessura, de tamanho, de densidade, de dureza para as mais adequadas aplicações.

Tabela 3.1 - Propriedades das Rochas destinadas a revestimento segundo a ASTM (FRASCÁ, 2003)

Tipos de Rocha		D (kg/m³)	AA (%)	RCU (MPa)	F3P (MPa)	F4P (MPa)
Granitos (ASTM C 615)		≥2.560	≤0,4	≥131	≥10,34	≥8,27
Mármore - Exterior (ASTM C 503)	Calcita Mármore	>2.595	≤0,2	≥52	≥7	≥7
	Dolomita Mármore	>2.800				
	Serpentina Mármore/ Serpent	>2.690				
	Travertino	>2.305				
Calcários (ASTM C 568)	I - Baixa Densidade	≥1.760	≤12	≥12	≥2,9	n.e.
	II - Média Densidade	≥2.160	≤7,5	≥28	≥3,4	
	III - Alta Densidade	≥2.560	≤3	≥55	≥5,9	
Rochas Quartzosas (ASTM C 616)	I - Arenito (≥60% sílica livre)	≥2.003	≤8	≥27,6	≥2,4	n.e.
	II - Arenito Quartzítico (≥90% sílica livre)	≥2.400	≤3	≥68,9	≥6,9	
	III - Quartzito (≥95% sílica livre)	≥2.560	≤1	≥137,9	≥13,9	
Ardósias (ASTM C 629)	I – Exterior	n.e.	≤0,25	n.e.	≥49,6*	n.e.
	II – Interior		≤0,45		≥62,1**	
					≥37,9*	
					≥49,6**	

LEGENDA: D – densidade; AA – absorção d'água; RCU – resistência à compressão simples; F3P – resistência à flexão em 3 pontos; F4P – resistência á flexão em 4 pontos;n.e – não existe.

3.2 Rochas ornamentais no Mundo

As rochas ornamentais e de revestimento constituem uma das áreas mais promissoras no setor mineral, com crescimento médio de produção mundial ao longo dos anos 90 estimado em 6% ao ano e que, no Brasil, foi um dos poucos setores da economia que apresentou um crescimento nas taxas anuais de produção. A produção mundial evoluiu de 1,8 milhões de toneladas/ano, na década de 1920, para um patamar atual de 92,8 milhões de toneladas/ano. Cerca de 41,4 milhões de toneladas de rochas brutas e beneficiadas foram comercializadas no mercado internacional em 2006, devendo-se atingir a casa dos 45 milhões de toneladas em 2007. Estima-se que o setor de rochas esteja atualmente movimentando US\$ 80 bilhões a US\$100 bilhões/ano (CHIODI, 2007).

Este incremento deve-se, principalmente, ao avanço tecnológico nos setores de extração, de beneficiamento e de aplicação das rochas, permitindo soluções

seguras, estéticas e funcionais para a construção civil. A modernização do setor também possibilitou a inclusão, no mercado, de tipos rochosos anteriormente não comercializados.

De acordo com Chiodi Filho (2005), a produção mundial de rochas totalizou 67,5 milhões de toneladas em 2002, sendo 58% mármore, 37% granitos e 5% ardósias. A China foi a maior produtora de rochas; depois a Itália; a Índia; a Espanha; o Irã e o Brasil ocupou o sexto lugar.

Produção Mundial de Chapas e Ladrilhos entre Continentes

Continentes	milhões de m ² equivalente/2 cm de espessura
Europa	322.540
América	84.040
África	32.745
Ásia	376.600
Oceania	2.725
Total	818.650

FIGURA 3.1 – Produção Mundial de Chapas e ladrilhos nos continentes (MONTANI, 2004)

3.2.1 Mercado brasileiro

No mercado mundial, o Brasil vem aumentando a sua participação na exportação de produtos acabados, como exemplo, chapas brutas, chapas polidas, placas, ladrilhos e outros.

Esse aumento se dá graças ao aprimoramento tecnológico que vem ocorrendo nos últimos anos tornando o produto nacional competitivo frente aos internacionais, demonstrado pela produção mensal de mais de 4.000.000 m² de chapas. Um dos principais motivos desse desenvolvimento, é a interação ocorrida entre empresas, instituições de pesquisa e universidades (MOREIRAS, 2005).

O Brasil, destacado pela sua espetacular “geodiversidade”, já se coloca no grupo dos grandes produtores e exportadores mundiais do setor de rochas. Sua produção inclui principalmente granitos, ardósias, quartzitos, mármore, travertinos, pedra-sabão, serpentinitos, calcários, conglomerados, gabros, dioritos, basaltos e gnaisses foliados.

Segundo Chiodi Filho (2004), a produção bruta de rochas ornamentais em 2003 foi de 6 milhões toneladas, sendo 3,45 milhões toneladas de granito (57,5%), 1,0 milhões toneladas de travertino e mármore (16,67%), 0,5 milhões toneladas de ardósia (8,34%), 0,41 milhões toneladas de quartzito (6,83%), e 0,64 milhões toneladas de outras rochas (10,66%), com um faturamento de US\$ 2,5 bilhões.

No ano de 2006, o Brasil colocou-se como 4º maior produtor e exportador mundial de rochas em volume físico, como 2º maior exportador de granitos brutos, como 4º maior exportador de rochas processadas especiais, e como 2º maior exportador de ardósias. No Brasil são registradas atividades de extração em cerca de 400 municípios, assumindo-se a existência de 1.800 frentes ativas de lavra e a produção de 1.200 variedades comerciais de rochas (CHIODI, 2007).

Tabela 3.2 - Distribuição Regional da Produção de Rochas Ornamentais no Brasil – 2002 (CHIODI FILHO, 2004)

Região	Estado	Produção (ton.)	Tipo de Rocha
Sudeste	Espírito Santo	2.850.000	Granito e mármore
	Minas Gerais	1.200.000	Granito, ardósia, quartzito foliado, pedra sabão, pedra talco, serpentinito, mármore e basalto
	Rio de Janeiro	260.000	Granito, mármore e pedra Miracema
	São Paulo	80.000	Granito, quartzito foliado e ardósia
Norte e Nordeste	Bahia	500.000	Granito, mármore, travertina, arenito e quartzito
	Ceará	250.000	Granito e pedra Cariri
	Paraíba	62.000	Granito e conglomerado
	Pernambuco	50.000	Granito
	Alagoas	15.000	Granito
	Rondônia	15.000	Granito
	Rio Grande do Norte	15.000	Mármore e granito
	Pará	3.000	Granito
	Piauí	10.000	Pedra Morisca
Sul	Paraná	320.000	Granito, mármore e outros
	Rio Grande do Sul	140.000	Granito e basalto
	Santa Catarina	80.000	Granito e ardósia
Centro-Oeste	Goiás	150.000	Granito e Quartzito foliado
	Total	6.000.000	

Segundo ABIROCHAS (2007), as exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento fecharam o ano de 2006 com um faturamento de US\$ 1,045 bilhões, relativos à comercialização de 2.589.425,58 toneladas de rochas brutas e processadas. Frente a 2005, houve variação positiva de 32,30% no faturamento e de 20,02% no volume físico dessas exportações. Com tal desempenho, as exportações de 2006 superaram em US\$ 251,1 milhões e em 428,97 mil toneladas o que foi exportado em 2005, quase que duplicou o faturamento de 2004. A variação do faturamento de 2006 (32,30%) foi superior aquela registrada em 2005 (31,45%).

As exportações de rochas processadas no ano de 2006, tanto acabadas quanto semi-acabadas, abrangendo produtos de beneficiamento simples e especial, somaram US\$ 831,1 milhões e representaram 79,52% do total exportado. Em volume, as rochas processadas somaram 1.293.171,96 toneladas e representaram

49,94% do total das exportações. A participação das rochas processadas, no total do faturamento e o volume das exportações, foi praticamente à mesma de 2005.

Com a aplicação de índices de crescimento julgados compatíveis ao desempenho das exportações e do mercado interno da construção civil, estima-se que a produção brasileira de rochas ornamentais tenha evoluído de 6,9 milhões de toneladas em 2005 para cerca de 7,5 milhões de toneladas em 2006. A participação da produção voltada para o mercado externo evoluiu de 39,5% em 2005 para 43,4% em 2006, enquanto a produção voltada para o mercado interno recuou de 60,5% para 56,6%.

Indicadores fornecidos pelo Banco Mundial sugerem que, a cada novo bilhão de dólares exportados, estão sendo gerados de 50 mil a 70 mil empregos diretos. Aponta-se, assim, que o incremento das exportações do setor de rochas, em 2006 (US\$ 251,1 milhões), teria proporcionado a geração de 12.500 a 17.500 postos de trabalho (15.000 pela média das duas estimativas).

Os EUA continuam sendo o principal país de destino das exportações brasileiras do setor de rochas. Em 2006, as exportações para os EUA somaram US\$ 631,77 milhões e 824.174,66 toneladas. O Espírito Santo continua liderando as exportações setoriais, respondendo por 65,1% do faturamento e 56,6% do volume total brasileiro.

3.3 Rochas ornamentais

O termo rochas ornamentais tem as mais variadas definições. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, no prelo) define rocha ornamental como material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento ou afeiçoamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética.

Rocha para revestimento é definida pela ABNT, como rocha natural que, submetida a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos e

fachadas, em obras de construção civil. Essa definição pode ser considerada similar à que a *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2001) propõe para *dimension stone*: pedra natural que foi selecionada, regularizada ou cortada em tamanhos e formas especificados ou indicados, com ou sem uma ou mais superfícies mecanicamente acabados.

Na escolha de rochas ornamentais, o fator estético é muitas vezes decisivo. Ele é resultado da harmonia entre as cores, tamanhos, formas e arranjo entre os minerais. Essas características ficam mais realçadas pelo acabamento dado a superfície da rocha, principalmente o polido.

Do ponto de vista comercial, são subdivididas basicamente em *mármore*s e *granitos*, numa designação mais ampla do que os termos petrológicos tradicionais (BRANDÃO *et al.*, 1991). Os *mármore*s englobam todas as rochas carbonatadas, enquanto que os *granitos* abrangem, genericamente, as rochas silicatadas (granitos, sienitos, charnoquitos, gabros, basaltos, dioritos, etc.). Alguns outros tipos litológicos, incluídos no campo das rochas ornamentais, são os quartzitos, serpentinitos e ardósias, também muito importantes setorialmente.

Os “granitos” são bem aceitos no mercado mundial, principalmente os brasileiros, devido a grande variedade cromática e textural.

No presente trabalho, foram escolhidos três tipos de “granitos”, comercialmente conhecidos, o Preto Indiano (migmatito), o Vermelho Brasília (sienogranito) e o Verde Labrador (charnoquito), com base nos seguintes aspectos: alta aceitação nos mercados interno e externo; mineralogia e textura diferenciadas; além da existência de alguns trabalhos utilizando tais rochas, desenvolvidos no Departamento de Geotecnia – USP São Carlos (RIBEIRO, 2005; SILVEIRA, 2007). A fixação de placas destas rochas com o uso de argamassa foi estudada levando-se em conta as características petrográficas, os índices físicos, a rugosidade, a abrasão profunda, a resistência ao desgaste, resistência à compressão uniaxial, a dureza e o tipo de argamassa.

3.3.1 Características petrográficas

Com base nas diretrizes da norma EN 12407 (CEN, 2000), a análise petrográfica dos “granitos” foi efetuada por meio de observação macroscópica e de microscopia óptica de luz polarizada em lâminas delgadas (espessuras na ordem de 30µm) extraídas das chapas em três direções ortogonais, uma delas paralela à superfície serrada. Devido à granulação relativamente grossa das rochas analisadas, a porcentagem modal foi determinada pela integração entre contagens minerais efetuadas diretamente sobre placas polidas por meio da utilização da técnica de coloração seletiva de feldspatos, segundo a metodologia de MORAES & RODRIGUES (1978), com auxílio de uma malha de espaçamento de 1cm lançada sobre plástico transparente, e em seções petrográficas sob microscópio realizadas com aparelho contador automático digital marca Swift.

“**Granito**” **Preto Indiano**, conforme Ribeiro (2005), é um migmatito com sua estrutura dobrada, exibindo diferentes intensidades de gnaissificação, responsável pelo maior e menor grau de paralelismo entre os níveis paleossômicos e leucossômicos. O paleossoma apresenta cor cinza escuro, composição tonalítica, constituído predominantemente por andesina/oligoclásio (41,0%), quartzo (22,0%), biotita (23,0%) e microclínio (4,5%), além de sillimanita (5,0%) e muscovita (3,0%) e menos freqüentemente por granada (1,0%) e cordierita (0,3%). Minerais acessórios (0,2%) são opacos, zircão, carbonatos, sericita e argilo-minerais. Apresenta textura granoblástica a granolepidoblástica, de granulação média, predominantemente entre 1,5 e 4,0mm. O leucossoma apresenta cor esbranquiçada, composição monzogranítica/granodiorítica, constituída essencialmente por andesina/oligoclásio (40,0%), quartzo (32,0%), microclínio (25,0%) e biotita (3,0%). Apresenta textura granular hipidiomórfica com granulação média (2,0 a 4,0mm) a média/grossa (5,0 a 10,0mm). Localmente, encontra-se parcialmente envolvido por delgados leitos biotíticos com sillimanita e muscovita, de textura lepidoblástica.

Em geral, a rocha exibe baixo microfissuramento e fraca alteração mineral. O microfissuramento intragrãos, sendo mais freqüentes nos cristais maiores de feldspatos e de quartzo da porção leucossômica. As microfissuras são de pequena

extensão e normalmente preenchidas por sericita e muscovita. A alteração mineral relaciona-se principalmente aos cristais de silimanita, à alguns cristais de plagioclásio (que se encontram de parcial a totalmente saussuritizados nas frações paleossômica e leucossômica).

FIGURA 3.2 – (A) aspecto macroscópico do ladrilho submetido ao ensaio de coloração seletiva de feldspatos e (B) fotomicrografia do migmatito “Preto Indiano”: porção leucossômica com cristais de plagioclásios saussuritizados e quartzo com microfissuras intragrão.

“Granito” Vermelho Brasília, conforme Ribeiro (2005), é um sienogranito, de coloração vermelha, inequigranular. A textura é hipidiomórfica e a granulação grossa, oscilação desde 3 mm até mais de 50 mm, predominantemente entre 5 e 30mm. Seus minerais essenciais são quartzo (32,0%), microclínio (41,0%), oligoclásio (16,0%) e biotita (5,0%); como acessório (2,0%) opacos, apatita, zircão e granada e minerais secundários (< 4,0%) sericita, muscovita, epidoto, clorita, carbonatos, argilo-minerais e hidróxidos de ferro.

Estruturalmente, apresenta uma discreta orientação de fluxo, evidenciada basicamente por leve orientação preferencial dos cristais alongados de microclínio. O grau de microfissuramento é baixo, predominantemente intergranular, nos cristais de quartzo. Quando abertas, as microfissuras mostram-se preenchidas por minerais opacos, sericita e algum epidoto.

Os cristais de quartzo constituem agregados de grãos anedrais, relativamente interligados entre si, irregulares a predominantemente alongados, homogeneamente

distribuídos pela rocha, de forma a desenvolver uma verdadeira rede/malha que envolve os cristais de feldspatos. Esta feição estrutural relacionada à distribuição dos agregados de cristais de quartzo exerce grande influência na resistência à abrasão e à serragem.

Apresenta baixo grau de microfissuramento intragrão e, localmente, intergrão. Os cristais maiores são de microclínio, que geralmente apresentam contornos irregulares (devido à corrosão durante cristalização magmática), o que, apesar da granulação grossa, se reflete em bom imbricamento mineral e, conseqüentemente, na melhor coesão desta rocha. Destaca-se, também, o freqüente intercrescimento entre microclínio e oligoclásio (observável mesmo macroscopicamente). A alteração mineral é fraca a moderada, caracterizada por visível alteração em argilo-minerais dos cristais de feldspatos. Os cristais de plagioclásio são os mais afetados, principalmente em seus núcleos, além de exibirem discreta sericitização.

FIGURA 3.3 – (A) aspecto macroscópico do ladrilho submetido ao ensaio de coloração seletiva de feldspatos e (B) fotomicrografia do sienogranito “Vermelho Brasília”.

“Granito” Verde Labrador (RIBEIRO, 2005) é um charnockito (hiperstênio sienogranito) com granada. Apresenta coloração verde-escura acastanhada e granulação de fina a grossa, variando de 2 a 25mm (predomina ao redor de 10mm). Seus minerais essenciais são quartzo (14,0%), microclínio (39,0%), oligoclásio (19,0%), biotita (5,0%), hiperstênio (5,0%), hornblenda (5,0%), granada (5,0%),

como acessórios (5,0%) opacos, alanita, apatita e zircão e minerais secundários (< 3,0%) filossilicatos, carbonato e hidróxidos de ferro.

Apresenta estrutura maciça e um arranjo textural inequigranular hipidiomórfico, caracterizado por cristais subédricos a anédricos de feldspatos, milimétricos a centimétricos, e anédricos de quartzo. Em geral, os minerais máficos e opacos constituem agregados esparsos na rocha. A granada ocorre como porfiroblastos, subédricos a euédricos.

O grau de microfissuramento é intenso, predominantemente intergrão, configurando uma rede de microfissurqas entrecortadas, preenchidas por filossilicatos e hidróxidos de ferro. Observa-se também microfissuras radiais em cristais de hiperstênio e hornblenda.

As transformações minerais são moderadas, evidenciadas pela alteração deutérica de feldspatos, a partir de microfissuras, em argilominerais e sericita, com hidróxidos de ferro associados. O hiperstênio encontra-se fortemente alterado ao longo e próximo de clivagens.

FIGURA 3.4 – (A) aspecto macroscópico do ladrilho submetido ao ensaio de coloração seletiva de feldspatos e (B) fotomicrografia do charnockito “Verde Labrador”. Notar o intenso microfissuramento intergranular.

3.3.2 Índices físicos

São denominados índices físicos da rocha as propriedades de massa específica ou densidade, porosidade e absorção d'água.

Uma rocha, no seu estado natural, apresenta-se como um conjunto de minerais interligados, constituído pelos minerais e pelos vazios entre estes. A maior ou menor quantidade de vazios gera menor ou maior compacidade da rocha, que refletirá numa maior ou menor massa específica e por consequência, maior ou menor porosidade (FRAZÃO, 2002).

A quantidade de água, ou liquido qualquer, capaz de preencher os poros define a capacidade da rocha em absorver e reter a água.

Os valores de massa específica aparente seca, porosidade aparente e absorção d'água são determinados com base na norma NBR 12766 (ABNT, 1992e), que preconiza, para cada tipo de rocha, a utilização de 10 amostras com 5 a 7cm de diâmetro.

Tabela 3.3 - Resultados obtidos de índices físicos (RIBEIRO,2005)

MATERIAL	Massa específica Aparente Seca (kg/m ³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção d'água (%)
Preto Indiano	2.770	0,98	0,35
Vermelho Brasília	2.621	0,69	0,26
Verde Labrador	2.677	0,24	0,09

3.3.3 Microdureza Knoop

A determinação da dureza Knoop, em rochas ornamentais, foi sugerida por MANCINI & FRISA MORANDINI (1982) e, desde então, vem sendo utilizada por diversos pesquisadores (CARDU *et al.*, 1994; SÁNCHEZ DELGADO *et al.*, 2005). Com os valores obtidos, é construída uma curva de frequência acumulada, onde são obtidos os valores (HK – *hardness knoop*) relativos aos quartis 25%, 50% e 75%. O valor HK₇₅ se refere à influência dos minerais mais duros que afeta a abrasividade da rocha; o valor HK₂₅ é um bom indicador de desgaste por abrasão, onde os minerais de dureza baixa são efetivamente desgastados, enquanto que os minerais mais duros são removidos por escarificação; o valor HK₅₀ representa aproximadamente a dureza média da rocha. Até o presente, não há normas nacionais para realização do ensaio.

Para cada tipo de rocha, são utilizados 3 corpos de prova com dimensões 7x 7x 3cm e designados 1, 2 e 3. De acordo com a metodologia de QUITETE (2002), a dureza Knoop é determinada através de 40 impressões com carga de 1,96N em cada corpo de prova (FIGURA 3.5A).

O comprimento da diagonal é medido, em micrômetros, imediatamente após cada impressão, sob a objetiva de 50X (aumento total de 500X) com o auxílio da escala vernier no sistema da ocular do aparelho (Figura 3.5B). Quando a área de impressão fica danificada, impedindo a identificação das extremidades da diagonal, nova impressão é feita no mesmo grão mineral.

(A)

(B)

FIGURA 3.5 – (A) esquema das quarenta impressões realizadas em cada corpo-de-prova. Os números indicam a ordem em que são feitas as impressões e (B) impressão em cristal de quartzo do sienogranito “Vermelho Brasília”; comprimento da diagonal maior = $55,5\mu\text{m}$. (RIBEIRO, 2005)

Segundo Ribeiro (2005), os resultados dos ensaios de *dureza Knoop* resumidos na Tabela 3.4 mostram que os valores da dureza média das rochas estudadas são similares. Entretanto, o migmatito “Preto Indiano” apresenta elevado coeficiente de heterogeneidade HK_{75}/HK_{25} , resultante de variações mais significativas nas impressões executadas, como reflexo das diferenças na gnaissificação envolvendo os níveis paleossômicos e os leucossômicos.

Tabela 3.4 - Resultados de dureza Knoop das amostras estudadas (RIBEIRO, 2005).

Rocha	Amostra	HK ₂₅	HK ₅₀	HK ₇₅	HK _{média}	HK ₇₅ / HK ₂₅
		(GPa)				
Preto Indiano	PI – 1	3,77	6,76	8,82	6,14	2,34
	PI – 2	1,48	5,78	8,90	5,27	6,03
	PI – 3	0,98	6,87	9,14	5,58	9,29
Vermelho Brasília	VB – 1	5,38	6,56	8,52	6,96	1,58
	VB – 2	5,39	8,74	9,31	7,39	1,73
	VB – 3	4,80	5,95	7,57	5,85	1,58
Verde Labrador	VL – 1	5,86	6,66	7,43	6,58	1,27
	VL – 2	6,08	6,66	7,75	6,97	1,27

3.3.4 Abrasão profunda

O ensaio de abrasão profunda foi originalmente desenvolvido para ladrilhos cerâmicos e mede o comprimento da ranhura provocada por um disco de aço em uma superfície plana de um corpo de prova, utilizando-se a máquina Capon. COMAZZI *et al.* (1995) demonstraram a sua adequabilidade para medidas de abrasão em mármore e granitos e, desde então, tem sido usado para estudos em rochas ornamentais pelo Comitê Europeu de Normatização (GONZÁLEZ-MESONES, 2005).

Para a sua determinação, são utilizados 3 corpos-de-prova de 10x10x2cm de cada granito, obtidos pelo corte de ladrilhos comerciais.

Seguindo-se as diretrizes do Anexo E da norma NBR 13818 (ABNT, 1997a), cada corpo-de-prova é colocado no abrasímetro de modo a tangenciar o disco rotativo (FIGURA 3.6). O reservatório do equipamento é preenchido com alumina (grana 80) e ajustado para permitir um fluxo contínuo durante a rotação do disco.

FIGURA 3.6 – (A) abrasímetro disponibilizado pelo Parque de Alta Tecnologia de São Carlos (Parqtec) e (B) detalhe mostrando o disco rotativo tangenciando o corpo-de-prova (RIBEIRO, 2005).

Após o ensaio, em cada corpo-de-prova, são medidos os comprimentos das cavidades conforme indicado na FIGURA 3.7. É estabelecido que o corpo-de-prova deve apresentar um volume máximo de material removido por abrasão profunda menor ou igual a 175mm^3 .

FIGURA 3.7- (A) Medida do comprimento da cavidade (C_{cav}) e (B) Detalhe mostrando as cavidades impressas (material removido no ensaio) em amostra do migmatito “Preto Indiano”. Cada amostra foi desgastada em dois locais posicionados ortogonalmente (RIBEIRO,2005).

A resistência à abrasão profunda é expressa em volume de material (mm^3), calculado pelo comprimento da cavidade “ C_{cav} ” através da expressão:

$$V = \left(\frac{\pi \cdot \alpha}{180} - \text{sen} \alpha \right) x \left(\frac{h \cdot d^2}{8} \right) \quad (1)$$

sendo:

$$\frac{\text{sen} \alpha}{2} = \frac{C_{cav}}{d} \quad (2)$$

onde: V = volume de material removido (mm³); d = diâmetro do disco rotativo = 200mm ± 0,2; h = espessura do disco = 10mm ± 0,1; α = ângulo correspondente ao arco (ranhura) deixado pelo disco e C_{cav} = comprimento da cavidade (mm).

Os valores médios da resistência à abrasão profunda apresentados na Tabela 3.5 indicam que os volumes de material desgastado do migmatito “Preto Indiano”(128,3mm³), do sienogranito “Vermelho Brasília”(120,6mm³) e do charnockito “Verde Labrador”(92,6mm³), atendem à exigência da norma NBR 13818 (RIBEIRO, 2005).

Tabela 3.5 – Determinações dos valores da resistência à abrasão profunda (RIBEIRO, 2005).

MATERIAL	CP	POSIÇÃO	C _{cav} (mm)		V (mm ³)	
			INDIVIDUAL	MÉDIA	INDIVIDUAL	MÉDIA
Preto Indiano	PI – 1	1	25,6	25,0	138,0	128,3
		2	25,1		128,6	
	PI – 2	1	25,0		127,3	
		2	25,0		126,8	
	PI – 3	1	25,1		129,6	
		2	24,5		119,6	
Vermelho Brasília	VB – 1	1	23,8	24,4	109,4	120,6
		2	21,2		75,9	
	VB – 2	1	24,7		123,5	
		2	26,3		148,9	
	VB – 3	1	25,1		128,6	
		2	25,6		137,7	
Verde Labrador	VL – 1	1	21,6	22,6	80,5	92,6
		2	22,8		95,9	
	VL – 2	1	23,1		99,6	
		2	21,8		82,2	
	VL – 3	1	23,3		102,4	
		2	22,8		95,2	

3.3.5 Coeficiente de atrito dinâmico

Pode ser definido como a relação entre as forças tangencial e vertical que atuam sobre a superfície ensaiada. MENEGAZZO (2001) avaliou o coeficiente de atrito dinâmico de granitos ornamentais, obtendo valores semelhantes ou então ligeiramente inferiores aos verificados em ladrilhos cerâmicos.

Para a sua avaliação, é utilizado um equipamento denominado “scivolosímetro” (FIGURA 3.8A) que dispõe de um deslizador motorizado tipo

“Tortus” que se movimenta com velocidade constante sobre a superfície ensaiada. De acordo com as diretrizes do Anexo N da norma NBR 13818 (ABNT, 1997b), inicialmente é montada uma pista com 40cm de largura por 200 cm de comprimento constituída por cinco ladrilhos. As medições são realizadas com superfícies secas e molhadas. O valor do coeficiente de atrito é classificado segundo a Tabela 3.6.

Com o objetivo de estabelecer as relações entre rugosidade e coeficiente de atrito dinâmico das rochas estudadas é adotada a seguinte rotina de medição: (i) nos materiais homogêneos, é realizada uma leitura na face polida e outra na face bruta (ortogonal às estrias da serragem); (ii) nos materiais heterogêneos, são realizadas duas leituras na face polida, uma paralela e outra perpendicular ao bandamento gnáissico; na face bruta, a direção é perpendicular às estrias da serragem (FIGURA 3.8B) (RIBEIRO, 2005).

Depois de posicionado sobre a superfície da pista, o scivolosímetro percorre uma distância aproximada de 150cm. Para cada ladrilho, são anotadas seis medidas e, então, os valores mínimos e máximos de coeficiente de atrito indicados no equipamento são calculados.

(A)

(B)

FIGURA 3.8 – Disposição dos ladrilhos do migmatito “Preto Indiano” para determinação do coeficiente de atrito dinâmico com “scivolosímetro”. (A) Superfície polida e seca, caminhamento perpendicular ao bandamento gnáissico e (B) superfície bruta e molhada, a seta branca indica o sentido de medição do coeficiente de atrito dinâmico, enquanto que a linha tracejada indica a direção das estrias de rugosidade (RIBEIRO, 2005).

Tabela 3.6 - Classificação do coeficiente de atrito dinâmico, de acordo com as diretrizes do Anexo N da norma NBR 13818 (ABNT, 1997b).

Coeficiente de atrito (adimensional)	Uso
$\mu < 0,4$	Satisfatório para instalações normais
$\mu > 0,4$	Recomendado para uso onde se requer resistência ao escorregamento

Tabela 3.7 – Valores médios de coeficiente de atrito dos granitos em superfície seca e molhada (RIBEIRO,2005).

Rocha	Amostra		Coeficiente de atrito dinâmico (adimensional)	
	Face	Estrutura	Superfície seca	Superfície molhada
Preto Indiano	Polido	Paralela	0,50	0,43
		Perpendicular	0,54	0,45
	Bruta	Perpendicular	0,77	0,74
Vermelho Brasília	Polido	Ausente	0,57	0,49
	Bruta	Ausente	0,97	0,92
Verde Labrador	Polido	Ausente	0,40	0,36
	Bruta	Ausente	0,93	0,82

O charnockito “Verde Labrador” polido apresenta valores inferiores a 0,4, ou seja, segundo a norma NBR 13818 (ABNT, 1997b) é indicado para condições normais de uso. O migmatito “Preto Indiano” e o sienogranito “Vermelho Brasília”, que apresentam valores superiores a 0,4, podem ser utilizados em locais onde se requer certa resistência ao escorregamento (RIBEIRO, 2005).

2.3.6 Resistência ao desgaste abrasivo (AMSLER)

De acordo com a norma NBR 12.042 (ABNT, 1992a), são realizadas determinações da redução da espessura (em mm) de corpos de prova, extraídos de placas polidas, submetidos aos percursos abrasivos de 500m e 1000m na máquina Amsler.

Tabela 3.8 - Resultados dos ensaios de resistência ao desgaste abrasivo (RIBEIRO, 2005).

Material	Amostra	CP	Desgaste (em mm) correspondente ao percurso de:			
			500m		1000m	
			Individual	Média	Individual	Média
Preto Indiano	PI – 1	1	0,49	0,49	0,92	0,98
		2	0,49		1,04	
	PI – 2	1	0,49	0,50	0,99	1,08
		2	0,51		1,17	
	PI – 3	1	0,64	0,55	1,22	1,15
		2	0,46		1,08	
Vermelho Brasília	VB – 1	1	0,25	0,26	0,55	0,54
		2	0,26		0,53	
	VB – 2	1	0,21	0,22	0,46	0,49
		2	0,22		0,51	
	VB – 3	1	0,23	0,24	0,48	0,50
		2	0,25		0,52	
Verde Labrador	VL – 1	1	0,38	0,37	0,84	0,84
		2	0,35		0,84	
	VL – 2	1	0,38	0,39	0,87	0,89
		2	0,40		0,90	
	VL – 3	1	0,37	0,38	0,80	0,84
		2	0,38		0,87	

Legenda: CP – corpo de prova.

3.3.7 Resistência à compressão uniaxial

É determinada segundo a norma NBR 12767 (ABNT, 1992f) em uma prensa hidráulica servo-controlada com capacidade de 200t.

Em relação à rocha movimentada, foram coletadas amostras em duas direções (FIGURA 3.9): uma paralela ao plano de serragem (amostra **F**) e outra perpendicular a este plano (amostra **L**). Tais direções não refletem a estruturação da rocha, mas sim o plano escolhido para a transformação em ladrilhos.

FIGURA 3.9 – Bloco esquemático de rocha movimentada (sem escala), orientado de acordo com a programação de serragem. Observar as direções de amostragem dos corpos de prova para determinação da resistência à compressão: **F** – frontal e **L** – lateral (RIBEIRO, 2005).

Os resultados da tensão de ruptura na compressão (C , em MPa), determinada pela relação:

$$C = \frac{W}{A} \quad (3)$$

onde: W – força de ruptura, em kN e A – área de carga do corpo de prova, em m^2 .

Tabela 3.9 – Resultados dos ensaios de compressão uniaxial (RIBEIRO, 2005)

ROCHA	CP	ÁREA (cm^2)	F (kN)	RCU (MPa)	
				Individual	Média
Preto Indiano	PI1 – L	40,039	454,29	113,46	108,71
	PI2 – L	40,881	419,95	102,73	
	PI3 – L	40,032	440,09	109,94	
	PI1 – F	41,923	436,48	104,11	104,47
	PI2 – F	41,116	431,03	104,83	
	PI3 – F	41,032	581,96	141,83**	
Vermelho Brasília	VB – 1	40,473	865,63	213,88	209,86
	VB – 2	41,418	849,20	205,03	
	VB – 3	40,488	852,91	210,66	
Verde Labrador	VL – 1	39,782	750,78	188,72	183,176
	VL – 2	40,772	734,71	180,20	
	VL – 3	40,896	738,60	180,60	

CP – corpo de prova; F – Força de Ruptura; RCU – Resistência à Compressão Uniaxial; ** Este corpo de prova era constituído quase que totalmente por quartzo (banda félsica) e, por isso, não foi considerado na média.

3.3.8 Coeficiente de dilatação térmica linear

Este ensaio é realizado seguindo-se as diretrizes da norma NBR 12765 (ABNT, 1992d). As medições foram feitas nos mesmos corpos de prova submetidos aos ensaios de velocidade de propagação de ondas longitudinais. A Tabela 3.10 apresenta os resultados das determinações do coeficiente de dilatação linear das rochas estudadas.

Tabela 3.10 - Resultados do ensaio de dilatação térmica linear; de acordo com as diretrizes da norma NBR 12765 (ABNT, 1992d) (RIBEIRO, 2005).

Rocha	CP	L ₀ (mm)	Temperatura (°C)		Dilatação (mm)		CDTL (10 ⁻³ mm/m °C)
			Faixa Variação	ΔT	Faixa Variação	ΔL	
Preto Indiano	S1	61,91	0,0 x 50,2	50,3	0,999 x 1,026	0,027	β ₁ = 8,69
			50,2 x 0,2	50,0	1,0254 x 1,000	0,025	β ₂ = 8,20
		Média					CDTL = 8,45
	S2	63,02	-0,1 x 50,6	50,7	1,001 x 1,030	0,029	β ₁ = 9,08
			49,9 x -0,1	50,0	1,030 x 1,001	0,029	β ₂ = 9,20
		Média					CDTL = 9,14
	F1	63,48	0,0 x 50,3	50,3	1,000 x 1,024	0,024	β ₁ = 7,5
			50,2 x 0,0	50,2	1,024 x 0,999	0,025	β ₂ = 7,8
		Média					CDTL = 7,65
	F2	63,25	0,0 x 50,2	50,2	1,000 x 1,020	0,020	β ₁ = 6,3
			50,2 x 0,1	50,2	1,020 x 0,998	0,022	β ₂ = 6,92
		Média					CDTL = 6,61
Vermelho Brasília	VB1	62,93	0,0 x 50,0	50,0	-0,003 x 0,014	0,017	β ₁ = 5,4
			50,3 x -0,1	50,4	0,014 x -0,005	0,019	β ₂ = 6,0
		Média					CDTL = 5,7
	VB2	62,98	0,0 x 50,0	50,0	1,000 x 1,017	0,017	β ₁ = 5,4
			50,1 x 0,2	49,9	1,017 x 1,000	0,017	β ₂ = 5,4
		Média					CDTL = 5,4
Verde Labrador	VL1	61,14	0,0 x 50,4	50,4	1,000 x 1,024	0,024	β ₁ = 7,79
			50,4 x 0,0	50,4	1,024 x 1,000	0,024	β ₂ = 7,79
		Média					CDTL = 7,79
	VL2	61,08	0,0 x 50,4	50,2	0,997 x 1,019	0,022	β ₁ = 7,15
			50,4 x 0,0	50,2	1,019 x 0,999	0,020	β ₂ = 6,49
		Média					CDTL = 6,82

LEGENDA: CDTL - coeficiente de dilatação térmica linear.

3.3.9 Resistência à tração na flexão

Também denominada flexão por carregamento em três pontos, ou ainda, módulo de ruptura, é regida pela norma NBR 12763 (ABNT, 1992b) e determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores.

Para cada rocha, foram ensaiados 3 corpos de prova, no estado seco. No caso do migmatito “Preto Indiano”, estes ensaios foram realizados em amostras retiradas nas mesmas direções (F e S) dos corpos de prova destinados aos ensaios de velocidade de propagação de ondas longitudinais e de dilatação térmica linear (FIGURA 3.10).

FIGURA 3.10 – Bloco esquemático de uma rocha movimentada, orientado de acordo com a programação de serragem. Observar as direções de amostragem: F – frontal e S – superior (RIBEIRO, 2005).

Tabela 3.11 - Determinação dos valores da resistência de tração na flexão (RIBEIRO, 2005).

Rocha	CP	Força de Ruptura (N)	Distância entre linhas (cm)	Largura CP (cm)	Altura CP (cm)	RTF (MPa)
Preto Indiano	PI-F	6.408	18,00	9,90	4,75	7,746
	PI-S	5.803	18,00	9,90	4,65	7,319
Vermelho Brasília	VB	9.390	18,00	9,90	4,65	11,844
Verde Labrador	VL	9.512	18,00	9,90	4,80	11,259

LEGENDA: CP – corpo de prova; RTF - resistência à tração na flexão

3.3.10 Resistência ao impacto de corpo duro

Com base na norma NBR 12764 (ABNT, 1992c), o ensaio foi feito em cinco ladrilhos 20 x 20 x 3cm para cada tipo de rocha. A Tabela 3.12 apresenta os resultados destas determinações.

Tabela 3.12 - Resultados da determinação da resistência ao impacto de corpo duro (RIBEIRO, 2005).

ROCHA	CORPO DE PROVA	Ruptura (m)	
		Individual	Média
Preto Indiano	1	0,75	0,74
	2	0,75	
	3	0,80	
	4	0,70	
	5	0,70	
Vermelho Brasília	1	0,55	0,49
	2	0,45	
	3	0,45	
	4	0,50	
	5	0,50	
Verde Labrador	1	0,45	0,44
	2	0,45	
	3	0,45	
	4	0,40	
	5	0,45	

3.3.11 Velocidade de propagação de ondas (Vp)

A determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (V_p), baseada na norma D 2845 (ASTM, 1995) foi efetuada em 3 corpos

de prova cilíndricos, com diâmetro aproximado de 3cm e relação diâmetro/altura de 1:2,5 , sempre na condição seca. No caso do migmatito “Preto Indiano”, estes ensaios foram determinados em amostras obtidas em duas direções (**F** e **S**) e que estão contidas no plano escolhido para a transformação em ladrilhos orientação esta, semelhante à mostrada na FIGURA 3.10.

Tabela 3.13 - Resultados da determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas (RIBEIRO, 2005).

Material	Corpo-de-prova	Vp (m/s)
Preto Indiano	PI1 – S	4.371
	PI2 – S	4.316
	PI3 – S	4.011
	Média	4.233
	PI1 – F	5.078
	PI2 – F	5.101
	PI3 – F	5.098
	Média	5.092
	Média S/F	4.663
Vermelho Brasília	VB – 1	4.916
	VB – 2	5.038
	VB – 3	5.194
	Média	5.049
Verde Labrador	VL – 1	3.510
	VL – 2	3.531
	VL – 3	3.555
	Média	3.532

3.3.12 Rugosidade

Para relacionar a rugosidade da placa de “granito” com a aderência é necessário estudar a rugosidade das superfícies das placas que serão fixadas. Um método simples de avaliar a rugosidade de uma superfície é deslizar o dedo sobre a mesma.

No caso dos perfilômetros tradicionais um apalpador move-se ao longo de uma dada direção sobre a superfície da placa, sendo medidos seu deslocamento e a altura da superfície relativa ao perfil. Com base neste princípio, RENGERS (1970) desenvolveu o primeiro perfilômetro para o registro mecânico de rugosidade. A partir da década de 80, o avanço tecnológico dos computadores possibilitou o desenvolvimento de sistemas mais rápidos e sofisticados.

Classificação dos principais métodos disponíveis atualmente para medir a rugosidade é apresentada na figura 3.11 (GRASSELLI, 2001).

FIGURA 3.11 – Métodos disponíveis de medição da rugosidade (GRASSELLI, 2001).

3.3.12.1 Rugosímetro Portátil (ARC)

Foi utilizado para medir a rugosidade de chapas obtidas pelo desdobramento de blocos de rochas um perfilômetro portátil (“Avaliador de Rugosidade de Chapas – ARC”), projetado e construído por RIBEIRO (2005) do tipo com contato (Perfilômetro com stylus tipo agulha).

O “ARC” é formado de: (1) um corpo de aço; (2) pés ajustáveis por quatro parafusos para nivelamento do sistema; (3) carro de medição com um defletômetro digital (precisão de $1\mu\text{m}$) acionado por um sistema de braços ortogonais interligados, em que um deles é fixada a ponta de vídea que toca a superfície da chapa. O carro de medição é deslocado por meio de uma rosca acionada manualmente (4) contando-se os giros em um cilindro graduado com precisão de $0,25\text{mm}$. Por meio de conexão (5) e uma interface (6) as medidas do defletômetro são enviadas para um computador portátil (7) através de uma porta serial (FIGURA 3.12).

FIGURA 3.12 - “Avaliador de Rugosidade de Chapas – ARC” (RIBEIRO, 2005)

A amplitude máxima da rugosidade (R_t), representa a altura máxima do pico-vale do perfil ao longo do comprimento avaliado, sem referência ao comprimento das amostras.

Tabela 3.14 - Valores da Amplitude máxima da Rugosidade das chapas dos granitos selecionados (RIBEIRO, 2005)

Rocha	Petrografia	R_t
Preto Indiano	Migmatito	0,3
Verde Labrador	Charnoquito	0,35
Vermelho Brasília	Sienogranito	0,45

3.4 Problemas com a utilização de rochas como revestimento com argamassas

No Brasil as técnicas de aplicação de rochas ornamentais para revestimento não acompanharam o desenvolvimento do setor produtivo. Os sistemas de revestimentos com rochas fixadas com argamassa ainda são baseados no empirismo, não existindo uma metodologia para a especificação tanto da rocha, quanto dos materiais utilizados na fixação.

Ainda que muito utilizados em edifícios, diversos tipos de patologias ocorrem nos revestimentos com placas de rocha, desde simples manchas que interferem apenas na estética, até mesmo fissuras, quebras e destacamentos, que causam grandes prejuízos e comprometem toda a sua funcionalidade e segurança, devido à falta de conhecimento na especificação das argamassas e de erros no procedimento de execução.

Tanto para pisos como para paredes, é possível apontar que as principais causas dos problemas patológicos que são: a má aderência entre a placa e a argamassa de assentamento ou desta com o substrato, a deterioração da argamassa de assentamento ou de rejuntamento, a deterioração de produtos

“impermeabilizantes”, os procedimentos ou produtos de limpeza e as alterações na própria rocha.

Percebe-se que essas causas estão ligadas aos diferentes insumos utilizados para a produção de revestimentos aderentes, seja por inadequadas análises e especificações na etapa de projeto, seja por falhas nos procedimentos de assentamento e limpeza durante a execução e manutenção.

Para resolver esses problemas é necessário haver estudos sobre os métodos de fixação e os materiais utilizados.

3.5 Tipos de assentamento de placas com argamassa

Em edificações as argamassas podem ser utilizadas para revestimentos, placas cerâmicas e ladrilhos de rocha (mármore, granito). Existem vários trabalhos, normas e especificações para a fixação de cerâmicas, tanto para o método de fixação como para os materiais utilizados. No entanto, quando se trata de ladrilhos de rocha, pouco se sabe. Existem apenas alguns trabalhos sobre o assunto e não está normatizado.

As placas cerâmicas podem ser assentadas com argamassas comuns, compostas de cimento, areia e cal, feitas em canteiros de obras ou argamassas colantes industrializadas. Estas últimas são produtos práticos, seguros e de composição constantes e por isso muito superior à argamassa preparada na obra. Para cada tipo de obra existe um tipo de argamassa. Classificação e siglas apresentadas a seguir, segunda a NBR 14081:

ACI – Interior: Argamassa com características de resistência às solicitações mecânicas e termoigrométricas típicas de revestimentos internos, com exceção daqueles aplicados em saunas, churrasqueiras, estufas e outros revestimentos especiais. O tempo em aberto deve ser no mínimo de 15 minutos;

ACII – Exterior: Argamassas com características de adesividade que permitem absorver os esforços existentes em revestimentos de pisos e paredes

externas, decorrentes de ciclos de flutuação térmica e higrométrica, da ação de chuva e/ou vento, da ação de cargas como as decorrentes do movimento de pedestres, em áreas públicas, e de máquinas ou equipamentos leves sobre rodízios não metálicos. O tempo em aberto deve ser no mínimo de 20 minutos;

ACIII – Alta Resistência: Argamassa que apresenta propriedades de modo a resistir a altas tensões de cisalhamento nas interfaces substrato/adesivo e placas cerâmicas/adesivo, juntamente com uma aderência superior entre as interfaces em relação às argamassas dos tipos I e II. São especialmente indicadas para usos em saunas, piscinas, estufas e ambientes similares. O tempo em aberto deve ser no mínimo de 20 minutos;

ACIIIE – Especial: Semelhantes ao tipo III, porém com o tempo em aberto estendido. O tempo em aberto deve ser no mínimo de 30 minutos.

Para assentamento de ladrilhos de rocha as argamassas mais encontradas nos canteiros de obras são as argamassas comuns:

- Em pisos, as denominadas por “farofas”, por possuírem uma consistência semi-seca e serem confeccionadas de maneira artesanal, à base de cimento e areia;
- Nas paredes, são argamassas mistas, produzidas à base de cimento, cal e areia, com uma consistência plástica e também são confeccionadas artesanalmente.

As argamassas comuns também podem ser usadas em fachadas com altura máxima de 15 m do piso, quando na parede for fixada uma tela de aço eletrossoldada com espaçadores, no verso da placa de rocha feito ranhuras onde são colocados ganchos de aço e passado uma fina camada de argamassa, essas placas enganchadas na tela de aço e o espaço entre a parede e a placa preenchido com argamassa.

Existe também no mercado um tipo de argamassa colante específica para granito que serve para assentar ladrilhos de granitos de até 40 x 40 cm, com espessura padronizada, em pisos e paredes, saunas úmidas e pisos aquecidos até 70°C, áreas de grande movimentação de pedestres e fachadas. No assentamento em fachadas a altura máxima permitida é de 3m do piso.

Quando utilizada em pisos há necessidade de uma etapa de regularização da base, por meio de contrapiso ou emboço, e apresenta uma espessura inferior à 10mm.

As argamassas colantes estão substituindo as argamassas convencionais, já que oferecem maior qualidade, rapidez e homogeneidade no processo de fixação das placas, razões pelas quais, torna-se importante seus estudos.

3.5.1 Argamassa colante

De acordo com FIORITO (1994), a argamassa colante é uma mistura constituída de aglomerantes hidráulicos, agregados minerais e aditivos. Quando preparada em obra, com adição exclusiva de água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente empregada no assentamento de peças cerâmicas para revestimento ou pedras de revestimento.

Os fatores que influenciam o desempenho das argamassas, em maneira geral, são diversos e difíceis de serem definidos e controlados.

As propriedades das argamassas são modificadas pela adequada incorporação de aditivos ou adições. As propriedades reológicas e mecânicas dos concretos e argamassas variam de acordo com os materiais constituintes, procedimento de execução e condições ambientais no momento do preparo, além da cura.

Fatores como a composição do cimento (teor de C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF), quantidade e tipo de aditivo (e impurezas), determinam propriedades mecânicas tais como viscosidade, tempo em aberto, resistência de aderência, deslizamento e resistência mecânica à flexão.

A adesão deve ser tratada microscopicamente como um fenômeno físico-químico interfacial, considerando-se os seguintes fatores (YOSOMIYA et al., 1990):

- **Ligamento mecânico**, como o efeito de ancoragem. Neste mecanismo, é imprescindível aumentar a área molhada, ou seja, aumentar a área de contato.

- **Ligamento por interação física**, através das forças intermoleculares (Van der Waals).

- **Ligamento por interação química**, onde as ligações por pontes de hidrogênio, ligações covalentes são consideradas.

Para garantir a fixação por um longo período, a argamassa deve estar presente nos poros do tardo cerâmico e nos poros do substrato, quando se tratar de revestimentos porosos (absorção de água maior ou igual a 4%). Para revestimentos com pouca ou nenhuma absorção de água (0 a 3% - granitos, mármore, ardósias e porcelanatos) a aderência mecânica é restringida. A fixação é física, que está intimamente relacionada com a área de contato superficial entre os materiais aderidos e pela hidratação do cimento, e também pode ser química, que se dá por ação de forças eletrostáticas entre as moléculas do adesivo e as moléculas dos materiais a serem unidos (YOSOMIYA et al., 1990).

É importante conhecer as propriedades dos materiais, para saber como a argamassa se comporta.

3.5.2 Cimento

Para entender as propriedades do Cimento Portland, é necessário conhecer o processo de fabricação, sua composição química e mineralógica.

Segundo METHA (1994), se trata de uma mistura bem proporcionada de matérias-primas contendo óxidos (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) que constituem o clínquer. O clínquer tem como principais matérias-primas o calcário e a argila, obtidos de jazidas situadas nas proximidades das fábricas de cimento.

A rocha calcária é inicialmente britada, depois moída e em seguida misturada com a argila. Esta mistura passa através de um forno giratório de grande diâmetro e comprimento, cuja temperatura pode chegar a 1.500°C ; após este processo, é obtido o *clínquer*.

As reações químicas que ocorrem no sistema de fornos do cimento podem aproximadamente ser representadas como as seguintes (METHA, op. cit.):

A operação final no processo de produção do cimento consiste na moagem do *clínquer* em partículas menores que 75 µm de diâmetro. Todos os compostos presentes no *clínquer* são anidros, porém, reagem quando em contato com a água e formam compostos hidratados estáveis, resultantes de reações exotérmicas. Portanto, o cimento Portland é constituído por vários compostos (silicatos e aluminatos de cálcio), dos quais são os mais importantes:

- Silicato tricálcico – $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (C_3S), teor de 42% a 60%;
- Silicato dicálcico – $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (C_2S), 10% a 35%;
- Aluminato tricálcico – $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A), 6% a 13%;
- Ferro aluminato tetracálcico – $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF), 5% a 12%.

O cimento comercial que desenvolve maior resistência inicial (NBR 5733 e EB-2) é o cimento CPV-ARI: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

As propriedades do cimento ARI, principalmente a elevada resistência inicial e o grau de finura indicam que ele é o mais indicado na preparação de argamassas colantes. Alguns profissionais do ramo indicam, em consultas verbais, que o ARI-RS (cimento ARI que contém em torno de 34% de escórias) possivelmente deva apresentar um melhor desempenho devido às reações pozolânicas.

Mas o cimento CPV – ARI apresenta um custo elevado que acaba refletindo no custo final do produto. Buscando equilibrar a razão custo/benefício, os fabricantes de argamassas optam por um cimento menos nobre que o ARI, como a classe CPII.

3.5.2.1 Hidratação do cimento Portland

A hidratação do cimento Portland consiste num mecanismo onde diferentes reações químicas são desencadeadas simultaneamente, mas com velocidades diferentes independentes umas das outras. O estudo sobre a hidratação do cimento

Portland chamou a atenção de pesquisadores há algumas décadas, até os dias atuais, sendo que ainda existem lacunas à serem preenchidas dada a sua complexidade. Le Chatelier foi o primeiro pesquisador a propor o mecanismo pelo qual a pasta de cimento se hidrata, havendo primeiramente o fenômeno físico de cristalização dos hidratos, e logo após, o entrelaçamento de fibras cristalinas.

Basicamente, a hidratação do cimento Portland é explicada pela literatura segundo dois mecanismos. A dissolução-precipitação, onde ocorre a dissolução de compostos anidros em seus constituintes iônicos, formando hidratos na solução, e com possibilidades de precipitação de hidratos provenientes da solução supersaturada.

O segundo mecanismo é chamado topoquímico ou hidratação no estado sólido do cimento, onde as reações químicas ocorrem diretamente na superfície dos componentes do cimento anidro sem entrarem em solução. O primeiro mecanismo citado é dominante nas fases iniciais; já nas posteriores ocorre a hidratação da partícula residual do cimento quando a mobilidade iônica na solução é restrita (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

3.5.3 Superplastificante

Os aditivos superplastificantes melhoram a trabalhabilidade das argamassas e concretos no estado fresco, com a finalidade de reduzir a relação água/aglomerante. A ação dos superplastificantes às argamassas é dependente de diversos fatores: natureza química e quantidade do superplastificante, distribuição do tamanho de partículas e a mineralogia do cimento, a proporção água/cimento, o tempo de cura e o procedimento de mistura. Os tipos de superplastificantes comerciais são (AITCIN, 2000):

- Sais sulfonados de policondensados de naftaleno e formaldeído, usualmente denominados polinaftalenos sulfonados ou mais simplesmente plastificantes de naftaleno;

- Sais sulfonados de policondensados de melanina e formadeído, usualmente denominados polimelaninas sulfonadas ou mais simplesmente superplastificantes de melanina;

- Lignossulfonatos com teores muito baixo de açúcar e de tensoativos;

- Poliacrilatos.

A interação entre o cimento e aditivos superplastificantes é objeto de estudo de diversas pesquisas, podendo-se mencionar que (COLLEPARDI, 1998; PINTO & HOVER, 1999):

- As propriedades reológicas de pastas de cimento preparadas com adição de diferentes aditivos a um só tipo de cimento variam de acordo com o tipo de aditivo;

- A consistência da pasta de cimento preparada com mesmo aditivo a diferentes tipos de cimento varia de acordo com o tipo de cimento;

- A interação entre cimento e aditivo não afeta somente a fluidez da pasta de cimento, mas pode acelerar ou retardar a cura da pasta.

O mecanismo de ação dos superplastificantes baseia-se na existência de forças de repulsão eletrostáticas, que causam dispersão entre as partículas de cimento pela mudança de polaridade na superfície das mesmas. Os superplastificantes também contribuem para diminuir a tensão superficial da água e produzir filmes lubrificantes na superfície das partículas.

3.5.4 Efeito da adição de látices poliméricos às argamassas

Em material poroso ocorre a aderência mecânica resultante da penetração de pasta de cimento nos poros da placas que, após o endurecimento, são criados pontos de embricamento mecânico, sendo a porosidade superficial do tardo das placas essencial para promover a aderência.

A baixíssima porosidade dos granitos restringe a penetração de pasta de cimento para o mecanismo de aderência mecânica, o que viabiliza a adição de

polímeros que proporcionem propriedades de aderência química, flexibilidade e capacidade de retenção de água.

Segundo Ulrich (1993), os polímeros acrílicos são derivados dos ácidos, $\text{CH}_2=\text{CHC}(\text{O})\text{OR}$, onde a natureza do grupo R determina as propriedades dos polímeros. A maioria dos polímeros acrílicos produzidos comercialmente é copolímero de um monômero acrílico com um ou mais monômeros diferentes.

O ácido acrílico, líquido incolor, solúvel em água, capaz de reagir com diversos compostos orgânicos e inorgânicos para a formação de um copolímero, tais como ésteres acrílicos, ésteres metacrílicos, ésteres de ácido maleico, vinil-acetato, estireno, butadieno e etileno. Os copolímeros acrílicos são empregados devido a suas características de aderência, durabilidade e resistência química (ULRICH,1993).

As argamassas modificadas com polímero têm sido objeto de estudo em diversas pesquisas no Brasil e em outros países, constatando-se que estas adições podem melhorar significativamente as propriedades de compósitos de cimento Portland. Os polímeros são adicionados na forma de dispersão (látex ou emulsão) às argamassas de cimento Portland durante a mistura, sendo os seguintes polímeros os mais empregados (OHAMA, 1997):

- Polímeros em dispersão: látex de estireno butadieno (SBR), etileno-vinil acetato (EVA) e emulsão de ester poliacrílico no Japão e Europa; látex de estireno butadieno (SBR), emulsão poliacrílica e resina epóxi nos Estados Unidos.

O látex consiste na dispersão de partículas de polímero orgânico em água formando um fluído leitoso, geralmente branco, sendo as seguintes propriedades as mais importantes para a adequada aplicação: teor de sólidos, pH, viscosidade, tipo de estabilizador e temperatura mínima de formação de filme (LAVELLE, 1988).

Os polímeros acrílicos empregados com cimento Portland são compostos principalmente por poliacrilatos e polimetacrilatos, resultantes da polimerização de derivados de ácidos acrílicos e metacrílicos (LAVELLE,op. cit.). Em matrizes de cimento fresco, as partículas de polímeros agem como lubrificantes melhorando a trabalhabilidade, e diminuindo a proporção água/cimento.

Argamassas com adições de polímero apresentam boas propriedades no estado fresco, tais como aumento na incorporação de ar resultando na melhora da trabalhabilidade e capacidade de retenção de água, favorecidas pela formação de filme ou membrana polimérica que restringe a perda de água por evaporação para o

ambiente e por absorção pelo substrato, aumentando o tempo de hidratação do cimento (OHAMA, 1998).

O látex acrílico adicionado às argamassas proporciona o aumento da resistência à flexão, resistência à tração, resistência de aderência, resistência ao impacto, impermeabilidade, excelente durabilidade em ambientes externos e manutenção das propriedades mesmo quando expostas à radiação ultravioleta, à chuva e umidade. Portanto, estas argamassas são indicadas para revestimentos externos e assentamento de placas (OHAMA, 1997).

A resistência de aderência de argamassas modificadas com polímeros é influenciada significativamente pela proporção de polímero/cimento, pela condição de cura e pelas propriedades do substrato .

3.5.5 Polímero acrílico

O látex acrílico utilizado nesta pesquisa apresenta-se na forma de emulsão, aniônica isento de plastificante, formulado a partir de um copolímero de éster de ácido acrílico e estireno. O filme formado a partir da sua polimerização resulta em uma membrana semi-rígida, adesiva e impermeável. É empregado para a modificação de cimentos e gessos no preparo de argamassas e concretos. Sua incorporação às argamassas e concretos promove excelente incremento a resistência e abrasão, além de conferir elevados valores de aderência.

Características fornecidas pelo fabricante:

- Natureza: dispersão aquosa aniônica de um copolímero de butilacrilato e estireno;
- Teor de sólidos: 49,0 a 51,0 %;
- Densidade: 1,02 g/cm³;
- pH: 4,5 a 6,5
- Temperatura mínima de formação do filme: 20°C;
- Tamanho médio de partículas: 0,1µm;

- Propriedades do filme: aspecto límpido e transparente;
- Estabilidade ao envelhecimento: boa;
- Estabilidade à luz: boa

3.5.6 Sílica ativa

A sílica ativa empregada na construção civil no Brasil consiste no resíduo da Indústria para obtenção do silício metálico e ligas à base de silício, sendo conhecida por várias denominações: sílica de fumaça, sílica de fumaça condensada, pó de ferro-silício, sílica amorfa, sílica ativa e microssílica. Algumas de suas utilizações finais incluem: a aplicação em cimento e concreto; em refratários, fertilizantes, entre outros.

A sílica ativa (não cristalina) é um subproduto principalmente da redução de silício ou de ligas de ferro-silício a partir de quartzo de elevada pureza e carvão em forno elétrico de eletrodos de arco submerso. É considerada uma pozolana de alta reatividade com os compostos do cimento Portland, e tem sido objeto de diversas pesquisas sobre concreto de alto desempenho e argamassas para reparos de estruturas danificadas. As características físicas e químicas da microssílica dependem do tipo de liga de silício produzida, tipo de forno, e dos teores de elementos químicos encontrados na matéria-prima, assim, estas propriedades influenciam no seu desempenho em matrizes de cimento.

Segundo KHAYAT & AİTCIN (1991), as principais características da sílica ativa são:

- Consiste em partículas muito finas com diâmetro 100 vezes menor que o cimento Portland, isto é, o diâmetro das partículas varia entre 0,01 a 1 μm ;
- Material composto de partículas esféricas resultantes da condensação do vapor de silício;
- Material amorfo composto de partículas vítreas resultantes da rápida condensação de gás SiO_2 , o qual sofre oxidação quando em contato com o ar.

Dados da literatura especificam que a área específica da microsilica varia entre 13.000 a 30.000 m²/kg (medida pela técnica de adsorção de nitrogênio), com a média em torno de 20.000 m²/kg. A massa específica aparente da microsilica está em torno de 220 kg/m³ (MALHOTRA et al., 1992).

3.6 Resistência de Aderência

O ensaio de resistência de aderência à tração realizado nesse trabalho está em conformidade com a NBR 14084 (ABNT, 1998), que especifica um método de ensaio para a determinação da resistência de aderência para argamassas colantes industrializadas para cerâmicas, com algumas adaptações.

A aplicação das argamassas à superfície do substrato segue os procedimentos descritos na NBR 14082 (ABNT, 1998).

De acordo com a NBR 14084 (ABNT, 1998), o conjunto substrato padrão-argamassa-placa são submetidos às condições de cura. A necessidade de submetê-lo a determinadas condições de cura é definida em função do tipo de argamassa colante.

Na cura normal, o conjunto substrato padrão – argamassa – placa de rocha deve ser submetido, durante 28 dias, as condições normais especificadas por norma (temperatura de 23°C e umidade relativa do ar de 65%).

A cura com imersão em água consiste em submeter o conjunto durante sete dias às condições normais, a seguir deve ser imerso em água durante 20 dias. No final do período, deve-se retirar o conjunto da água.

Na cura com aquecimento em estufa, o conjunto é submetido, durante 14 dias as condições normais e a seguir é colocado em uma estufa por 13 dias.

Tabela 3.15 – Resistência de aderência à tração (NBR 14084) para cerâmica.

Tipo da argamassa	ACI	ACII	ACIII
cura normal	≥0,5 MPa	≥0,5 MPa	≥1,0 MPa
cura submersa	≥0,5 MPa	≥0,5 MPa	≥1,0 MPa
cura em estufa	---	≥0,5 MPa	≥1,0 MPa

CAPÍTULO 4 – Materiais

4.1. Argamassas

Para a realização da presente pesquisa, foram selecionadas três argamassas:

- Sem aditivos: (1) a *Argamassa Comum*, traço 1:3 que é a mais utilizada em assentamento de ladrilhos de rocha;
- Com aditivos: (2) a Argamassa colante Industrializada para granitos, apresentada no trabalho como *Argamassa Industrializada* e (3) a argamassa colante desenvolvida para fixação de porcelanato por Almeida (2005), no Laboratório de Construção Civil, à qual se deu a designação de *Argamassa A4* que será assim chamada no decorrer da pesquisa.

4.1.1 *Argamassa Comum*

É a mais comumente utilizada nos canteiros de obras, possui uma consistência semi-seca sendo confeccionada de maneira artesanal, à base de cimento e areia (1:3) e com relação $a/c = 0,8$.

4.1.2 Argamassa Industrializada

É específica para granito e como sua composição não era conhecida foi solicitada uma análise para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), cujos resultados se encontram nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3.

Tabela 4.1 - Resultados de análise química

Determinações	Resultados(%)
Umidade	0,2
Perda ao fogo	30,4
Resíduo insolúvel	16,5
Anidrido silícico (SiO ₂)	3,47
Óxido de ferro e alumínio (R ₂ O ₃)	0,99
Óxido de cálcio (CaO)	36,3
Óxido de magnésio (MgO)	12,1
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	0,72
Anidrido carbônico (CO ₂)	30,1

A partir destes resultados, foram calculados seus constituintes percentuais, traço e relação aglomerante/agregado, em massa, considerando-se os seguintes parâmetros:

- A fração agregado é constituída por agregado carbonático dolomítico [CaMg(CO₃)₂] e calcítico (CaCO₃) – calculado estequiometricamente a partir do teor total de anidrido carbônico (CO₂) – e por agregado silicoso – correspondente ao resíduo insolúvel;

- O teor de cimento foi calculado de duas maneiras: a partir do anidrido silícico (SiO₂) da argamassa – adotando-se como parâmetro de referência um cimento branco com teor de SiO₂ de 20,4% - e por diferença de 100% em relação ao teor de agregado (calculado como indicado acima).

Tabela 4.2 - Resultados de reconstituição do traço.

Parâmetros calculados	Cimento	Agregado	Rel. Aglo/Agre
Constituintes (%)	18,8	81,2	1:4,3
Traço, em massa	1	4,3	

Tabela 4.3 - Composição granulométrica.

Peneiras		Material retido (%)	
Designação	Abertura (mm)	Individual	Acumulado
1/4 in	6,3	0	0
n° 04	4,8	0	0
n° 08	2,4	0	0
n°16	1,2	0	0
n°30	0,6	0	0
n°50	0,3	13	13
n°100	0,15	27	40
< n°100	< 0,15	61	100
Totais		101	100
Módulo de finura			0,52
Dimensão máxima característica (mm)			0,6

4.1.3 Argamassa A4

Foi utilizada na presente pesquisa uma argamassa desenvolvida para assentamento de porcelanato, por Almeida (2005). A razão desta escolha se deve ao fato de que o porcelanato e o granito possuem uma característica em comum, a baixíssima porosidade (< 3%), que restringe a aderência “mecânica”, sendo ela química e física.

Segundo Almeida (op cit) o mecanismo de aderência entre a argamassa e o porcelanato é o resultado de por forças entre moléculas (ligação secundaria de *van der Waals*) entre filme polimérico e compostos hidratados. Além disso, ocorre o mecanismo de aderência por interação física. A melhora da aderência é promovida pela rugosidade da superfície que está em contato (tardoz) com a argamassa altamente densificada e não foi possível identificar ligações químicas entre argamassa e porcelanato.

A composição utilizada é de 5% de sílica, 20% de látex, relação at/c = 0,4 (at – água total, incluindo a água proveniente do látex polimérico), a proporção cimento:areia é 1:1,5 em massa e 1% de superplastificante em relação à massa do cimento.

4.2. Ladrilhos de Rochas

É de suma importância que se considere a rocha “realmente como um produto natural”, lembrando que na sua gênese não existe controle de qualidade. Trata-se, portanto, de um material com diversidade em suas características, que devem ser investigadas.

A caracterização tecnológica é feita por meio de ensaios que determinam as propriedades físicas e mecânicas e objetivam balizar os campos de aplicação dos materiais conforme padrões normatizados.

São realizados os seguintes ensaios rotineiros para utilização das rochas na forma de placas: análise petrográfica, desgaste abrasivo (Amsler), resistência à compressão uniaxial, índices físicos, velocidade de propagação de ondas, coeficiente de dilatação térmica linear, tração na flexão e resistência ao impacto de corpo duro (Tabela 4.5).

Três outros ensaios, não rotineiros, que estão ligados a rugosidade, foram também executados: abrasão profunda, microdureza Knoop e coeficiente de atrito dinâmico (Tabela 4.4).

No presente trabalho, foram utilizados os valores obtidos por Ribeiro (2005), uma das razões da escolha destes “granitos”, como já apontamos inicialmente no Capítulo 3.

Tabela 4.4 - Sumário dos valores médios dos ensaios não rotineiros (RIBEIRO, 2005).

Rocha	CP	HK _{média} (GPa)	AP (mm ³)	CAD
Preto Indiano	L	5.66	128,3	0,74
	F			
	S			
Vermelho Brasília	X	6.73	120,6	0,92
Verde Labrador	X	6.78	92,6	0,82

CP: corpo de prova; L: lateral; F: frontal; S: superior; X: materiais homogêneos; HK_{média} – dureza Knoop média; AP: abrasão profunda; CAD: coeficiente de atrito dinâmico.

Tabela 4.5 - Valores médios dos ensaios de caracterização tecnológica do migmatito “Preto Indiano”, do sienogranito “Vermelho Brasília” e do charnoquito “Verde Labrador” (RIBEIRO, 2005).

ROCHA	CP	Petrografia	MEAS (kg/m ³)	PA (%)	AA (%)	RTF (MPa)	CDTL	Vp (m/s)	RICD (m)	RDA (mm/1000m)	RCU (MPa)
Preto Indiano	L	Migmatito	2.770	0,98	0,35	-	-	-	0,74	1,07	108,71
	F					7,746	7,13	5.092			104,47
	S					7,319	8,8	4.233			-
Vermelho Brasília	X	Sienogranito	2.621	0,69	0,26	11,84	5,55	5.049	0,49	0,51	209,86
Verde Labrador	X	Charnoquito	2.677	0,24	0,09	11,26	7,31	3.532	0,44	0,86	183,18

LEGENDA: CP - corpo de prova; L - lateral; F - frontal; S - superior; X – materiais homogêneos; MEAS - massa específica aparente seca; PA - porosidade aparente; AA - absorção d’água; RTF - resistência à tração na flexão; CDTL – coeficiente de dilatação térmica linear; Vp - velocidade de propagação de ondas longitudinais; RICD: resistência ao impacto de corpo duro RDA: resistência ao desgaste Amsler e RCU: resistência à compressão simples.

CAPÍTULO 5 – Métodos

Nesse capítulo, são apresentadas as descrições dos ensaios de determinação da rugosidade dos corpos-de-prova e a resistência de aderência dos ladrilhos de “granito”.

5.1. Determinação da rugosidade dos corpos de prova

Inicialmente foram medidas as rugosidades das superfícies não polidas de ladrilhos comerciais (40 x 40 cm) com as delimitações (desenhos) dos corpos-de-prova de diâmetro de 3 cm (FIGURA 5.1) que foram posteriormente extraídos com coroas diamantadas.

Deve-se ressaltar que as medidas sobre a superfície serrada foram feitas no sentido ortogonal das estrias deixadas pelas laminas do tear (altura da chapa) usando-se o “Avaliador de Rugosidade de Chapas” – ARC, Ribeiro (2005), segundo o procedimento a seguir descrito.

Uma vez nivelado o equipamento, estabelece-se uma referência horizontal sobre a chapa; gira-se o anel graduado movimentando horizontalmente o carro e no defletômetro (precisão de 1mm) vão sendo feitas às leituras das depressões e saliências e registradas automaticamente em um computador. É elaborada uma planilha específica para a anotação das informações coletadas durante os levantamentos utilizando-se o *software* Excel. Com estes valores é construído um perfil de rugosidade [Rugosidade (μm) x L (mm)].

FIGURA 5.1 Medição da rugosidade dos ladrilhos de “granito” nos quais estão desenhados os corpos de prova, que posteriormente serão extraídos.

Como o “ARC” é apoiado sobre a superfície irregular da chapa, eventualmente, um dos apoios pode estar ou no sulco ou na saliência das estrias deixadas pelo processo de serragem. A horizontalização é feita pelo método dos mínimos quadrados (MUMMERY, 1992), conforme é apresentado na FIGURA 5.2.

FIGURA 5.2 (A) Perfil medido e (B) perfil horizontalizado (MUMMERY, 1992).

Com o perfil horizontalizado, define-se o parâmetro de rugosidade.

Amplitude máxima da rugosidade: R_t (R_h , R_d): representa a altura máxima do pico-vale do perfil ao longo do comprimento avaliado, sem referência ao comprimento das amostras (FIGURA 5.3).

FIGURA 5.3 Definição de R_t (SANDVIK, 1994 *apud* SPÍNOLA, 1998 in RIBEIRO, 2005).

5.2. Determinação da resistência de aderência à tração

A resistência de aderência das amostras de “granitos” com as argamassas, foi determinada segundo a norma NBR 14084 (ABNT, 1998) de argamassas colantes industrializadas para cerâmica. As seguintes etapas foram desenvolvidas:

- **Confecção do substrato padrão:**

O substrato padrão foi moldado conforme os procedimentos prescritos na NBR 14082/1998, empregando os seguintes materiais: tela de aço eletrossoldado, areia, pedrisco (brita 0) e cimento CP II E 32, com relação água/cimento de 0,45 a 0,5, consumo mínimo de cimento de 400kg/m^3 e traço indicativo em massa igual à 1:2,58:1,26.

Os moldes metálicos foram empregados para a obtenção de dimensões exatas e acabamento regular da superfície do substrato. As telas foram cortadas e fixadas no interior dos moldes utilizando-se espaçadores de plástico, como mostra a FIGURA 5.4, que também garantiram o recobrimento da tela.

FIGURA 5.4 Molde metálico com a tela de aço e espaçadores plásticos.

Características do substrato padrão:

Dimensões: 40 cm x 45 cm x 2,5 cm

Traço: 1:2,58:1,26 (em massa)

Absorção de água (NBR 14082/1998, anexo A) inferior a $0,5 \text{ cm}^2$

As etapas para a confecção do substrato padrão foram:

1. Pesagem dos materiais, conforme as proporções normatizadas;
2. Montagem e limpeza das formas metálicas, para a aplicação de óleo nas superfícies, para facilitar na desmoldagem;
3. Colocação das telas de aço eletrossoldadas com os espaçadores fixados;
4. Preparo do concreto em betoneira;
5. Colocação do concreto no molde até que a tela esteja totalmente recoberta e que o concreto esteja nivelado com as cantoneiras da forma (FIGURA 5.5);
6. Adensamento em mesa vibratória (FIGURA 5.6);
7. Cura do substrato no molde por 24 horas (FIGURA 5.7), seguindo-se então com a desmoldagem;
8. Cura do substrato em imersão até completar 7 dias, após é retirado do tanque;
9. Cura do substrato padrão em ambiente climatizado até completar 28 dias, para a realização dos ensaios.

FIGURA 5.5 Colocação do concreto no molde até que a tela esteja totalmente recoberta e que o concreto esteja nivelado com as cantoneiras da forma.

FIGURA 5.6 Adensamento em mesa vibratória

FIGURA 5.7 Cura do substrato por 24 horas

• **Preparação do corpos-de-prova**

A extração dos corpos-de-prova dos ladrilhos foi realizada utilizando-se furadeira de coluna com broca diamantada, para obtenção de corpos-de-prova (bolachas) com diâmetro de 3,0 cm (FIGURA 4.8).

FIGURA 5.8 Furadeira de coluna cortando o corpo-de-prova de placas de “sienogranito” Vermelho Brasília, com os CP delimitados.

Os corpos-de-prova obtidos dessa maneira possuem duas faces paralelas, uma polida e a outra com a rugosidade (estrias) resultante do processo de serragem nos teares.

Os ensaios de arrancamento foram executados em duas etapas:

- a) Corpos-de-prova aderidos com a superfície rugosa em contato com a argamassa;
- b) Corpos-de-prova aderidos com superfície polida/retificada, cujo brilho foi retirado em torno mecânico com retifica, em contato com a argamassa .

FIGURA 5.9 (A) Torno mecânico com retifica; (B) Detalhe da retificação dos corpos-de-prova

• ***Determinação da resistência de aderência ao arrancamento por tração.***

A aplicação das argamassas na superfície do substrato seguiu os procedimentos descritos na NBR 14082 (1998):

- a. O substrato padrão estava seco, livre de qualquer partícula solta e isento de manchas de óleo, tintas, gordura ou outras condições que prejudicassem a aderência;
- b. O substrato padrão foi colocado em posição horizontal e estável sobre a bancada de trabalho, aplicou-se uma porção de argamassa sobre a face regularizada com régua. Com o lado reto de desempenadeira metálica estendeu-se a argamassa apenas sobre a área a ser ensaiada;
- c. O lado denteado da desempenadeira foi passado ao longo da superfície, firmemente apoiado sobre o substrato e com a lâmina ligeiramente inclinada na direção do movimento;
- d. A argamassa acumulada no final da operação foi novamente repassada na direção contrária, da mesma forma que a passada inicial;
- e. Repetiu-se todo o procedimento;
- f. Adicionou-se argamassa fresca, estendendo o material de maneira uniforme;
- g. Imediatamente a seguir, o lado denteado da desempenadeira foi passado na direção longitudinal da superfície, com a lâmina inclinada de 60° no sentido do movimento;
- h. O deslocamento da desempenadeira foi realizado com cuidado para a formação de cordões contínuos, de seção uniforme (FIGURA 5.10).

FIGURA 5.10 Detalhe dos cordões da argamassa colante Industrializada formados pela desempenadeira.

Os corpos-de-prova foram assentados no substrato com auxílio de um martelo de borracha para melhor aderência com a argamassa(FIGURA 5.11).

FIGURA 5.11 Assentamento dos corpos-de-prova (verde labrador) com *Argamassa Industrializada*.

Com os corpos-de-prova assentados com todas as argamassas descritas no Capítulo 3, foram mantidos em condições normais especificadas na norma (temperatura de 23°C e umidade relativa do ar de 65%) por 28 dias (FIGURA 5.12).

FIGURA 5.12 Argamassa aplicada ao substrato padrão com os corpos-de-prova (Preto Indiano) curando por 28 dias.

Após o endurecimento da cola base (araldite) aplicada entre o cilindro metálico (C) e a bolacha de “granito” (FIGURA 5.13), prosseguiu-se o ensaio de arrancamento à tração aos 28 dias, seguindo os procedimentos descritos na NBR 14084. O equipamento para o arrancamento por tração é mostrado na FIGURA 5.13. Consta de uma manivela que regula a velocidade de carregamento com precisão de 0,05 kN. Também é mostrado o detalhe de conexão entre a bolacha e o equipamento (FIGURA 5.14).

FIGURA 5.13 Detalhe da placa metálica e a rocha

FIGURA 5.14 Equipamento utilizado no ensaio de resistência de aderência à tração.

FIGURA 5.15 Detalhe da conexão entre a pastilha metálica colada à rocha e o equipamento de tração.

Para os ensaios com a superfície retificada aderida às argamassas o procedimento foi o mesmo.

CAPÍTULO 6 – Resultados dos ensaios

Serão apresentados perfis de rugosidade dos corpos-de-prova dos 3 tipos de “granitos” estudados e no mesmo gráfico os valores de Rt. A resistência de aderência à tração com as argamassas é apresentada na forma de tabelas correlacionando os três tipos de “granitos” fixados com a superfície rugosa e a retificada.

6.1. Rugosidade

A rugosidade da superfície não polida das placas dos “granitos” estudados foi medida em perfis perpendiculares as estrias deixadas pela serragem dos blocos (FIGURA 6.1). De cada placa foram extraídos corpos-de-prova de 3,0 cm de diâmetro, conforme mostrado no Capítulo 4, sendo 12 corpos-de-prova do migmatito Preto Indiano, 18 do sienogranito Vermelho Brasília e 15 do charnoquito Verde labrador.

FIGURA 6.1 Medição das estrias (depressões e saliências) superficiais da chapa.

6.1.1 Preto Indiano

Nas FIGURAS 6.2, 6.3 e 6.4, são apresentados os perfis de rugosidade dos corpos-de-prova do migmatito Preto Indiano que foram fixados, respectivamente, com as *Argamassa Industrializada*, *Comum* e *A4*.

FIGURA 6.2 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova destinados à fixação com *Argamassa Industrializada*.

CP - 1

CP - 2

CP - 3

CP - 4

FIGURA 6.3 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova destinados à fixação com *Argamassa Comum*.

FIGURA 6.4 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova destinados à fixação com *Argamassa A4*.

6.1.2 Vermelho Brasília

Nas FIGURAS 6.5, 6.6 e 6.7, são apresentados os perfis de rugosidade dos corpos-de-prova do sienogranito Vermelho Brasília que foram fixados, respectivamente, com as *Argamassa Industrializada*, *Comum* e *A4*.

FIGURA 6.5 Perfis de rugosidade. Corpo-de-prova destinados à fixação com *Argamassa Industrializada*.

FIGURA 6.6 Perfis de rugosidade. Corpo-de-prova destinados à fixação com *Argamassa Comum*.

FIGURA 6.7 Perfis de rugosidade. Corpo-de-prova destinado à fixação com Argamassa A4.

6.1.3 Verde Labrador

Nas FIGURAS 6.8, 6.9 e 6.10 são apresentados os perfis de rugosidade dos corpos-de-prova do charnoquito Verde Labrador que foram fixados, respectivamente, com as *Argamassa Industrializada*, *Comum* e *A4*.

FIGURA 6.8 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova destinados à fixação com *Argamassa Industrializada*.

FIGURA 6.9 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova destinados à fixação com *Argamassa Comum*.

FIGURA 6.10 Perfis de rugosidade. Corpos-de-prova destinados à fixação com Argamassa A4.

6.2. Resistência de aderência à tração

A normatização relativa à resistência de aderência à tração para placas cerâmicas, que é um material manufaturado e tem seus componentes e sua distribuição controlados e conhecidos, preconiza que os ensaios devem ser realizados 6 vezes para cada tipo de material.

Nos ladrilhos de rocha, que é um “produto natural”, por segurança, foram ensaiados 12 corpos-de-prova para cada tipo de material.

Este ensaio foi feito para as rochas estudadas com os três tipos de argamassas: *Argamassa Industrializada*, *Argamassa Comum* e *Argamassa A4*.

6.2.1 Argamassa Industrializada

Nas Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 são apresentados os valores das resistência de aderência dos sienogranito Vermelho Brasília, do charnoquito Verde Labrador e do migmatito Preto Indiano.

Tabela 6.1 - Resistência de aderência à tração do sienogranito Vermelho Brasília com *Argamassa Industrializada*.

corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1	1,30	7,07	1,84
2	1,20	7,07	1,70
3	0,95	7,07	1,34
4	1,20	7,07	1,70
5	1,10	7,07	1,56
6	1,35	7,07	1,91
7	1,10	7,07	1,56
8	1,15	7,07	1,63
9	1,50	7,07	2,12
10	1,00	7,07	1,41
11	1,15	7,07	1,63
12	1,00	7,07	1,41
Media	1,17	-----	1,65
Desvio padrão	0,16	-----	0,23

Tabela 6.2 - Resistência de aderência à tração do charnoquito Verde Labrador com *Argamassa Industrializada*.

corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1	1,05	7,07	1,49
2	1,10	7,07	1,56
3	1,10	7,07	1,56
4	1,15	7,07	1,63
5	1,05	7,07	1,49
6	1,00	7,07	1,41
7*	0,65	7,07	0,92
8	1,25	7,07	1,77
9	1,35	7,07	1,91
10	0,90	7,07	1,27
11	1,50	7,07	2,12
12	1,05	7,07	1,49
Media	1,10	-----	1,55
Desvio padrão	0,21	-----	0,30

*O corpo-de-prova não foi arrancado, a placa metálica desgrudou da rocha.

Tabela 6.3 - Resistência de aderência à tração do migmatito Preto Indiano com *Argamassa Industrializada*.

corpo-de-prova	Força de arrancamento	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1	0,85	7,07	1,20
2	0,90	7,07	1,27
3	0,40	7,07	0,57
4	0,90	7,07	1,27
5	0,85	7,07	1,20
6	0,95	7,07	1,34
7	1,40	7,07	1,98
8	1,45	7,07	2,05
9	1,25	7,07	1,77
10	1,05	7,07	1,49
11	1,55	7,07	2,19
12	1,20	7,07	1,70
Media	1,06	-----	1,50
Desvio padrão	0,32	-----	0,46

6.2.2 Argamassa Comum

Nas Tabelas 6.4, 6.5 e 6.6 são apresentados os valores das resistência de aderência dos sienogranito Vermelho Brasília, do charnoquito Verde Labrador e do migmatito Preto Indiano.

Tabela 6.4 - Resistência de aderência à tração do sienogranito Vermelho Brasília com *Argamassa Comum*.

Corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1	0,75	7,07	1,06
2	0,55	7,07	0,78
3	0,55	7,07	0,78
4	0,95	7,07	1,34
5	0,40	7,07	0,57
6	0,35	7,07	0,50
7	0,65	7,07	0,92
8	0,85	7,07	1,20
9	0,70	7,07	0,99
10	0,65	7,07	0,92
11	0,90	7,07	1,27
12	0,80	7,07	1,13
Media	0,68	-----	0,95
Desvio padrão	0,19	-----	0,27

Tabela 6.5 - Resistência de aderência à tração do charnoquito Verde Labrador com *Argamassa Comum*.

Corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1	0,75	7,07	1,06
2	0,45	7,07	0,64
3	0,40	7,07	0,57
4	0,35	7,07	0,50
5	0,15	7,07	0,21
6	0,75	7,07	1,06
7	0,75	7,07	1,06
8	0,65	7,07	0,92
9	0,65	7,07	0,92
10	0,65	7,07	0,92
11	0,80	7,07	1,13
12	0,70	7,07	0,99
Media	0,59	-----	0,83
Desvio padrão	0,20	-----	0,29

Tab. 6.6 - Resistência de aderência à tração do migmatito Preto Indiano com *Argamassa Comum*.

Corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1*	0,15	7,07	0,21
2	0,30	7,07	0,42
3	0,40	7,07	0,57
4	0,40	7,07	0,57
5	0,50	7,07	0,71
6	0,60	7,07	0,85
7	0,45	7,07	0,64
8*	0,10	7,07	0,14
9	0,30	7,07	0,42
10	0,45	7,07	0,64
11	0,40	7,07	0,57
12	0,65	7,07	0,92
Media	0,41	-----	0,55
Desvio padrão	0,16	-----	0,23

*O corpo de prova não aderiu à argamassa.

6.2.1 Argamassa A4

Nas Tabelas 6.7, 6.8 e 6.9 são apresentados os valores das resistência de aderência dos sienogranito Vermelho Brasília, do charnoquito Verde Labrador e do migmatito Preto Indiano.

Tabela 6.7 - Resistência de aderência à tração do sienogranito Vermelho Brasília com Argamassa A4.

corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1*	-----	7,07	-----
2	2,65	7,07	3,75
3	1,45	7,07	2,05
4	2,65	7,07	3,75
5	1,10	7,07	1,56
6	1,20	7,07	1,70
7	2,60	7,07	3,68
8	1,80	7,07	2,55
9	3,05	7,07	4,31
10	2,05	7,07	2,90
11	1,95	7,07	2,76
12	1,70	7,07	2,40
Media	2,02	-----	2,85
Desvio padrão	0,65	-----	0,92

* O corpo-de-prova com o máximo de carga (5N) quebrou (FIGURA 6.11).

FIGURA 6.11 Corpo-de-prova quebrado do sienogranito Vermelho Brasília, que não resistiu ao ensaio de arrancamento.

Tabela 6.8 - Resistência de aderência à tração do charnoquito Verde Labrador com *Argamassa A4*.

Corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1	1,20	7,07	1,70
2	2,20	7,07	3,11
3	1,55	7,07	2,19
4	1,40	7,07	1,98
5	2,75	7,07	3,89
6	1,60	7,07	2,26
7	1,95	7,07	2,76
8	1,90	7,07	2,69
9	2,30	7,07	3,25
10	1,90	7,07	2,69
11	2,60	7,07	3,68
12	1,15	7,07	1,63
Media	1,88	-----	2,65
Desvio padrão	0,52	-----	0,74

Tabela 6.9 - Resistência de aderência à tração do migmatito Preto Indiano com *Argamassa A4*.

Corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1	2,00	7,07	2,83
2	1,70	7,07	2,40
3	1,80	7,07	2,55
4	1,60	7,07	2,26
5	1,80	7,07	2,55
6	2,10	7,07	2,97
7	1,60	7,07	2,26
8	1,60	7,07	2,26
9	1,75	7,07	2,48
10	2,45	7,07	3,47
11	1,75	7,07	2,48
12*	-----	7,07	-----
Media	1,83	-----	2,59
Desvio padrão	0,26	-----	0,37

*O corpo-de-prova não foi arrancado com o máximo de carga do equipamento

6.3. Resistência de aderência à tração para corpos-de-prova com a face retificada

Como os granitos possuem uma porosidade baixíssima (0,98% para o migmatito Preto Indiano, que possui a maior porosidade das rochas estudadas), os tipos de ligações que podem prevalecer entre as argamassas e os ladrilhos de rocha são as químicas ou físicas, sendo estas últimas ligadas à superfície de contato.

Para a verificação da influência da mineralogia/textura nos valores da aderência foram realizados os ensaios de arrancamento na superfície não rugosa dos corpos-de-prova.

Modo de preparação dos corpos-de-prova com superfície não rugosa:

- Extração de 8 corpos-de-prova com diâmetro de 3,0 cm de cada ladrilho de “granito” ensaiado;
- A superfície polida dos corpos-de-prova é retificada com rebolo diamantado para torná-la fosca, eliminando resinas ou ceras.

6.3.1 Argamassa Industrializada

Nas Tabelas 6.10, 6.11 e 6.12 são apresentados os valores das resistência de aderência dos sienogranito Vermelho Brasília, do charnoquito Verde Labrador e do migmatito Preto Indiano.

Tabela 6.10 - Resistência de aderência à tração do sienogranito Vermelho Brasília com *Argamassa Industrializada*.

corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1	0,25	7,07	0,35
2	0,35	7,07	0,50
3	0,45	7,07	0,64
4	0,50	7,07	0,71
5	0,25	7,07	0,35
6	0,50	7,07	0,71
7	0,45	7,07	0,64
8	0,60	7,07	0,85
Media	0,42	-----	0,59
Desvio padrão	0,13	-----	0,18

Tabela 6.11 - Resistência de aderência à tração do charnoquito Verde Labrador com *Argamassa Industrializada*.

corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1	0,60	7,07	0,85
2	0,65	7,07	0,92
3	0,45	7,07	0,64
4	0,65	7,07	0,92
5	0,40	7,07	0,57
6	0,60	7,07	0,85
7	0,75	7,07	1,06
8	0,60	7,07	0,85
Media	0,59	-----	0,83
Desvio padrão	0,11	-----	0,16

Tabela 6.12 - Resistência de aderência à tração do migmatito Preto Indiano com *Argamassa Industrializada*.

corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1	0,25	7,07	0,35
2	0,40	7,07	0,57
3	0,40	7,07	0,57
4	0,50	7,07	0,71
5	0,65	7,07	0,92
6	0,40	7,07	0,57
7	0,45	7,07	0,64
8	0,60	7,07	0,85
Media	0,46	-----	0,65
Desvio padrão	0,13	-----	0,18

6.3.1 Argamassa A4

Nas Tabelas 6.13, 6.14 e 6.15 são apresentados os valores das resistência de aderência dos sienogranito Vermelho Brasília, do charnoquito Verde Labrador e do migmatito Preto Indiano.

Tabela 6.13 - Resistência de aderência à tração do sienogranito Vermelho Brasília com *Argamassa A4*.

corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1	1,40	7,07	1,98
2	0,60	7,07	0,85
3	1,20	7,07	1,70
4	1,10	7,07	1,56
5	0,60	7,07	0,85
6	1,25	7,07	1,77
7	1,15	7,07	1,63
8	1,30	7,07	1,84
Media	1,23	-----	1,52
Desvio padrão	0,11	-----	0,43

*Os corpos-de-prova 2 e 5 foram descartados, porque romperam na rocha (FIGURA 12)

FIGURA 6.12 Corpo-de-prova do sienogranito Vermelho Brasília, que rompeu na rocha no ensaio de arrancamento.

Tabela 6.14 - Resistência de aderência à tração do charnoquito Verde Labrador com Argamassa A4.

corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1	1,85	7,07	2,62
2	1,50	7,07	2,12
3	1,80	7,07	2,55
4	1,95	7,07	2,76
5	1,45	7,07	2,05
6	2,30	7,07	3,25
7	2,15	7,07	3,04
8	1,45	7,07	2,05
Media	1,81	-----	2,55
Desvio padrão	0,32	-----	0,46

Tabela 6.15 - Resistência de aderência à tração do migmatito Preto Indiano com *Argamassa A4*.

corpo-de-prova	Força de arrancamento (kN)	Área (cm ²)	Resistência de aderência (MPa)
1	1,45	7,07	2,05
2	1,60	7,07	2,26
3	1,45	7,07	2,05
4	1,75	7,07	2,48
5	1,45	7,07	2,05
6	1,65	7,07	2,33
7	1,85	7,07	2,62
8	1,45	7,07	2,05
Media	1,58	-----	2,24
Desvio padrão	0,16	-----	0,22

CAPÍTULO 7 – Análise dos Resultados

Os resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração e a rugosidade são a seguir apresentados e analisados.

7.1. Resistência de aderência à tração com a face rugosa

Os resultados dos ensaios de aderência com as três argamassas (*Argamassa Comum*, *Argamassa Industrializada* e a *Argamassa A4*) em ladrilhos comerciais dos “granitos” estudados são mostrados nas Tabelas 7.1, 7.2 e 7.3 e nos GRÁFICOS 7.1, 7.2 e 7.3.

Tabela 7.1 – Valores médios dos ensaios de aderência com as três argamassas para o Vermelho Brasília.

	<i>Argamassa Comum</i>		<i>Argamassa Industrializada</i>		<i>Argamassa A4</i>	
	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)
Media	0,68	0,95	1,17	1,65	2,02	2,85
Desvio padrão	0,19	0,27	0,16	0,23	0,65	0,92

GRÁFICO 7.1 – Resistência de aderência à tração do sienogranito Vermelho Brasília.

Tabela 7.2 – Valores médios dos ensaios de aderência com as três argamassas para o Verde Labrador.

	Argamassa Comum		Argamassa Industrializada		Argamassa A4	
	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)
Media	0,59	0,83	1,10	1,55	1,88	2,65
Desvio padrão	0,20	0,29	0,21	0,30	0,52	0,74

GRÁFICOS 7.2 – Resistência de aderência à tração do charnoquito Verde Labrador.

Tabela 7.3 – Valores médios dos ensaios de aderência com as três argamassas para o Preto Indiano.

	<i>Argamassa Comum</i>		<i>Argamassa Industrializada</i>		<i>Argamassa A4</i>	
	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)
Media	0,41	0,55	1,06	1,50	1,83	2,59
Desvio padrão	0,16	0,23	0,32	0,46	0,26	0,37

GRÁFICOS 6.3 – Resistência de aderência à tração do migmatito Preto Indiano.

Os gráficos mostram que para todos os tipos de rocha ensaiados a *Argamassa A4* possui uma aderência superior as outras argamassas. A *Argamassa A4* e a *Argamassa Industrializada* apresentam resistência de aderência superior a 1 MPa, enquanto a *Argamassa Comum*, é inferior à 1 MPa, não atendendo a norma NBR 14084 (norma para cerâmica) que especifica em ≥ 1 MPa a resistência de aderência à tração para argamassa colante (Tipo ACIII).

Seria interessante em uma outra pesquisa verificar a influência do peso da placa na resistência de aderência, principalmente quando as rochas forem utilizadas em revestimento de paredes. O peso dos corpos-de-prova das rochas estudadas quando comparadas com um corpo-de prova de mesmo tamanho de porcelanato, apresentam os seguintes valores: o “charnoquito” Verde Labrador é aproximadamente 2,70 vezes, o “migmatito” Preto Indiano é 2,79 vezes e o “sienogranito” Vermelho Brasília é 2,64 vezes mais pesados do que um porcelanato.

GRÁFICO 7.4 – Resistência de aderência à tração das argamassas e rochas (superfície não polida) em estudo, sob cura normal.

O GRÁFICO 7.4 mostra que a *Argamassa A4* supera a resistência de aderência da *Argamassa Industrializada* (que é próxima de 1 MPa) para qualquer dos “granitos ensaiados.

Pelos resultados apresentados no Capítulo 6, pode-se observar que a *Argamassa A4* foi a única argamassa ensaiada que em nenhum dos corpos-de-prova obteve resistência de aderência inferior a 1 MPa:

$$\text{Argamassa comum} < \text{Argamassa industrializada} < \text{Argamassa A4}$$

O GRÁFICO 7.4 mostra que das rochas ensaiadas as placas Vermelho Brasília são as que apresentaram maiores valores de aderência:

$$\text{Preto Indiano} < \text{Verde Labrador} < \text{Vermelho Brasília}$$

Sabendo-se que os granitos possuem uma porosidade muito baixa (0,98% para Preto Indiano, rocha ensaiada que possui a maior porosidade) a aderência mecânica é restrita. A fixação pode ter sido química, ação eletrostática entre as moléculas do adesivo e as moléculas dos materiais que serão unidos, e/ou física, que esta intimamente relacionada com a área de contato superficial.

Observou-se que o descolamento dos corpos-de-prova ocorreu na interface argamassa e rocha. Provavelmente é porque existe aderência mecânica entre argamassa e substrato (mais poroso que a rocha), assim sendo a resistência de aderência é superior à encontrada entre a argamassa e a rocha (porosidade baixíssima, 0,98% para Preto Indiano, que das rochas estudadas é a mais porosa).

Comparando os valores medidos de R_t e resistência de aderência dos corpos-de-prova, mostrados nas tabelas e nos gráficos abaixo, verifica-se que a resistência está intimamente ligada a rugosidade para todas as rochas e argamassas ensaiadas.

Tabela 7.4 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Preto Indiano com a *Argamassa Industrializada*.

Corpo-de-prova	Rugosidade (R_t em mm)	Resistência de Aderência (MPa)
1	0,16	0,57
2	0,20	1,20
3	0,23	1,27
4	0,23	1,27
Média	0,21	1,08
Desvio Padrão	0,03	0,34

Tabela 7.5 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Vermelho Brasília com a *Argamassa Industrializada*.

Corpo-de-prova	Rugosidade (R_t em mm)	Resistência de Aderência (MPa)
1	0,21	1,34
2	0,23	1,56
3	0,29	1,70
4	0,29	1,70
5	0,35	1,84
6	0,51	1,91
Média	0,31	1,68
Desvio Padrão	0,11	0,20

Tabela 7.6 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Verde Labrador com a *Argamassa Industrializada*.

Corpo-de-prova	Rugosidade (Rt em mm)	Resistência de Aderência (MPa)
1	0,21	1,49
2	0,23	1,49
3	0,28	1,56
4	0,28	1,56
5	0,36	1,63
Média	0,27	1,55
Desvio Padrão	0,06	0,06

GRÁFICO 7.5 – Resistência de aderência à tração entre os “granitos” e *Argamassa Industrializada* x Rugosidade da rocha.

Tabela 7.7 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Preto Indiano com a *Argamassa Comum*.

Corpo-de-prova	Rugosidade (Rt em mm)	Resistência de Aderência (MPa)
1	0,10	0,21
2	0,13	0,42
3	0,18	0,57
4	0,21	0,57
Média	0,16	0,44
Desvio Padrão	0,05	0,17

Tabela 7.8 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Vermelho Brasília com a *Argamassa Comum*.

Corpo-de-prova	Rugosidade (Rt em mm)	Resistência de Aderência (MPa)
1	0,16	0,50
2	0,20	0,57
3	0,28	0,78
4	0,30	0,78
5	0,35	1,06
6	0,54	1,34
Média	0,31	0,84
Desvio Padrão	0,13	0,31

Tabela 7.9 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Verde Labrador com a *Argamassa Comum*.

Corpo-de-prova	Rugosidade (Rt em mm)	Resistência de Aderência (MPa)
1	0,15	0,21
2	0,24	0,50
3	0,34	0,57
4	0,36	0,64
5	0,40	1,06
Média	0,30	0,60
Desvio Padrão	0,10	0,31

GRÁFICO 7.6 – Resistência de aderência à tração entre corpos-de-prova dos “granitos” e *Argamassa Comum* x Rugosidade da rocha.

Tabela 7.10 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Preto Indiano com a *Argamassa A4*.

Corpo-de-prova	Rugosidade (Rt em mm)	Resistência de Aderência (MPa)
1	0,16	2,26
2	0,17	2,40
3	0,17	2,55
4	0,19	2,83
Média	0,17	2,51
Desvio Padrão	0,01	0,24

Tabela 7.11 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Vermelho Brasília com a *Argamassa A4*.

Corpo-de-prova	Rugosidade (Rt em mm)	Resistência de Aderência (MPa)
1	0,25	1,56
2	0,33	1,70
3	0,35	-----
4	0,35	2,05
5	0,45	3,75
6	0,48	3,75
Média	0,37	2,56
Desvio Padrão	0,08	1,10

Tabela 7.12 – Valores dos ensaios de Rugosidade e de Resistência de Aderência à tração do Verde Labrador com a *Argamassa A4*.

Corpo-de-prova	Rugosidade (Rt em mm)	Resistência de Aderência (MPa)
1	0,25	1,70
2	0,28	1,98
3	0,28	2,19
4	0,29	3,11
5	0,38	3,89
Média	0,30	2,57
Desvio Padrão	0,05	0,91

GRÁFICO 7.7 – Resistência de aderência à tração entre os “granitos” e Argamassa A4 x Rugosidade da rocha.

Comparando as Tabelas 7.4 à 7.12 e os GRÁFICOS 7.5 à 7.7 pode-se observar que quanto mais rugoso (maior área de contato) for o corpo-de-prova maior a resistência de aderência. Conclui-se que ocorreu aderência por interação física promovida pela área do ladrilho que está em contato com a argamassa altamente densificada.

Almeida (2005) observou-se que a aderência entre a Argamassa A4 e o porcelanato é promovida por forças entre moléculas (ligações secundárias de Van der Waals). Além disso, ocorre o mecanismo de aderência por interação física promovida pela rugosidade do tardo e não foi identificado nenhum ligamento químico entre a argamassa e o porcelanato.

7.2. Resistência de aderência à tração com a face polida/retificada

Outros ensaios realizados são os de aderência feito com a Argamassa Industrializada e a Argamassa A4 na superfície polida/retificada das rochas, para

observar também a influência da mineralogia/textura dos tipos de rochas estudados na resistência de aderência.

Tabela 7.13 – Valores médios dos ensaios de aderência com a *Argamassa Industrializada* para os três “granitos” com a face polida/retificada.

	Vermelho Brasília		Verde Labrador		Preto Indiano	
	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)
Media	0,42	0,59	0,59	0,83	0,46	0,65
Desvio padrão	0,13	0,18	0,11	0,16	0,13	0,18

GRÁFICO 7.8 – Resistência de aderência à tração da *Argamassa Industrializada* com os “granitos” ensaiados com a face polida/retificada.

Tabela 7.14 – Valores médios dos ensaios de aderência com a *Argamassa A4* para os três “granitos” com a face polida/retificada.

	Vermelho Brasília		Verde Labrador		Preto Indiano	
	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)	Força de arrancamento (kN)	Resistência de aderência (MPa)
Media	1,23	1,52	1,81	2,55	1,58	2,24
Desvio padrão	0,11	0,43	0,32	0,46	0,16	0,22

GRÁFICO 7.9 – Resistência de aderência à tração da *Argamassa A4* com os “granitos” ensaiados com a face polida/retificada.

Nas Tabelas 7.13 e 7.14 e nos GRÁFICOS 7.8 e 7.9 pode ser observado que o charnoquito Verde Labrador é o que mais adere quando a rugosidade não interfere e o sienogranito Vermelho Brasília é o menos aderente.

Com os resultados dos ensaios sugere-se que existe influência da mineralogia das rochas na aderência. O “charnoquito” Verde Labrador que foi a rocha mais aderente possui 14% de quartzo, o “migmatito” Preto Indiano, o paleossoma com 22% de quartzo e o leocossoma com 32% de quartzo e o “sienogranito” Vermelho Brasília que é a rocha menos aderente possui 32% de quartzo.

O GRÁFICO 7.10 mostra que a *Argamassa A4* apresenta resistência de aderência aproximadamente três vezes da obtida com *Argamassa Industrializada* para qualquer dos “granitos” ensaiados na face polida/retificada.

GRÁFICO 7.10 – Resistência de aderência das *Argamassas Industrializada e A4* com os “granitos” ensaiados, para os corpos-de-prova com face polida/retificada.

CAPÍTULO 8 – Conclusões

A revisão da literatura e o desenvolvimento experimental possibilitaram a obtenção de resultados importantes para consolidar os objetivos do trabalho. As conclusões são apresentadas a seguir:

- É necessário tomar cuidado com o tipo de aplicação da *Argamassa Comum* para “ladrilhos” de granitos ornamentais porque os valores de resistência de aderência são baixos, menores que os especificados pela norma;
- A *Argamassa Industrializa* apresentou valores de resistência de aderência à tração dentro do necessário para uso em pisos e revestimento de paredes (≥ 1 MPa);
- A *Argamassa A4* (desenvolvida em laboratório para porcelanatos), apresentou para todas as rochas estudadas valores de aderência de aproximadamente o dobro da aderência obtida para *Argamassa Industrializada*;
- A *Argamassa A4* além de ter maior aderência com as rochas estudadas, apresenta custo de produção semelhante ao da *Argamassa Industrializada*;
- Nos ensaios de aderência das argamassas com as superfícies rugosas notou-se que há interação através das forças intermoleculares (ligamento físico), esta intimamente ligada com a rugosidade da superfície da rocha em contato com a argamassa;
- Os resultados obtidos nesta pesquisa permitiram observar que as rochas de maior “dureza”, serradas em teares, implica numa maior resistência de aderência destas rochas às argamassas estudadas, por apresentarem rugosidades de superfície maiores;

- Nos ensaios de aderência das argamassas com as superfícies polidas/retificadas notou-se que houve influência da mineralogia. As rochas de menor aderência foram aquelas com maior quantidade de quartzo.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como a *Argamassa A4* mostrou ser mais aderente que a *Argamassa Industrializada*, alguns estudos complementares podem ser feitos tais como:

- Repetir os mesmos ensaios realizados nesta pesquisa para um número maior de “granitos” estabelecendo correlações entre mineralogias, estruturas e texturas;
- Realizar ensaios de resistência à flexão, ao cisalhamento e ao deslizamento com a *Argamassa Industrializada* e a *Argamassa A4* para efeito de comparação;
- Realizar ensaios de resistência à flexão no conjunto rocha/argamassa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, C.R.A; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. Tecnologia de lavra e beneficiamento de Rochas Ornamentais. Série Estudos Econômicos sobre Rochas Ornamentais. Volume 3. Fortaleza. Federação das Indústrias do Estado do Ceará. Instituto Euvaldo Lodi. 1996. 223 p.

ALMEIDA, A. E. S. Estudo da influência das adições de sílica ativa e copolímeros estireno acrílico nas propriedades de argamassa para o assentamento de porcelanato, 2005.

American Society for Testing and Materials – ASTM. C119/01. *Standard terminology relating to dimension stone*. 2001.

American Society for Testing and Materials – ASTM. D 2845. *Standard Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constant of Rocks*. 1995. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS. ABIROCHAS PRESTANDO CONTAS. O efeito APEX para o setor de rochas ornamentais e de revestimento. Informe nº 027. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2006. Informe nº01. 2007.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. *Rochas para revestimento: terminologia*. Projeto 02:105.45-012. no prelo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12042. Materiais Inorgânicos: Determinação do Desgaste por Abrasão. Rio de Janeiro. 1992a. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12763. Rochas para Revestimento: Determinação da Resistência à Flexão. Rio de Janeiro. 1992b. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12764. Rochas para Revestimento: Determinação da Resistência ao Impacto de Corpo Duro. Rio de Janeiro. 1992c. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12765. Rochas para Revestimento: Determinação do Coeficiente de Dilatação Térmica Linear. Rio de Janeiro. 1992d. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12766. Rochas para Revestimento: Determinação da Massa Específica Seca Aparente, Porosidade Aparente e Absorção d'água Aparente. Rio de Janeiro. 1992e. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12767. Rochas para Revestimento: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial. Rio de Janeiro. 1992f. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13818. Placas Cerâmicas para Revestimento – Especificação e Métodos de Ensaios. Anexo E – Determinação da Resistência à Abrasão Profunda . Rio de Janeiro. 1997a. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13818. Placas Cerâmicas para Revestimento – Especificação e Métodos de Ensaios. Anexo N – Determinação do Coeficiente de Atrito. Rio de Janeiro. 1997b. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 14081 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: Especificação. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 14082 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: Execução do substrato padrão e aplicação de argamassa para ensaio. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 14083 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: Determinação do tempo em aberto. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 14084 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: Determinação da resistência de aderência. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 14085 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: Determinação do deslizamento. 2004.

AITCIN, PIERRE-CLAUDE. Concreto de Alto Desempenho. São Paulo, PINI. 2000.

BRANDÃO, W., SARDDOU FILHO, R., QUEIROZ, E.T. Mármore, Granitos e Outras Rochas Ornamentais no Brasil. In: SCHOBENHAUS, C., QUEIROZ, E.T., COELHO, C.E.S. (edit.). Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília. D.N.P.M. v. IV. Parte A. 1991. p.371-372.

BRIEBACH, A. V., Transactions British. Ceramics Society. 1972.

BORTOLETTO, M. P. Avaliação das argamassas colantes industrializadas, tipo ACIII, para utilização no assentamento de revestimento cerâmico em fachadas de edifícios. Dissertação de mestrado do Departamento de Arquitetura da Escola de engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. 2004.

CARDU, M. et al. Caratterizzazione Micromecanica delle Pietre Ornamentali. Verona. III Congresso Italo Brasileiro di Ingegneria Mineraria. 1994. p. 286-289.

CHIODI FILHO, C. Balanço das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2003. 2004

CHIODI FILHO, C. Balanço das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2004 – Novo Recorde Histórico de Crescimento. Guarapari. 1º Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. 2005.

CHIODI FILHO, C. Situação atual e perspectivas brasileiras no setor de rochas ornamentais e de revestimento. Natal. 3º Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais. 2007.

COLLEPARDI, M. Admixtures used to enhance placing characteristics of concrete. Cement and Concrete Composites 20. 1998. p. 103 – 112.

COMAZZI, G.; FRISA MORANDINI, A.; TASSONE, P. Prenormative Research on Abrasive Wear Test Methods for Stone Elements. Lisboa. 1º Congresso Internacional da Pedra Natural. 1995. p. 32-36.

EUROPEAN COMITEE FOR STANDARDIZATION – CEN. EN 12407. Natural Stone Test Methods – Petrographic Examination. 2000.

FIORITO, A. J. S. I. Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução. Pini. 1994.

FRASCÁ, M.H.B.O.; MELLO, I.S.C.; QUITETE, E.B. Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT. (IPT – Publicação 2651). CD-ROM. 2000.

FRASCÁ, M.H..B.O. & QUITETE, E.B. Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo – Características Tecnológicas. Rochas de Qualidade. Nº154. 2000. p.154-171.

FRASCÁ, M.H.B.O. Estudos Experimentais de Alteração Acelerada de Rochas Graníticas para Revestimento. Tese de Doutorado. São Paulo. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 2003. 281p.

FRAZÃO, E.B. & PARAGUASSU, A.B. Materiais Rochosos para Construção. In: OLIVEIRA, A.M.S.O. & BRITO, S.N.A. (eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, CNPq/FAPESP. 1998. p. 331-342.

FRAZÃO, E.B. Catálogo das Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT – Publicação 2048). 1993. 77p.

FRAZÃO, E. B. Tecnologia de Rochas na Construção Civil. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. 2002.

GONZÁLEZ-MESONES, F. L. La Utilización de la Piedra Natural en la Arquitectura en el Marco de la Nueva Normativa Europea. Guarapari. 1º Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. (CD-ROM). 2005.

GRASSELLI, G. Shear Strenght of Rock Joints on Quantified Surface Description. Tese de Doutorado. Lausanne. Escole Polytechnique Federal de Lausanne. 2001. 124p.

GROOT, C. J. W. P. Aspects of mortar-brick bond. In: INTERNATIONAL BRICK AND BLOCK MASONRY CONFERENCE, 8TH, dublin, sept.19-21, Proceedings. London, Elsevier. V.1. 1988.

KHAYAT, K. H.; AİTCIN, P. C. Silica fume in concrete: an overview. In: FLY ASH, SILICA FUME, SLAG, AND NATURAL POZZOLANS IN CONCRETE. Proceedings Fouth International Conference, Istanbul, Turkey. Volume II. ACI, SP – 132. 1992.

LAVELLE, J. Acrylic latex-modified portland cement. ACI Materials Journal. vol 85. n°1. jan/feb. 1988.

LORDSLEEM Jr., A. C.; SOUZA, J. C.; MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. Resistência de aderência de revestimentos cerâmicos. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Salvador. 1997. p. 259-270.

MALHOTRA, V. M. Et al. Role of sílica fume in concrete. In: Advances in concrete technology. Proceedings: CANMET. 1992. p. 925-991.

MANCINI, R. & FRISA MORANDINI, A. Applications of Microhardness Tests to the Technical Evaluation of Dimension Stones. New Delhi. 4th Congress International Association of Engineering Geology. 1982. p. 321-331.

MARANHÃO, F. L.; BARROS, M. M. S. B. Causas de patologias e recomendações para a produção de revestimentos aderentes com placas de rocha, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. 2006.

MEDEIROS, J. S. Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios, Tese de doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Jun de 1999.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. CONCRETO: Estrutura, propriedades e materiais. 1994.

MENEGAZZO, A. P. M. Estudo da Correlação entre a Microestrutura e as Propriedades Finais de Revestimentos Cerâmicos do Tipo Gres Porcelanato. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo. 2001. 250p.

MONTANI, C. STONE 2004: World Marketing Handbook. Gruppo Editoriale Faenza Editrice. 2005.

MORAES, M. C. & RODRIGUES, E. P. Exemplo de Aplicação de Coloração Seletiva de Feldspato Potássicos e Cálcicos, como Técnica Auxiliar no Estudo de Rochas. *Cerâmica*, 24(97): 32-35. 1978.

MOREIRAS, S. T. F. ESTUDO SOBRE O REVESTIMENTO DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS ALTOS COM PLACAS DE GRANITOS ORNAMENTAIS, Dissertação de mestrado do programa de Pós Graduação em Geotecnia, da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2005.

MUMMERY, L. Surface Texture Analysis. Muhlhausen: Hommelwerke. 105p. 1992.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. PINI 1ª Edição

OHAMA, Y. Recent progress in concrete-polymer composites. *Advanced Cement Based Materials*, 5. 1997. p. 31 – 40.

PENA, P.; AZA, A. H. Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC), Arganda del Rey (Madrid). 2002.

PEREZ, F. Argamassas colantes utilizadas na Fixação de Revestimento Cerâmicos, Dissertação de Mestrado do programa de Pós Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, da Universidade de São Paulo. 2003.

PINTO, R. C. A.; HOVER, K. Superplasticizer and Sílica Fume Addition Effects on Heat of Hydration of Mortar Mixtures with Low Water-Cementitious Materials Ration. *American Concrete Institute. Materials Journal*, vol. 96 n°5. sep-oct. 1999.

QUITETE, E. B. Dureza Knoop em Rochas para Revestimento: Metodologia e Correlação com Desgaste Abrasivo. São Paulo. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2002. p. 70.

RENGERS, N. Influence of Surface Roughness on the Friction Properties of Rock Planes. *Congress International Society of Rock Mechanics*. 1970. p.229-234.

RIBEIRO, R. P. Influência das características petrográficas de granitos no processo industrial de desdobramento de blocos, Tese de Doutorado do programa de Pós graduação em Geotecnia, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. 2005.

SÁNCHEZ DELGADO, N. et al. The influence of Rock Microhardness on the Sawability of Pink Porrino Granite (Spain). International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 42: 161-166. 2005.

SICHIERI, E. P.; FERREIRA, O. P.; CARAM, R.; ROSSIGNOLO, J. A.; PABLO, J. M.; CHAVES, A. L. O. Materiais de Construção III (Polímeros na Arquitetura e na Construção Civil). Grupo de pesquisa ArqTeMa. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2005.

SILVEIRA, L.L.L. Estudo Comparativo de Granitos Ornamentais Brasileiros no Processo de Polimento Industrial. Tese de Doutorado. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2007.

SPÍNOLA, S.V.P.A.C. Influência da Qualidade da Serragem de Granitos no Consumo Energético do Desbaste. Dissertação de mestrado. Lisboa. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. 1998. 138p.

ULRICH, H. Introduction to industrial polymers. 2 Ed. Hanser Publishers. 1993.

YOSOMIYA, R. Et al. Adhesion and bonding in composites. Marchel Dekker, Inc. 1990.