

KARIN VERÔNICA FREITAS GRILLO

ANÁLISE COMPARATIVA DA  
ADERÊNCIA DE TIPOS ROCHOSOS  
ASSENTADOS COM TRÊS ARGAMASSAS

Dissertação apresentada à  
Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo, como parte  
dos requisitos para obtenção do Título de  
Mestre em Ciências, programa de pós  
graduação em Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Rodrigues

São Carlos

2010



Dedicatória

Ao meu marido Junior (bem) pelo carinho, amor e apoio ao longo desde trabalho.

A minha mãe, minha primeira educadora, meu maior exemplo de esforço e perseverança que sempre acreditou que eu posso chegar mais longe.

A meu pai, maior presente de Deus na minha vida, minha sorte grande. Seu bom humor, seus conselhos otimistas e sua forma de me fazer rir em todos os momentos me fazem ver a vida de outro modo e te amar cada dia mais.

Aos meus irmãos, amigos, cunhadas pelo apoio e conselhos recebidos, pelo incentivo em todos os momentos.



## Agradecimentos

Primeiramente, a vida, por todas as boas oportunidades que eu tive até o momento.

Aos meus pais, Francisco e Neide e irmãos Gustavo e Rodolfo pela força que obtive a cada abraço e palavra de carinho. Ao meu marido Osvaldo Junior, pelo carinho e amor, sempre me apoiando em todas as horas difíceis.

Ao meu orientador professor Dr. José Eduardo Rodrigues por toda dedicação e disposição para ajudar nos momentos mais difíceis, e principalmente por sempre acreditar em mim para a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Antenor Braga Paraguassu por toda sua dedicação e ajuda. Ao professor Dr. Eduvaldo P. Sichiari pelo apoio e sugestões.

A minha cunhada Damares, a minha grande amiga Márcia e Lisandra por estarem sempre dispostas a ajudar em todas as horas e juntas formamos o grupo de Rochas Ornamentais que ficará na memória para sempre.

Aos amigos e amigas que fiz no departamento e fora dele, obrigada pela ajuda e companheirismo, e que nossa amizade seja eterna, independente da distância. Aos amigos de Pouso Alegre que apesar da distância física estavam sempre presentes na minha vida de uma forma tão especial e única.

Aos funcionários do departamento de geotecnia e ao Paulo César Albertini e Sérgio Aparecido Trevelin, do Laboratório de Construção Civil da ESSC/USP que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

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

A CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro.



“Não se preocupe com o futuro.  
Ou então se preocupe se quiser, mas saiba que pré-ocupação  
é tão eficaz quanto mascar chiclete  
para tentar resolver uma equação de álgebra.  
As encrencas de verdade de sua vida tendem a vir de coisas que nunca  
passaram pela sua cabeça preocupada, e te pegam no ponto fraco às  
quatro da tarde de uma terça-feira modorrenta.  
Todo dia enfrente pelo menos uma coisa que te meta medo de  
verdade.”

*(Mary Schmich)*







4.1.1.2	Quartzito São Tomé.....	63
4.1.1.3	- <i>Mármore</i> Esmeralda:.....	65
4.1.2-	Argamassas .....	67
4.2-	Procedimentos dos ensaios .....	69
4.2.1-	Confecção do substrato padrão .....	69
4.2.2-	Preparação dos corpos de prova .....	72
4.2.2.1	- Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água .....	72
4.2.2.2	- Determinação da resistência da aderência à tração .....	73
4.2.2.2.1	- Determinação do brilho .....	75
4.2.2.2.2	- Retirada das bordas dos corpos de prova.....	77
4.2.2.2.3	- Determinação da rugosidade dos corpos de prova .....	78
4.2.3-	Determinação da resistência de aderência à tração .....	81
4.2.4-	Preparação das amostras para análise na lupa .....	82
Capítulo 5	Resultados dos ensaios .....	84
5.1-	Determinação da massa específica aparente (seca e saturada), porosidade e absorção de água .....	84
5.1.1-	Determinação da massa específica aparente (seca e saturada) .....	84
5.1.2-	Determinação da porosidade aparente .....	85
5.1.3-	Determinação da absorção da água.....	86
5.2-	Medidas de brilho do <i>mármore</i> e do <i>arenito</i> .....	86
5.3-	Medidas das áreas dos corpos de prova após o chanfro.....	88
5.4-	Perfis de rugosidade das rochas .....	90
5.4.1-	Perfis de rugosidade do <i>arenito</i> (face lisa e face não polida).....	90
5.4.2	- Perfis de rugosidade do <i>mármore</i> (face lisa e face não polida).....	91
5.4.3	- Perfis de rugosidade do quartzito (face lisa e face não polida) .....	92
5.5-	Gráfico de rugosidade média das rochas na face lisa e na face não polida .....	92
5.6-	Resistências de aderência das rochas assentadas na face lisa .....	93
5.6.1-	Resistência de aderência do <i>arenito</i> na face lisa .....	94
5.6.2-	Resistência de aderência à tração do <i>mármore</i> na face lisa.....	96
5.6.3-	Resistência de aderência à tração do quartzito na face lisa .....	97
5.7-	Resistências de aderência das rochas assentadas na face não polida .....	99
5.7.1-	Resistência de aderência do <i>Arenito</i> .....	99

5.7.2- Resistência de aderência do <i>mármore</i> .....	100
5.7.3- Resistência de aderência do <i>quartzito</i> .....	102
5.8- análises com lupa binocular da interface argamassa-rocha .....	104
Capítulo 6      Análise dos Resultados .....	106
6.1- Determinação da massa específica aparente (seca e saturada), porosidade e absorção de água .....	106
6.2- Resistências de aderência à tração .....	106
6.2.1- Resistências de aderência à tração na face lisa.....	106
6.2.2- Resistências de aderência à tração na face não polida (natural).....	109
6.3- Correlações entre as resistências da aderência à tração nas faces lisa e não polida .....	117
6.4- Comentários sobre a norma NBR 14084 utilizada para ensaios com rochas .....	124
Capítulo 7      Conclusões .....	126
7.1 Sugestões para trabalhos futuros:.....	128
Referências .....	129
ANEXO A – PERFIS DE RUGOSIDADES DOS CORPOS DE PROVA NA FACE NÃO POLIDA .....	142
▪ Perfis de rugosidade do <i>arenito</i> .....	142
▪ Perfis de rugosidade do <i>mármore</i> .....	146
▪ Perfis de rugosidade do <i>quartzito</i> .....	150
ANEXO B – PERFIS DE RUGOSIDADES DOS CORPOS DE PROVA NA FACE LISA .....	154
▪ Perfis de rugosidade do <i>arenito</i> .....	154
▪ Perfis de rugosidade do <i>mármore</i> .....	157
▪ Perfis de rugosidade do <i>quartzito</i> .....	161

## LISTA DE FIGURAS

---

<b>Figura 3.01-</b> Parâmetro da rugosidade, valor de Ra. (ROSA, 2004) .....	26
<b>Figura 3.02-</b> Parâmetros de rugosidade, Rt (ROSA, 2004) .....	27
<b>Figura 3.03-</b> Avaliador de rugosidade de chapas, “ARC” (RIBEIRO <i>et al.</i> , 2007).....	28
<b>Figura 3.06-</b> Fluxograma dos processos para argamassa mista preparada em obra (REGATTIERI <i>et al.</i> ,2006). .....	35
<b>Figura 3.07-</b> Acúmulo de rejeitos nas pedreiras (CARVALHO <i>et al.</i> , 2003).....	41
<b>Figura 3.08-</b> Forma de fixação dos inserts superior e inferior (SOUZA <i>et al.</i> , 2002).43	
<b>Figura 3.09-</b> Aderência mecânica (JUNGINGER, 2007). .....	50
<b>Figura 3.10-</b> Tear para o corte da Rocha Ornamental. ....	52
<b>Figura 3.11-</b> Traços das argamassas utilizadas (COELHO <i>et al.</i> , 2006). ....	59
<b>Figura 4.12-</b> Rochas ensaiadas .....	67
<b>Figura 4.13-</b> Molde metálico com a tela de aço e espaçadores plásticos .....	70
<b>Figura 4.14-</b> Telas de aço eletrossoldadas com o espaçadores de plástico colocadas dentro do molde.....	71
<b>Figura 4.15-</b> Preparação do substrato em mesa vibratória. ....	71
<b>Figura 4.16-</b> Cura do substrato por 24 horas.....	72
<b>Figura 4.17-</b> Corpos de prova das rochas para a execução do ensaio de índices físicos. ....	73
<b>Figura 4.18-</b> Furadeira de coluna, extraindo o corpo-de-prova do quartzito. ....	74
<b>Figura 4.19-</b> Corpos de prova do quartzito após o deslocamento. ....	75
<b>Figura 4.20-</b> Aparelho de medição de brilho, <i>Glossmeter</i> . ....	76
<b>Figura 4.21-</b> Carbetto de Silício, desbaste do polimento do <i>mármore</i> . ....	76
<b>Figura 4.22-</b> (A) o <i>arenito</i> assentado com a argamassa resíduo, borda reta e (B) o <i>arenito</i> assentado com a argamassa industrializada, borda chanfrada. ....	77
<b>Figura 4.23-</b> Avaliador de Rugosidade de Chapas. ....	79
<b>Figura 4.24-</b> Rugosidade inicial. ....	79
<b>Figura 4.25-</b> Perfil horizontalizado (MUMMERY, 1992) .....	80
<b>Figura 4.26-</b> Definição de Rt (SANDVIK, 1994 <i>apud</i> SPÍNOLA, 1998 <i>in</i> RIBEIRO, 2005) .....	80
<b>Figura 4.27-</b> Assentamento dos corpos-de-prova com argamassa de resíduo. ....	81

<b>Figura 4.28-</b> Equipamento utilizado no ensaio de resistência de aderência à tração. .....	82
<b>Figura 5.36-</b> Corpo de prova do <i>mármore</i> com as laterais retas. ....	93
<b>Figura 5.37-</b> Tipos de ruptura no ensaio de determinação de resistência de aderência à tração de revestimento (Adaptado de CINCOTTO <i>et al.</i> , 1995). ....	94
<b>Figura 5.38-</b> Imagem da interface argamassa-rocha do corpo de prova do quartzito. .....	104
<b>Figura 5.39-</b> Imagem da interface argamassa-rocha do corpo de prova do <i>arenito</i> . .....	105
<b>Figura 6.41-</b> Minerais fixos na argamassa após o arrancamento dos corpos de prova. ....	108
<b>Figura 6.42-</b> Corpo de prova após o ensaio do arrancamento das rochas assentadas com a argamassa para porcelanato. ....	109
<b>Figura 6.43-</b> Corpo de prova do <i>arenito</i> , assentado na argamassa industrializada, na face não polida. ....	110
<b>Figura 6.44-</b> Corpo de prova do <i>mármore</i> (face não polida) assentado com a argamassa porcelanato. ....	111
<b>Figura 6.48-</b> Interface do quartzito assentado com a argamassa industrializada. ...	115
<b>Figura 6.49-</b> Perfil do substrato-argamassa-rocha. ....	116
<b>Figura 6.53-</b> Ancoragem mecânica da argamassa industrializada no <i>arenito</i> (face não polida). ....	120
<b>Figura 6.54-</b> Assentamento do <i>arenito</i> na argamassa industrializada: (a) - face lisa e .....	121
<b>Figura 6.55-</b> Interface do <i>mármore</i> na argamassa industrializada na face não polida. .....	121
<b>Figura 6.57-</b> Microscopia do quartzito. (A) Face lisa e (B) Face não polida. ....	123
<b>Figura A.58-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>arenito</i> assentados com a argamassa industrializada. ....	142
<b>Figura A.59-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>arenito</i> assentados com a argamassa de industrializada .....	143
<b>Figura A.60-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>arenito</i> assentados com a argamassa de resíduo. ....	143

<b>Figura A.61-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>arenito</i> assentados com a argamassa de resíduo.....	144
<b>Figura A.62-</b> Perfil de rugosidade Corpos de prova do <i>arenito</i> assentados com a argamassa porcelanato.....	145
<b>Figura A.63-</b> Perfil de rugosidade Corpos de prova do <i>arenito</i> assentados com a argamassa porcelanato.....	146
<b>Figura A.64-</b> Perfil de rugosidade Corpos de prova do <i>mármore</i> assentados com a argamassa industrializada.....	146
<b>Figura A.65-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>mármore</i> assentados com a argamassa industrializada.....	147
<b>Figura A.66-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>mármore</i> assentados com a argamassa de resíduo.....	148
<b>Figura A.67-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>mármore</i> assentados com a argamassa de Resíduo.....	149
<b>Figura A.68-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>mármore</i> assentados com a argamassa para porcelanato.....	149
<b>Figura A.69-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>mármore</i> assentados com a argamassa para porcelanato.....	150
<b>Figura A.70-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa industrializada.....	150
<b>Figura A.71-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa industrializada.....	151
<b>Figura A.72-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do Quartzito assentados com a argamassa de Resíduo.....	152
<b>Figura A.73-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa para porcelanato.....	153
<b>Figura A.74-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa para porcelanato.....	154
<b>Figura B.75-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>arenito</i> assentados com a argamassa industrializada.....	154
<b>Figura B.76-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>arenito</i> assentados com a argamassa industrializada.....	155

<b>Figura B.77-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>arenito</i> assentados com a argamassa resíduo. ....	156
<b>Figura B.78-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>arenito</i> assentados com a argamassa resíduo. ....	157
<b>Figura B.79-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>mármore</i> assentados com a argamassa industrializada. ....	158
<b>Figura B.80-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>mármore</i> assentados com a argamassa industrializada. ....	159
<b>Figura B.81-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>mármore</i> assentados com a argamassa resíduo. ....	159
<b>Figura B.82-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do <i>mármore</i> assentados com a argamassa resíduo. ....	160
<b>Figura B.83-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa industrializada. ....	161
<b>Figura B.84-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa industrializada. ....	162
<b>Figura B.85-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa resíduo. ....	162
<b>Figura B.86-</b> Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa resíduo. ....	163

## LISTA DE TABELAS

---

<b>Tabela 3.01-</b> Normas da comissão de estudo de rochas para revestimento da ABNT. (HTTP://www.abnt.org.br) .....	11
<b>Tabela 3.02-</b> Especificações para argamassas colantes. (ABNT,1998) .....	12
<b>Tabela 3.03-</b> Especificações para as argamassas quanto à absorção de água. (ABNT, 1997) .....	12
<b>Tabela 3.04-</b> Variação comparativa da taxa de crescimento do valor das exportações. (CHIODI FILHO, 2009) .....	14
<b>Tabela 3.05-</b> Propriedades importantes para a escolha e utilização de rochas em revestimento, conforme o emprego (FRASCÁ, 2001). .....	18
<b>Tabela 3.06-</b> Métodos disponíveis de medição da rugosidade (GRASSELLI, 2001). .....	25
<b>Tabela 3.07-</b> Valores Limites Especificados pela ASTM para Propriedades de Rochas usadas como Revestimentos (FRASCÁ, 2001). .....	29
<b>Tabela 3.08-</b> Valores de Algumas Propriedades de Rochas Ornamentais Brasileiras (FRAZÃO <i>et al.</i> , 1995).....	29
<b>Tabela 3.09-</b> Resistência de aderência a tração para cerâmica (NBR- 14084).....	37
<b>Tabela 3.10-</b> Resultados de análise química da argamassa industrializada (NOGAMI, 2007). .....	37
<b>Tabela 3.11-</b> Resultados das análises da argamassa industrializada (NOGAMI <i>op cit.</i> ) .....	38
<b>Tabela 3.13-</b> Caracterização do Resíduo do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (COELHO, 2006) .....	41
<b>Tabela 3.14-</b> Análise Química dos Resíduos do corte da "pedra Mineira" (CARVALHO, 2003).....	42
<b>Tabela 3.15-</b> Situações potencialmente degradadoras de rochas ornamentais e ensaios para previsão de desempenho (FRASCÁ, 2001). .....	47
<b>Tabela 3.16-</b> Composição da lama abrasiva (PERFETTI <i>et al.</i> , 1993).....	53
<b>Tabela 3.17-</b> Análise química do resíduo do beneficiamento da rocha ornamental silicatada. (Sendo MS: Modulo de Sílica e MA: Modulo de Alumínio) (COELHO <i>et al.</i> ,2006). .....	55



<b>Tabela 3.18-</b> Composição química do resíduo de rochas graníticas GONÇALVES <i>et al.</i> ,(2002). .....	56
<b>Tabela 4.19-</b> Valores médios dos ensaios de caracterização tecnológica do <i>arenito</i> (MATOS, 2003). .....	63
<b>Tabela 4.20-</b> Valores médios dos ensaios de caracterização tecnológica dos <i>quartzitos</i> do Centro Produtor de São Tomé das Letras (FERNANDES, 2002.)	65
<b>Tabela 4.21-</b> Valores médios dos ensaios de caracterização tecnológica do <i>Mármore</i> Esmeralda (IPT, 1993). .....	66
<b>Tabela 5.22-</b> Resultados da massa específica aparente das rochas .....	85
<b>Tabela 5.23-</b> Resultados dos ensaios de porosidade aparente para o <i>mármore</i> .....	85
<b>Tabela 5.24-</b> Resultados dos ensaios de porosidade aparente para o quartzito .....	85
<b>Tabela 5.25-</b> Resultados dos ensaios de porosidade aparente para o <i>arenito</i> .....	86
<b>Tabela 5.26-</b> Resultados da absorção da água das rochas .....	86
<b>Tabela 5.27-</b> Medidas do brilho realizadas com o <i>Glossmeter</i> no <i>mármore</i> e no <i>arenito</i> . .....	87
<b>Tabela 5.28-</b> Medidas das áreas dos corpos de prova do <i>arenito</i> , face não polida..	88
<b>Tabela 5.29-</b> Medidas das áreas dos corpos de prova do <i>mármore</i> , face não polida. ....	89
<b>Tabela 5.30-</b> Medidas das áreas dos corpos de prova do quartzito, face não polida. ....	89
<b>Tabela 5.31-</b> Resistência de aderência à tração do <i>arenito</i> com a argamassa industrializada.....	94
<b>Tabela 5.32-</b> Resistência de aderência do <i>arenito</i> com a argamassa de resíduo. ...	95
<b>Tabela 5.33-</b> Resistência de aderência à tração do <i>arenito</i> com a argamassa para porcelanato. ....	95
<b>Tabela 5.34-</b> Resistência de aderência à tração do <i>mármore</i> com a argamassa industrializada.....	96
<b>Tabela 5.35-</b> Resistência de aderência à tração do <i>mármore</i> com a argamassa resíduo. ....	96
<b>Tabela 5.36-</b> Resistência de aderência à tração do <i>mármore</i> com a argamassa de porcelanato. ....	97
<b>Tabela 5.37-</b> Resistência de aderência à tração do quartzito com a argamassa industrializada.....	97

<b>Tabela 5.38-</b> Resistência de aderência à tração do quartzito com a argamassa de resíduo. ....	98
<b>Tabela 5.39-</b> Resistência de aderência à tração do quartzito com a argamassa porcelanato.....	98
<b>Tabela 5.40-</b> Resistência de aderência do <i>arenito</i> com a argamassa industrializada. ....	99
<b>Tabela 5.41-</b> Resistência de aderência do <i>arenito</i> com a argamassa resíduo. ....	100
<b>Tabela 5.42-</b> Resistência de aderência do <i>arenito</i> com a argamassa porcelanato .	100
<b>Tabela 5.43-</b> Resistência de aderência do <i>mármore</i> com a argamassa industrializada. ....	101
<b>Tabela 5.44-</b> Resistência de aderência do <i>mármore</i> com a argamassa resíduo. ...	101
<b>Tabela 5.45-</b> Resistência de aderência do <i>mármore</i> com a argamassa porcelanato. ....	102
<b>Tabela 5.46-</b> Resistência de aderência do quartzito com a argamassa industrializada. ....	102
<b>Tabela 5.47-</b> Resistência de aderência do quartzito com a argamassa resíduo ....	103
<b>Tabela 5.48-</b> Resistência de aderência do quartzito com a argamassa porcelanato ....	103
<b>Tabela 6.49-</b> Valores médios das resistências da aderência à tração da face lisa.	107
<b>Tabela 6.50-</b> Valores médios das resistências da aderência à tração da face não polida.....	112

## LISTA DE GRÁFICOS

---

<b>Gráfico 3.02-</b> Consumo interno aparente de rochas ornamentais (CHIODI, 2008) ..	15
<b>Gráfico 3.03-</b> Resistência de aderência à tração do Sienogranito Vermelho Brasília (NOGAMI, 2007). .....	40
<b>Gráfico 5.04-</b> Perfil de rugosidade do <i>arenito</i> (face lisa).....	90
<b>Gráfico 5.05-</b> Perfil de rugosidade do <i>arenito</i> (face não polida). .....	90
<b>Gráfico 5.06-</b> Perfil de rugosidade do <i>mármore</i> (face lisa). .....	91
<b>Gráfico 5.07-</b> Perfil de rugosidade do <i>mármore</i> (face não polida).....	91
<b>Gráfico 5.08-</b> Perfil de rugosidade do quartzito (face lisa).....	92
<b>Gráfico 5.09-</b> Perfil de rugosidade do quartzito (face não polida). .....	92
<b>Gráfico 5.10-</b> Médias das rugosidades (Rt) na face lisa e face não polida.....	93
<b>Gráfico 6.11-</b> Gráfico dos valores médios das resistências da aderência à tração das rochas com as argamassas assentados na face lisa e local de ruptura. ....	107
<b>Gráfico 6.12-</b> Gráfico da resistência da aderência à tração das rochas com as argamassas assentadas na face não polida. ....	112
<b>Gráfico 6.13-</b> Resistência de aderência a tração do <i>arenito</i> , face não polida .....	113
<b>Gráfico 6.14-</b> Resistência de aderência à tração do quartzito (não polido) .....	114
<b>Gráfico 6.15-</b> Resistência de aderência à tração do <i>mármore</i> .....	117
<b>Gráfico 6.16-</b> Gráfico da resistência da aderência à tração do <i>arenito</i> com as argamassas, assentados na face lisa e não polida.....	118
<b>Gráfico 6.17-</b> Gráfico da resistência da aderência à tração do <i>mármore</i> com as argamassas, assentados na face lisa.....	119
<b>Gráfico 6.18-</b> Gráfico da resistência da aderência à tração do quartzito com as argamassas, assentados na face lisa.....	122



## RESUMO

---

GRILLO, K. V. F (2010). Análise comparativa da aderência de tipos rochosos assentados com três argamassas. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

O presente estudo trata da determinação da resistência de aderência de três rochas: *arenito*, *mármore* e *quartzito* assentados com três diferentes argamassas (industrializada, resíduo e para porcelanato).

Os ensaios de resistência de aderência à tração foram executados tanto na face lisa como na não polida (natural) dos corpos de prova e seguiram a norma NBR 14084 utilizada para material cerâmico. Os resultados obtidos foram diferentes para os conjuntos argamassas/rochas, entretanto evidenciaram o melhor desempenho da argamassa para porcelanato em todas as determinações. Alguns resultados anômalos verificados em algumas combinações foram explicados pelas características petrográficas (composição mineral, textura e estrutura), evidenciando sua relevante influência nos valores obtidos de resistência de aderência à tração.

Palavras chaves: Argamassa colante, *arenito*, *quartzito*, *mármore*, rochas ornamentais, resíduos de rochas.





## ABSTRACT

---

GRILLO, K. V. F (2010). Comparative analysis of adherence of stone types seated with three mortars. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

The present study deals with the determination of bond strength of three stones: sandstone, marble and quartzite seated with three different mortars (industrialized, waste and porcelain).

Tests on tension bond strength were performed in both the smooth face and the non-polished (natural) of the specimens and followed NBR 14.084 used for ceramic material. The results were different for the joint mortar / stone, but showed the best performance of the mortar for porcelain tile in all determinations. Some anomalous results observed in some combinations were explained by petrographics characteristics (mineral composition, texture and structure), indicating its important influence on the values of tension bond strength.

Key words: Adhesive mortar, sandstone, quartzite, marble, dimension stone, waste rock.



As rochas são utilizadas desde a pré-história, tendo os mais diversos usos nos seus primórdios com moradias e chegando até a fabricação de armas. Com o passar do tempo, os gregos começaram a inovar a arte de usar as rochas para a fabricação de esculturas e na arquitetura. Na arquitetura, Acrópolis um templo grego do século V a.C, inovou a arte por ser composta de rochas calcárias e xisto vermelho, e tem um significado para os gregos de perfeição, irradiando a pureza.

Os romanos inovaram o uso de novos materiais para construção, começando pelo “opus cementicium”, uma espécie de concreto armado resistente e o “opus latericium”, um ladrilho, que junto com os *mármore*s, trouxeram na época novas concepções para as edificações. O império romano teve sua expansão e, com isso, o *mármore* começou a ganhar seu espaço no mundo.

A exploração e a utilização das rochas ornamentais, graças a sua variedade de cores e texturas, são crescentes e diversificadas, possibilitando a realização de projetos inusitados. Sua durabilidade, resistência mecânica, efeito estético e funcional nas edificações fazem com que sua utilização seja freqüente.

O Brasil produz, aproximadamente, mais de 1.200 tipos de rochas comercializadas no mercado interno e externo, derivadas de cerca de 1.800 jazidas em atividade. Os principais tipos são: *granitos*, *mármore*s, *quartzitos*, *ardósias*, *conglomerados*, *serpentinitos*, *pedra sabão*, *pedra talco* e materiais do tipo *pedra*

Miracema e pedra Lagoa Santa. Estão registradas mais de 11.300 empresas operando na cadeia produtiva (CHIODI FILHO, 2008).

As rochas ornamentais são aplicadas, principalmente, em pisos e revestimentos. Cerca de 70% da produção mundial de *mármore*s e *granitos* é utilizada na forma de pisos (internos e externos) e em revestimentos de parede e fachadas, 17,5% em arte funerária, 9,5% em decoração e 3,5% em outras aplicações.

O termo rocha ornamental e a definição de rochas de revestimentos de acordo com a definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas é “material rochoso natural, submetido a diferentes graus de beneficiamento ou aperfeiçoamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética.” A definição de rochas de revestimento, é a seguinte: um componente de construção com formas geométricas (regulares) que se destinam ao embelezamento e proteção das edificações, além de propiciar funcionalidade.

As duas grandes categorias comerciais de rochas ornamentais são os *granitos* e os *mármore*s. Podem-se citar outros grupos menos comercializado, tais como as ardósias, os *quartzitos* e os *arenitos*.

1. Os *granitos* englobam um grande grupo de rochas silicatadas (ígneas ácidas, intermediárias e básicas, tanto de origem plutônica e/ou vulcânicas; *granitos*, sienitos, monzonitos, dioritos, charnoquitos, diabásios, basaltos etc.). Os *granitos* são produzidos em blocos e mais utilizados em placas e/ou ladrilhos polidos. As cores destas rochas são determinadas pelos seus constituintes mineralógicos. Os minerais que formam os *granitos* são definidos por associações variáveis de quartzo, feldspatos, micas, piroxênios e anfibólios com diversos minerais acessórios em proporções reduzidas.

O quartzo normalmente é translúcido, incolor ou fume; os feldspatos conferem a coloração avermelhada, rosada, branca, creme-acinzentada e amarelada nos *granitos*. A cor negra variavelmente impregnada na matriz das rochas é conferida por teores de mica (biotita), piroxênio e anfibólio. Geralmente, são rochas de granulometria grossa com textura equidimensional sem orientação, isto é, típica textura granítica. Entretanto, em certos casos, são rochas com fenocristais ou porfiroblastos orientados.

2. Os *mármore*s comercialmente entendidos são do grupo das rochas carbonáticas incluindo calcários, dolomitos e seus correspondentes metamórficos. Os calcários são rochas sedimentares compostas principalmente de calcitas (carbonato de cálcio), enquanto os dolomitos são rochas também sedimentares formadas do carbonato de cálcio e magnésio. Os *mármore*s resultam das modificações ocorridas em calcários e dolomitos e estão relacionados a variações nas condições de pressão e temperatura e do ambiente geológico.

As *ardósias* e os *quartzitos* foliados são outro grupo de rochas. As *ardósias* são rochas metamórficas de baixo grau, com sua clivagem originada pela orientação planar preferencialmente de seus minerais placoídes, por isso a superfície é notavelmente plana. Sua composição é essencialmente de mica (muscovita-sericita), quartzo e clorita. Os *quartzitos* são rochas metamórficas originadas do *Arenito* (rochas sedimentares) possuindo uma estrutura mais coesa. Em geral os corpos rochosos são marcados por uma foliação metamórfica com baixo mergulho, paralelizada a sub-paralelizada ao bandamento composicional, que possivelmente corresponde ao acamamento sedimentar e que se encontra definida pela alternância de níveis quartzosos e níveis micáceos, com espessuras variando de milímetros a centímetros, respectivamente (FERNANDES *et al.*, 2003).

Os *arenitos* são outro grupo de rochas sedimentares, formadas pela sedimentação de fragmentos de minerais de 0,006 mm a 2 mm e são compostos por quartzo, feldspato (ou outros minerais de origem ígnea) e fragmentos líticos (MATOS, 2003).

Todos os tipos de rochas depois extraídas têm sua divisão comercial em duas categorias: naturais e tratadas. As rochas naturais são aquelas retiradas na natureza sem qualquer tratamento e sem polimento conservando seu aspecto natural e sendo mais resistentes às ações de intemperismo. Como a resistência das rochas naturais é elevada, elas são mais utilizadas em áreas externas e úmidas, como por exemplo, bordas de piscina. As rochas tratadas são aquelas que recebem tratamento, algum tipo de polimento, aumentando seu brilho e como resultado obtendo valorização das texturas e cores. As tratadas também podem ser lustradas, o lustro é feito de forma diferenciada para cada tipo de rocha. Outros métodos de tratar a rocha são citados:

1. Apicoadas: opção que torna a rocha antiderrapante. Apicoamento processo manual ou mecânico que utiliza o picão, ferramenta própria para desgastar pedras, para conferir um aspecto salpicado.

2. Levigamento: são quando as rochas são desgastadas por abrasivos de granulometria grossa e não recebem mais nenhum tratamento, resultando uma superfície áspera.

3. Flamejamento: é o processo que se aplica exclusivamente ao granito, com o objetivo de torná-lo áspero. Consiste na queima da pedra para que ocorra o desprendimento de alguns cristais.

A diversidade e a qualidade das rochas extraídas no Brasil são responsáveis por torná-lo um grande exportador mundial.

De acordo com SILVA (1998) “o estado do Espírito Santo, no Sudeste do Brasil em decorrência da sua posição geográfica privilegiada, da infra-estrutura de ferrovias, rodovias e portos disponíveis em seu território atua como o principal pólo industrial de rochas ornamentais, contribuindo para o crescimento do estado com importações e exportações”.

Unindo as variedades das rochas com o grande número de importações e exportações percebe-se que os sistemas de assentamento com as argamassas destas rochas ainda não possuem tecnologia avançada. De acordo com NOGAMI (2007) “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”.

Com relação ao assentamento das placas de rochas, foram introduzidas técnicas modernas para a realização do assentamento destas. Os Estados Unidos e a Alemanha inovaram com a técnica de *inserts* metálicos que fixam a rocha na estrutura da edificação através de perfis. Porém esta técnica ainda não é utilizada com frequência, pois necessita de um conhecimento do comportamento estrutural da rocha e uma mão de obra especializada, possuindo um custo mais alto em relação ao assentamento com argamassas, em contra partida os inserts ocasionam uma maior confiabilidade na fixação. Para o assentamento das rochas, na maioria dos casos, ainda são utilizadas as argamassas.

Com relação ao assentamento dos materiais cerâmicos existem normas e especificações, mas para o assentamento das rochas não existem especificações na literatura e por conseqüência são utilizadas, na maioria dos casos, as mesmas normas de assentamento dos produtos cerâmicos. As técnicas de assentamento de placas de rochas com argamassa necessitam de um projeto detalhado para prevenir

patologias, uma vez que, a alteração das rochas se dá logo após o assentamento e posteriormente quando entra em contato com as condições atmosféricas, poluição, produtos de limpeza.

Para permitir que os materiais cimentícios ocupem novos nichos de mercado, faz-se necessário entender seus detalhes com o objetivo de aprimorar a sua resistência mecânica. O aprimoramento desta resistência vem sendo discutida a mais de duas décadas, pois a necessidade de investigar a adesão dos materiais está diretamente ligada à incidência de problemas relacionados à perda ou a falta de aderência.

Das principais propriedades exigidas da argamassa de revestimento no estado endurecido destaca-se a aderência ao substrato. Apesar de sua importância, a incidência de problemas relacionados com a falta de aderência de argamassas tem se acentuado, tornando-se atualmente uma grande preocupação para as empresas.

Os assentamentos das cerâmicas e das placas das rochas são executados com argamassa de acordo com a especificação dos fabricantes. Existem várias normas para o assentamento da cerâmica, porém são escassos os estudos que tratam do assentamento das rochas. O assentamento das placas de rochas pode ser efetivado da argamassa e ou dos *inserts* metálicos, componentes que fazem a ligação entre a placa da rocha e a estrutura da edificação. Para cada especificação do ambiente (interno ou externo) e para cada tipo de rocha existe uma argamassa adequada.

As argamassas começaram a ser utilizadas pelos gregos e romanos. Os gregos preparavam misturas de cal, areia ou adicionavam gesso para obter o estuque ou em certos casos utilizavam também a mistura do pó de *mármore*. Os

romanos utilizavam a argamassa de forma ampla, tanto no assentamento das alvenarias, como nos revestimento de seus edifícios.

Essa dissertação esta organizada com o objetivo e fornecer a base necessária para a contextualização do trabalho.

No Capítulo 3, é feita uma revisão na literatura, ressaltando a normatização para o assentamento das rochas, os ensaios necessários para a caracterização das rochas. Os processos de assentamentos com as especificações das argamassas e o beneficiamento com a geração dos resíduos das rochas ornamentais.

O Capítulo 4 demonstra o programa experimental com os materiais e métodos utilizados para a realização da pesquisa.

Os resultados estão presentes no Capítulo 5 e as análises dos resultados no Capítulo 6. No Capítulo 7 estão as conclusões e as propostas para trabalhos futuros.

O objetivo deste trabalho é determinar a resistência das aderências à tração e correlacionar as forças de arrancamento com diversas rugosidades e composições mineralógicas para cada grupo de rocha (*mármore*s, *quartzitos* e *arenitos*) e entre eles. As argamassas utilizadas serão um fator importante para a classificação da melhor aderência. Serão utilizadas, além da argamassa industrializada, a argamassa composta de resíduos de rochas e a argamassa desenvolvida em laboratório. Por meio dos resultados obtidos neste trabalho, poder-se-á ter uma melhor avaliação das aderências para as rochas escolhidas e um melhor uso das argamassas nos seus assentamentos.



### 3.1 - NORMATIZAÇÃO

Atualmente, segundo a definição da International Organization for Standardization (ISO) “normatização é a atividade que estabelece, em relação a problemas existentes ou potenciais, prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva com o objetivo de obter maior eficiência em um dado contexto”.

A norma tem origem antiga, surgindo da necessidade do homem em controlar suas atividades.

Por volta do ano 1600 a.C., no Egito, estabeleceu-se um processo para produzir blocos de rochas em dimensões padronizadas. Registros dão conta que na Roma Antiga as dimensões eram de 54,2x54,2x4cm e 44,4x44,4x4cm e eram especificadas para o uso de pisos em ruas e estradas. (MOREIRAS, 2005).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) cita os objetivos e benefícios:

#### Objetivos:

- Proporcionar a redução da crescente variedade de produtos e procedimentos.
- Proporcionar meios mais eficientes na troca de informação entre o fabricante e o cliente, melhorando a confiabilidade das relações comerciais e de serviços.
- Proteger a vida humana e a saúde.
- Prover a sociedade de meios eficazes para aferir a qualidade dos produtos.
- Evitar a existência de regulamentos conflitantes sobre produtos e serviços em diferentes países, facilitando assim o intercâmbio comercial.

### Benefícios:

- Utilizar adequadamente os recursos (equipamentos, materiais e mão-de-obra).
- Uniformizar a produção.
- Facilitar o treinamento da mão-de-obra, melhorando o nível técnico.
- Registrar o conhecimento tecnológico.
- Facilitar a contratação ou venda de tecnologia.
- Reduzir o consumo de material.
- Reduzir o desperdício.
- Padronizar componentes.
- Padronizar equipamentos.
- Reduzir a variedade de produtos.
- Fornecer procedimentos para cálculos e projetos.
- Aumentar a produtividade
- Melhorar a qualidade.
- Controlar os processos.

Os ensaios mostram as características físicas, químicas, mecânicas, petrográficas e de alterabilidade das rochas. A Tabela 3.01 mostra os ensaios com as respectivas normas:

**Tabela 3.01-** Normas da comissão de estudo de rochas para revestimento da ABNT.  
([HTTP://www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br))

Número	Título
NBR 12072:1992	Determinação de Desgaste por Abrasão
NBR 12763:1992	Determinação de Resistência a Flexão
NBR 12673:1992	Determinação da Resistência ao Impacto Corpo Duro
NBR 12765:1992	Determinação do Coeficiente de dilatação linear
NBR 12766:1992	Determinação dos Índices Físicos
NBR 12767:1992	Determinação da Resistência a Compressão Uniaxial
NBR 12768:1992	Análise petrográfica
NBR 12769:1992	Ensaio de Congelamento e Degelo
NBR 13707:1996	Projetos de Revestimento de Paredes e Estrutura com Placas de Rochas
NBR 13708:1996	Execução e Inspeção de Revestimento de Paredes e estruturas com Placas de Rochas
NBR 15012:2003	Terminologia

No que se trata de normas para a produção de argamassas, a atual NBR 14081 (ABNT, 2004a) trata apenas de argamassa colante industrializada a base de cimento Portland, especificando três classes (ACI, ACII e ACIII), indicadas pela sigla AC (Argamassa Colante), e os números (I, II, III) em função da resistência de aderência a tração e o tempo em aberto. A norma acrescentou ainda que cada uma das classes pode ser classificada em ACI-E, ACII ou ACIII-E, quando o tempo em aberto for aumentado em, no mínimo, 10 minutos.

A NBR 14084 especifica valores de resistência  $\geq 0,5\text{MPa}$  para o assentamento de cerâmicas na vertical para as argamassas ACI, ACII e para as argamassas ACIII e ACIII E  $\geq 1\text{MPa}$ , conforme ilustra a Tabela 3.02.

**Tabela 3.02-** Especificações para argamassas colantes. (ABNT,1998)

Propriedade	Método de Ensaio	Unidade	Argamassa Colante Industrializada			
			I	II	III	III-E
Tempo em aberto	NBR 14.083	min	$\geq 10$	$\geq 20$	$\geq 20$	$\geq 30$
Resistência de aderência a 28 dias em:						
· cura normal	NBR 14.084	MPa	$\geq 0,5$	$\geq 0,5$	$\geq 1,0$	$\geq 1,0$
· cura submersa em água	NBR 14.084	MPa	$\geq 0,5$	$\geq 0,5$	$\geq 1,0$	$\geq 1,0$
· cura em estufa	NBR 14.084	MPa	-	$\geq 0,5$	$\geq 1,0$	$\geq 1,0$
Deslizamentos	NBR 14.085	mm	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$

\* Quando a argamassa for específica para peso horizontal, não há necessidade do ensaio de deslizamento.

A NBR 13817 (1997)-anexo A classifica as cerâmicas em função da absorção de água. A Tabela 3.03 corrobora a absorção de água para os diversos grupos de argamassas.

**Tabela 3.03-** Especificações para as argamassas quanto à absorção de água. (ABNT, 1997)

PROCESSO DE CONFORMAÇÃO	GRUPOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA			
	Grupo I $E \leq 3\%$	Grupo IIa $3\% < E \leq 6\%$	Grupo IIb $6\% < E \leq 10\%$	Grupo III $E > 10\%$
A EXTRUDADO	Grupo AI	Grupo AIIa1 Grupo AIIa2	Grupo AIIb1 Grupo AIIb2	Grupo AIII
	Grupo BIa Grupo BIb	Grupo BIIa	Grupo BIIb	Grupo BIII
B PRENSADO A SECO	Grupo CI	Grupo CIIa	Grupo CIIb	Grupo CIII
C OUTROS PROCESSOS				

### **3.2- ROCHAS ORNAMENTAIS NO MUNDO**

No período de janeiro a novembro de 2008, as exportações brasileiras de rochas ornamentais acumularam faturamento de US\$ 890,58 milhões, correspondentes, à comercialização de 1.866.299,44 toneladas. Estes valores representaram, respectivamente, uma variação negativa de 11,99% e 18,90% frente ao mesmo período de 2007. Tal variação negativa é menor do que faria supor a dimensão da crise do mercado imobiliário dos EUA – principal destino das exportações brasileiras de rochas – e da economia mundial como um todo. As rochas processadas compuseram 80,97% do total do faturamento e 53,71% do total do volume físico das exportações. As rochas silicáticas brutas participaram com 18,82% do faturamento e 45,96% do volume físico dessas exportações, sendo devidos, respectivamente, apenas 0,20% e 0,32% às rochas carbonáticas brutas (CHIODI, 2008).

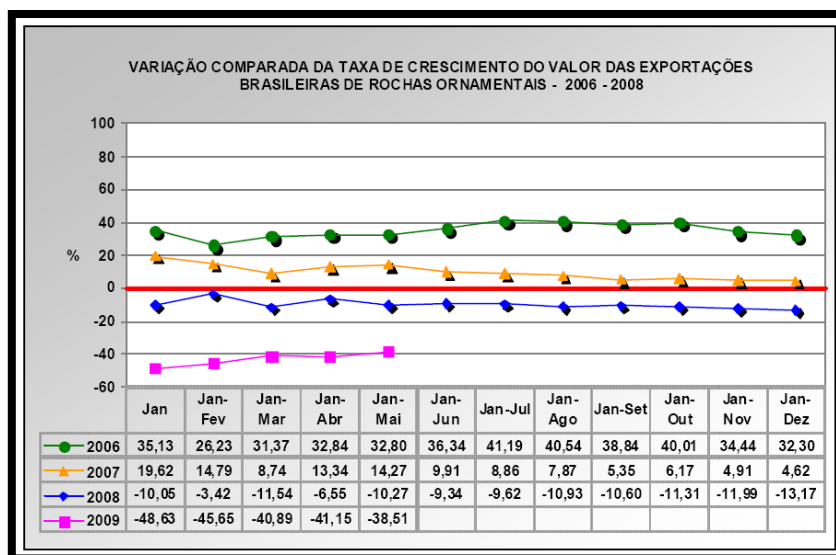
Porém, as exportações brasileiras de rochas ornamentais fecham o ano de 2009 com uma grande queda de 40% no faturamento e de 32% no volume físico, voltando as porcentagens do ano de 2004. Este fato se deve ainda por causa da crise do mercado imobiliário dos EUA. De janeiro a maio de 2009, a participação do faturamento das exportações de rochas, no total do faturamento das exportações brasileiras, caiu para um patamar de 0,43%, o que é significativamente inferior ao dos últimos anos (ABIROCHAS, 11-2009).

As importações efetuadas de janeiro a maio de 2009 somaram US\$ 11,92 milhões e 23.397,70 toneladas, com variação negativa de respectivamente 42,49% e 34,85% frente ao mesmo período de 2008. Também é negativa, portanto, a variação

do preço médio dos principais produtos importados, registrando-se -15,21% para as chapas beneficiadas de rochas carbonáticas. As rochas processadas compuseram 80,11% do valor e 76,13% do volume físico importado. As chapas aglomeradas importadas pelas posições 6810.19.00 e 6810.99.00 somaram US\$ 5,2 milhões e 6.604,60 toneladas, com variação negativa de respectivamente 13,34% e 29,29% (seu preço médio é, portanto, ascendente) (ABIROCHAS, 11-2009).

A Tabela 3.04 apresenta uma comparação feita com as taxas das exportações entre os anos de 2006-2009.

**Tabela 3.04-** Variação comparativa da taxa de crescimento do valor das exportações. (CHIODI FILHO, 2009)



Assim as exportações efetuadas no período de janeiro a maio de 2009 somaram US\$ 238,25 milhões, correspondentes à comercialização de 555.290,79 ton., com variação negativa de respectivamente 38,51% e 33,15% frente ao mesmo período de 2008. As rochas processadas compuseram 80,35% do faturamento e 53,08% do volume físico das exportações.

### 3.2. 1- PANORAMA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS NO BRASIL

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).

A atuação do setor produtivo de rochas ornamentais tem possibilitado ao país participar de forma significativa do mercado mundial, prática favorecida pela singular diversidade e ótima aceitação das matérias-primas brasileiras, especialmente os *granitos*, que para o setor de rochas ornamentais e de revestimento, designa um amplo conjunto de rochas silicatadas, abrangendo monzonitos, granodioritos, sienitos, dioritos, basaltos, entre outros. Segundo as informações extraídas de CHIODI FILHO (2008) o consumo interno de rochas é mostrado no Gráfico 3.01.

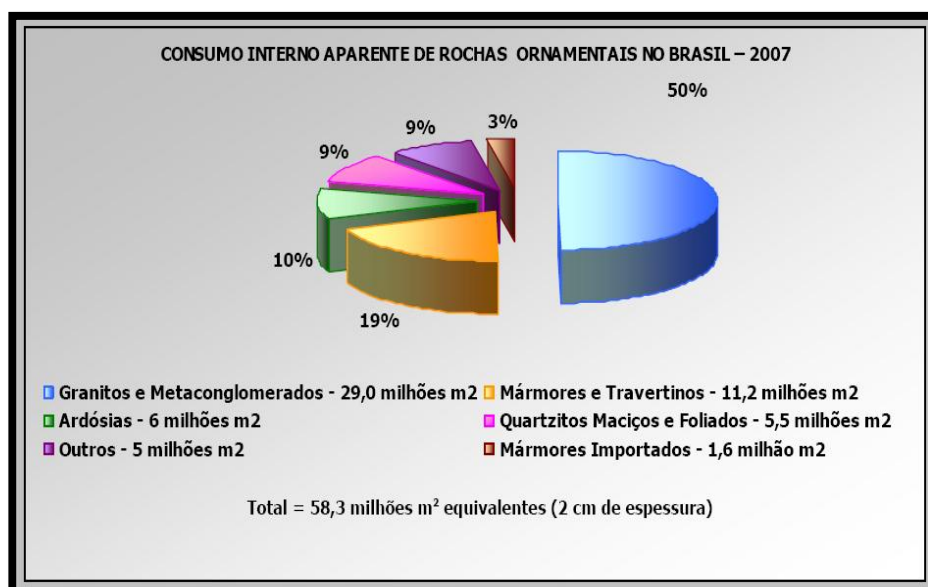


Gráfico 3.01- Consumo interno aparente de rochas ornamentais (CHIODI, 2008)

### **3.3- PARÂMETROS TÉCNICOS DAS ROCHAS ORNAMENTAIS**

#### **3.3.1- CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA**

Segundo BARROS *et al.*, (2002) “as rochas são sistemas químicos, em equilíbrio natural, constituídos por minerais, nas suas variadas “espécies”. Estas “espécies” podem encontrar-se, na natureza, associadas umas com outras – rocha polifásica, tendo em conta as suas compatibilidades, nomeadamente em termos térmicas, ou sozinhas. Neste último caso, uma situação monomineral – rocha monomineral, onde apenas se encontra uma “espécie” que mesmo assim pode apresentar diferentes orientações. Por mais que uma rocha seja “homogênea” quimicamente, ela poderá apresentar propriedades físicas diferentes em determinadas porções do corpo rochoso, dependendo das suas condições de formação (profundidade, pressão, velocidade de resfriamento, entre outras)”.

Além destas propriedades físico-químicas das rochas, deve-se analisar também o local onde elas serão aplicadas, pois em locais com características diferentes daquelas onde foram formadas, ficam sujeitas a condições agressivas, sejam elas antrópicas (atrito ou desgaste, choques, contacto com produtos de limpeza domésticos e industriais) ou naturais (variações de temperatura, exposição solar, água e gelo) (DUARTE, 2003).

Perante as características das rochas pode-se colocar como regra, que todos os materiais rochosos, tanto de ornamentação quanto de revestimento, devem ser submetidos a ensaios de caracterização tecnológica. Os ensaios de caracterização tecnológica nos mostram as características das rochas, tais como cor, dureza, grau



de alterabilidade, que estão ligadas às suas texturas, seus minerais constituintes, sua granulação, descontinuidades, fissuras.

Um fato relevante e de grande importância é a caracterização tecnológica das rochas logo na etapa de pesquisa mineral, ou seja, antes de começar a exploração comercial do material. As exigências das características tecnológicas das rochas são descobertas recentes, porém com o aumento da demanda da utilização das rochas, essas características tecnológicas passam a ser obrigatórias para o conhecimento do material pétreo.

Podemos escolher uma rocha, seja para revestimento ou para ornamentação, não apenas baseando-se no seu padrão estético, mas também observando-se as propriedades físico-mecânicas para que estejam de acordo com os esforços mecânicos e a ação dos intempéries para os quais a rocha estará sujeita.

Além das propriedades físico-mecânica das rochas, pode-se observar nos dados da composição química da rocha, a presença de alguns compostos que afetam a sua durabilidade, assim permite-se saber quais os elementos que contribuem para alteração da rocha por esta reação.

Para determinar as características físicas das rochas são executados os seguintes ensaios: o peso específico aparente, o coeficiente de absorção de água e a porosidade, pois uma rocha muito porosa absorve uma maior quantidade de água na sua estrutura, podendo acelerar os processos de alteração química dos minerais.

As características mecânicas são: a resistência a compressão; à flexão; ao choque; à compressão após os ciclos de gelo e degelo; a resistência ao desgaste; à resistência as amplitudes térmicas; o módulo de elasticidade; o coeficiente de dilatação térmica linear e a micro dureza.

A Tabela 3.05 mostra propriedades importantes para a escolha e utilização de rochas conforme o emprego:

**Tabela 3.05-** Propriedades importantes para a escolha e utilização de rochas em revestimento, conforme o emprego (FRASCÁ, 2001).

Função do revestimento	Pisos		Paredes		Fachadas	Tampos
	Ext.	Int.	Ext.	Int.		
Tipo de rochas	X	X	X	X	X	X
Absorção de água	X	X	X	X	X	X
Desgaste abrasivo	X	X				
Flexão	X	X			X	X
Compressão	X	X	X	X	X	
Dilatação Térmica	X	X	X	X	X	
Acabamento Superficial	X	X			X	
Alterabilidade	X	X			X	X

### 3.3.2 - ANÁLISE PETROGRÁFICA

QUEIROZ *et al.*, (2007) argumenta que as contribuições em nível nacional para o setor de rochas ornamentais, a respeito da importância dos estudos petrográficos, foram inseridas por FRAZÃO *et al.*, (1995) que abordam, de modo qualitativo, sobre a importância dos estudos petrográficos e do nível de informação detalhada que é possível obter por meio dessa técnica. Com isso aprimora-se a compreensão dos resultados tecnológicos e assegura-se uma melhor aplicação da rocha.

Com o estudo petrográfico pode-se identificar a natureza ou tipo de rocha e analisar a composição mineralógica presente na rocha, principalmente os silicatos e

carbonatos que são analisados através das cores, das estruturas, da granulação e a composição mineralógica. Através dessa análise é possível se fazer uma reconstituição histórica da rocha. Esta análise é o método de investigação laboratorial que possibilita avaliar as propriedades no comportamento dos parâmetros físicos e mecânicos da rocha.

Os ensaios para a caracterização das rochas fornecem conhecimentos como: a porosidade, as discontinuidades, as fissuras e o estado de alteração da rocha. Pode-se também mencionar: a textura da rocha, que está relacionada com as proporções dos diferentes minerais constituintes, como a sua natureza, origem, dimensões dos grãos e características dos materiais cimentantes. Todos esses itens são importantes para prever o comportamento das rochas mediante determinadas agressões físicas e químicas, como por exemplo, a ação deletéria dos ácidos em minerais máficos. A literatura cita alguns exemplos:

- Calcários e *mármore*s (constituídos essencialmente pelos minerais calcita e dolomita) são facilmente corroídos por substâncias ácidas presentes em águas de chuva de regiões urbanas.

- Sulfetos (Pirita, calcopirita etc.) presentes em alguns *granitos* e *mármore*s alteram-se facilmente quando expostos ao ar e líquidos ácidos ou alcalinos, formando manchas e desagregação dos minerais.

- *Granitos* contendo granada, mineral com propriedades físicas que os tornam quebradiços diante de solicitações de abrasão e ambientes úmidos, tem baixa durabilidade quando utilizados em determinados pisos e pias.

Para que seja feita a análise petrográfica nas rochas é recomendada a norma ABNT NBR 12678.

### 3.3.3 - ÍNDICES FÍSICOS

Os índices físicos determinam a porosidade, absorção de água e a massa específica nas rochas. 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.

A porosidade mostra relação direta com a resistência físico-mecânica das rochas. A absorção de água nas rochas também é um fator que pode influenciar quando assentada em áreas expostas às intempéries e ambientes de elevada umidade. Pode-se ressaltar que parte das patologias encontradas nas rochas, principalmente nas rochas de revestimento é consequência da percolação e ou acúmulo de soluções. O exemplo são as rochas fixadas com argamassa na fachada de um edifício onde a especificação correta da argamassa ajuda a manter seu aspecto estético.

A massa específica está relacionada com os aspectos de resistência físico-mecânica das rochas mediante os esforços compressivos e de flexão, além de permitir o cálculo do peso individual das placas especificadas no projeto arquitetônico de uma edificação.

NAVARRO (2006) deduziu “que os valores dos índices físicos estão interrelacionados. Por exemplo, quanto menor a densidade para *granitos* de uma mesma linhagem, tanto maior se pode estimar o volume de espaços vazios existentes na rocha. Sendo maior o volume de espaços vazios, maior será a porosidade aparente e, possivelmente, a porosidade efetiva. Com maior porosidade

efetiva, que traduz a existência de poros e/ou cavidades intercomunicantes, maior será a absorção d'água esperada para a rocha e provavelmente menor a sua resistência físico-mecânica”.

As normas utilizadas para a realização do ensaio de índices físicos são ABNT NBR 12766 (1992). A norma ainda sugere que a rocha sofra aquecimento em estufa para a retirada total da água, para posteriormente ser submetida a uma saturação em água a temperatura ambiente; mas os estudos realizados na Universidade Federal de Pernambuco (BARROS *et al.*, 2002) provam que esse procedimento não está correto, pois sua secagem reabre as microfissuras naturais da rocha levando a resultados falsos, por isso sugerem a saturação da rocha no seu estado natural em água fervente a fim de extrair o ar aprisionado na porosidade e nas microfissuras.

#### **3.3.4 - RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO**

A resistência ao desgaste abrasivo está relacionada à dureza na escala de Mols dos minerais e ao estado de desagregação dos minerais das rochas.

As rochas silicatadas são mais resistentes que as rochas carbonatadas definindo assim, que quanto maior a quantidade de quartzo maior será a dureza da rocha.

O ensaio de resistência ao desgaste da rocha tem a finalidade de medir a perda de espessura do material após ser atritado por areia normatizada nº 50. Após a análise dos resultados, poderá ser especificado corretamente o uso da rocha, para revestimento de interiores ou pisos e degraus de escadas onde o tráfego de pessoas e veículos será intenso.

A norma que determina esse ensaio é a NBR 12.042 (ABNT, 1992a).

### **3.3.5 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL**

O ensaio de compressão uniaxial é realizado para utilização da rocha, seja em revestimentos verticais ou em pisos, e visa determinar qual a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços compressivos. A composição mineralógica, a textura, o estado de alteração e a porosidade do material estão relacionados com a tensão da rocha.

Rochas anisotrópicas e, principalmente, as movimentadas, com estruturas definidas por minerais placóides (micas), tendem a apresentar valores distintos da tensão de ruptura, de acordo com o posicionamento do eixo do corpo de prova em relação a essas estruturas. Rochas isotrópicas, de granulação fina a média, são por sua vez normalmente mais resistentes à ruptura por compressão uniaxial.

No estudo da resistência à compressão uniaxial, os corpos de prova são submetidos à compressão em uma prensa que determina a tensão (MPa) provocando a ruptura da rocha, avaliando-se a resistência da rocha quando empregado como elemento estrutural. Este ensaio também é utilizado nas rochas assentadas em revestimentos verticais, pisos, degraus e tampos.

### **3.3.6- RESISTÊNCIA À FLEXÃO**

A resistência a flexão representa a tensão máxima desenvolvida na superfície do corpo de prova quando sujeita ao arqueamento. Este ensaio visa determinar qual a tensão que irá ocorrer à ruptura na rocha quando submetida a esforços fletores. Os revestimentos de rochas em fachadas sofrem constantemente o esforço de carga da pressão do vento.

Este ensaio é importante, pois os resultados obtidos determinam qual a carga máxima à rocha suporta quando submetida a uma força na perpendicular.

Os ensaios de flexão são executados de acordo com duas normas: ASTM-C99 (ABNT-NBR 12763), efetuado com três pontos e designado “tração na flexão”; e o da norma ASTM-C880, efetuado com quatro cutelos (dois de ação e dois de reação), designado resistência à flexão. São diferentes as dimensões dos corpos de prova utilizados para cada um dos procedimentos e as especificações de seus resultados.

### **3.3.7- COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA**

O ensaio de dilatação térmica determina o coeficiente de dilatação térmica linear da rocha quando submetidos a variações de temperatura de 0° a 50°C. Os materiais naturais se dilatam e comprimem com o aumento ou redução da temperatura. Os materiais escuros absorvem mais calor, atingindo um alto índice calorífico, portanto são recomendáveis apenas para edificações em clima frio e ou áreas internas.

Nos revestimentos assentados com argamassa o espaçamento se dá através de rejuntas, materiais ligantes que preenchem os espaços vazios e permitem assim

a dilatação. O maior problema é que o coeficiente de dilatação da argamassa para a rocha é diferente, portanto, pode ocorrer o descolamento, ocasionando a queda das placas de rochas, caso não haja o espaçamento mínimo entre elas. O ensaio é feito com dois corpos de prova aquecidos a 0° a 50°C e novamente resfriados a 0°C, segue a norma ABNT-NBR 12765.

### **3.3.8- RUGOSIDADE**

A rugosidade é um conjunto de irregularidades presentes em diversos materiais e constituídos por pequenas saliências que caracterizam a superfície. Estas saliências podem ser avaliadas com aparelhos eletrônicos, por exemplo, o rugosímetro.

A rugosidade influi em diversos fatores nos diversos componentes. No caso das rochas ornamentais influi na resistência ao desgaste e na qualidade de aderência das rochas nas argamassas. (ROSA, 2004)

SIQUEIRA *et al.*, (2003) cita que “os aparelhos de medição de superfície foram desenvolvidos inicialmente para metais. Com a demanda crescente por outros materiais e a exigência do mercado na busca de um produto de melhor qualidade, surgiu a necessidade de medição do estado de superfície para esses tipos de materiais, dentre eles a madeira”.

A rugosidade de uma superfície pode ser definida como ondulações apresentadas na superfície. SIQUEIRA (2003) completa que “essas ondulações podem apresentar freqüências periódicas e aperiódicas, produzidas diretamente pelo contato da ferramenta de corte ou abrasão sobre a superfície da peça sofrendo

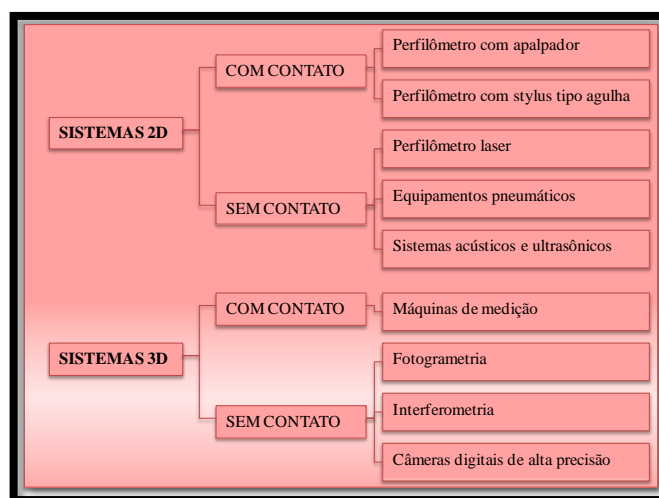


uma influência sobre o tipo de formação de cavaco. Já as ondulações são desvios predominantemente periódicos, que surgem devido à fixação fora de centro, batimento no processo de usinagem ou por vibrações nas máquinas, ferramentas ou peças”.

RENGERS (1970 *apud* NOGAMI 2007) 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 resultados mais rápidos, sofisticados e com mais precisão.

A classificação dos principais métodos disponíveis atualmente para mensurar a rugosidade é apresentada na Tabela 3.06.

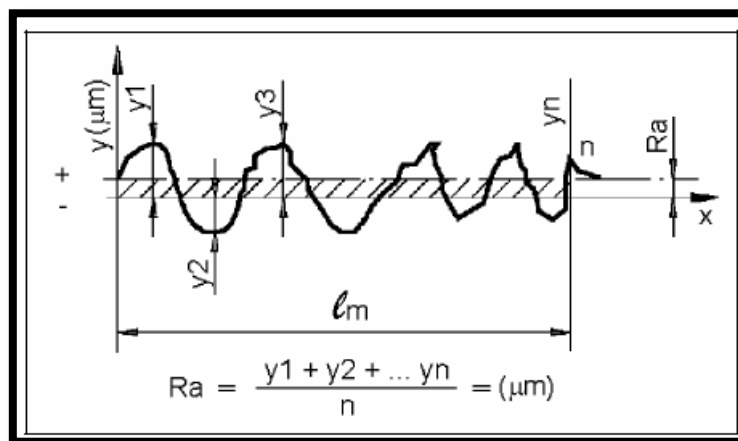
**Tabela 3.06-** Métodos disponíveis de medição da rugosidade (GRASSELLI, 2001).



Os parâmetros para a mensuração da rugosidade são divididos em três classes distintas: aqueles que se baseiam na medida da profundidade da rugosidade, os que se baseiam em medidas horizontais e os que se baseiam em medidas proporcionais.

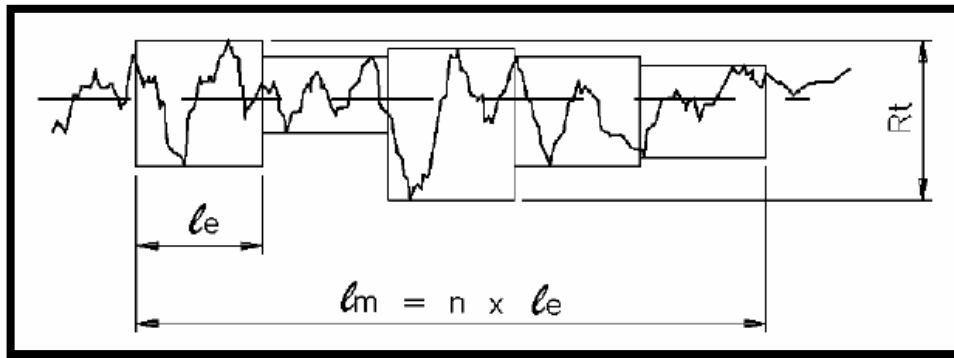
Para aqueles que se fundamentam em medidas de profundidade, os seguintes parâmetros ficam definidos:

- Ra (*roughness average*) – é dado pelo comprimento de amostragem indicando a medida da rugosidade (FIGURA 3.01). ROSA (2004) cita que a indicação do Estado de Superfícies em Desenhos Técnicos esclarece que a característica principal (o valor) da rugosidade Ra pode ser indicada média dos números da classe de rugosidade correspondente, conforme a Figura 3.01.



**Figura 3.01-** Parâmetro da rugosidade, valor de Ra. (ROSA, 2004)

- Rz (Rugosidade média)- a média aritmética dos valores de rugosidade parcial;
- Rt (Rugosidade total) - corresponde à distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo no comprimento de avaliação, como ilustra a Figura 3.02.



**Figura 3.02-** Parâmetros de rugosidade, Rt (ROSA, 2004)

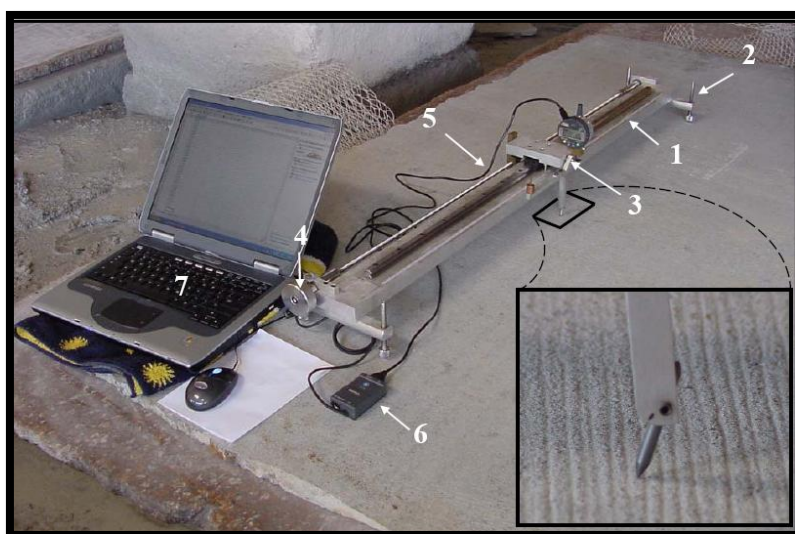
- Rmax - a maior das rugosidades parciais;
- R3z - a média aritmética dos valores de rugosidade parcial. (GONZÁLEZ, 2005).

Naqueles casos, onde as medidas horizontais são fundamentais, os parâmetros a serem medidos são: Lc - que é o comprimento do contato a uma profundidade abaixo da saliência mais alta; e Tp - a fração de contato a determinada profundidade. Por último, o parâmetro de medição de rugosidade fundamentado em medidas proporcionais tem como variáveis: Ke - definido como coeficiente de esvaziamento; e Kp - que é o coeficiente de enchimento (GONZÁLEZ, *op cit*).

Para mensurar a rugosidade dos corpos de prova, realizaram-se os ensaios com um perfilômetro portátil (ARC-Avaliador de Rugosidade de Chapas), modificado por RIBEIRO *et al.*,(2007).

De acordo com RIBEIRO *et al.*, (2007) “o avaliador de rugosidade de chapas, “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 1µm) acionado por um sistema de braços ortogonais interligados, em que em 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 0,25mm. 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 3.03).



**Figura 3.03-** Avaliador de rugosidade de chapas, “ARC” (RIBEIRO *et al.*, 2007).

A necessidade do conhecimento das características do material pétreo que será utilizado nas fachadas ou mesmo em piso é de extrema importância para evitar patologias após seu assentamento, tais como manchamentos, eflorescências de sais, pontos de oxidação entre outros. Esses problemas podem ser minimizados ou até evitados com a correta interpretação dos resultados destes ensaios de caracterização de rochas ornamentais. Portanto, durante a elaboração de um projeto de revestimento com materiais pétreos, torna-se indispensável a interpretação

criterosa dos resultados e a adequação da rocha a um meio, mais condizente com as suas propriedades químico-mineralógicas e físico-mecânicas. Segundo FRASCÁ (2001) “a durabilidade da rocha está baseada no período de tempo em que ela pode manter suas características inatas em uso, sendo consequência das condições do ambiente de aplicação”. As Tabelas 3.07 e 3.08 indicam alguns limites das características das rochas segundo as normas referidas.

**Tabela 3.07-** Valores Limites Especificados pela ASTM para Propriedades de Rochas usadas como Revestimentos (FRASCÁ, 2001).

TIPO DE ROCHA	DENSIDADE ( Kg/m <sup>3</sup> ) (ASTM C97)	ABSORÇÃO (%) (ASTM C97)	COMPRESSÃO UNIAXIAL (Mpa) (ASTM C 170)	MÓDULO DE RUPTURA ( Mpa) ( ASTMc99)	FLEXÃO ( Mpa) ( ASTM e880)	ESPECIFICAÇÃO ( ASTM)
Granito	≥ 2500	≤ 0,40	≥ 31	≥ 10,34	≥ 8,27	C 615-92
<b>Mármore</b> · Travertino · Calcítico · Serpentinico · Dolomítico	≥2595 ≥2800 ≥ 2690 ≥ 2305	≤ 0,75	≥ 52	≥ 7		C 503-89
<b>Calcário</b> · baixa densidade · média densidade · alta densidade	1760- 2160 2160- 2560 >2560	≤12,0 ≤ 7,5 ≤ 3,0	≥ 12 ≥ 28 ≥ 55	≥ 2,9 ≥ 3,4 ≥ 6,9		C 568-89
Arenito ≥60% SiO <sub>2</sub> ≥ 90% SiO <sub>2</sub> ≥ 95% SiO <sub>2</sub>	≥2160 ≥2400 ≥2500	≤ 20,0 ≤ 3,0 ≤ 1,0	≥ 13,8 ≥ 68,9 ≥ 137,9	≥ 2,1 ≥ 6,9 > 13,9		C 616-89

FRAZÃO *et al.*, (1995) também definiram uma especificação para o emprego de mármores e granitos.

**Tabela 3.08-** Valores de Algumas Propriedades de Rochas Ornamentais Brasileiras (FRAZÃO *et al.*, 1995).

Tipo	Limites	Densidade ( Kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade (%)	Absorção (%)	Desgaste (mm)	Impacto (m)	Compressão Uniaxial ( Mpa)	Flexão (Mpa)	Dilatação Térmica ( 10 mm/m <sup>3</sup> C)
Granitos Lato Senu ( N=158)	Mínimo	2545	0,07	0,02	0,34	0,22	52	7,4	5,1
	Máximo	3504	2,92	1,14	2,02	0,98	323	48,1	16,1
	Média	2680	0,58	0,21	0,69	0,48	158	18,5	9,4
Mármore Lato Senu ( N=19)	Mínimo	2606	0,02	0,01	1,19	0,22	37	6,0	3,2
	Máximo	3035	2,62	1,01	8,08	0,88	214	28,5	17,3
	Média	2792	0,51	1,88	3,59	0,44	110	14,6	10,1

### **3.4- ARGAMASSAS DE REVESTIMENTOS:**

De acordo com SELMO (1989) “o uso das argamassas pelas civilizações antigas é um tema de documentação fragmentária e sem evolução cronológica definida, porque a história da Arquitetura enfatiza muito mais a forma dos edifícios do que, propriamente, os materiais e as técnicas de construção”.

Existem várias definições de argamassas; segundo SABBATINI (1986) “a argamassa é constituída essencialmente de materiais inertes de baixa granulometria (agregados miúdos) e de uma pasta com propriedades aglomerantes, composta por minerais e água (materiais ativos), podendo ser composto, ainda, por produtos especiais, denominados aditivos”.

A NBR 13529 (ABNT, 1995) define a argamassa para revestimento como sendo “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. Nesta mesma norma são definidos outros termos usuais envolvendo o revestimento executado à base de cimento e cal, ou ambos, quanto ao campo de sua aplicação. Podem-se encontrar definições como:

- adições: materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja quantidade é levada em consideração no proporcionamento;
- argamassa de cal: argamassa preparada com cal como único aglomerante;

- argamassa de cimento: argamassa preparada com cimento como único aglomerante;

- revestimento: é o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, em espessura normalmente uniforme, apta a receber um acabamento final.

A literatura técnica cita as seguintes principais funções dos revestimentos externos de argamassa (FIORITO, 1994);

- Resistir à ação de variações normais de temperatura e umidade do meio, principalmente quando de revestimentos externos, ou seja, proteger os elementos de vedação da ação direta dos agentes agressivos.

- Proteger as vedações e a estrutura contra a ação de agentes agressivos e, por conseqüência, evitar a degradação precoce das mesmas, aumentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenção dos edifícios;

- Auxiliar as vedações a cumprirem com as suas funções, tais como: isolamento termo-acústico, estanqueidade à água e aos gases e segurança ao fogo;

- Estéticas, de acabamento e aquelas relacionadas com a valorização da construção ou determinação do padrão do edifício.

Diversos autores classificam as argamassas, segundo a consistência, em secas (a pasta preenche os vazios entre os grãos), *plásticas* (a pasta forma uma fina película e atua como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados) e fluidas (os grãos ficam imersos na pasta). A consistência é diretamente determinada pelo conteúdo de água, sendo influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante.

As propriedades da consistência da argamassa requeridas para um assentamento ideal são: boa trabalhabilidade, facilidade de manuseio, de modo geral, quando as argamassas distribuem-se facilmente, não grudam na ferramenta e permanecem plásticas até que seja terminada a utilização (SABBATINI, 2000).

De acordo com o documento MR-3 da RILEM (1982 *apud* NOGAMI 2007), a trabalhabilidade das argamassas é uma propriedade complexa, resultante da conjunção de diversas outras propriedades, tais como consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, endurecimento sob sucção e tixotropia.

A reologia é a ciência que estuda o fluxo e a deformação dos materiais, avaliando as relações entre a tensão de cisalhamento aplicada e a deformação em determinado período de tempo. Considerando o comportamento reológico das argamassas, a consistência está diretamente relacionada com a maior ou menor fluidez, e a plasticidade está relacionada com a viscosidade da argamassa.

Atualmente existem equipamentos sofisticados que permitem uma avaliação mais ampla do comportamento reológico de argamassas, fornecendo inclusive os parâmetros fundamentais (viscosidade e tensão de escoamento). Estes equipamentos não são amplamente utilizados nos laboratórios de tecnologia das argamassas, devido, em primeiro lugar, ao seu elevado custo e, em segundo lugar, a algumas dificuldades operacionais.

Encontra-se em CARASEK (2007) que a adesão inicial da argamassa, também denominada de “pegajosidade” é a capacidade de união inicial da argamassa no estado fresco a uma base. Ela está diretamente relacionada com as características reológicas da pasta aglomerante, especificamente a sua tensão superficial. A redução da tensão superficial da pasta favorece a “molhagem” do substrato, reduzindo o ângulo de contato entre as superfícies e implementação da adesão.



Esse fenômeno propicia um maior contato físico da pasta com os grãos de agregado e também com sua base, melhorando, assim, a adesão.

Quando a argamassa no estado plástico é colocada sobre a superfície absorvente do substrato, parte da água, que contém soluções dos componentes dos aglomerantes penetra pelos poros e cavidade do substrato. No interior dos poros ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento, e logo em seguida, esses compostos exercem a função de ancoragem da argamassa com a base.

A argamassa, devido a sua estrutura porosa, quando expostas às condições climáticas, é capaz de fixar e transferir umidade na fase líquida como na fase vapor. Essa umidade na forma de vapor é fixada nos poros da argamassa através dos processos de adsorção física e condensação capilar, que em condições isotérmicas, essa água fixada nas argamassas é transportada para o interior da rocha através do fenômeno de capilaridade.

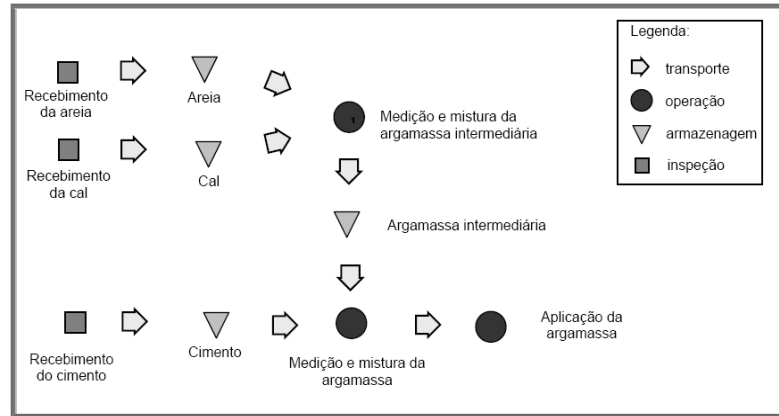
CARASEK (2007) afirma que “em seus estudos micro-estruturais empregando microscópio eletrônico de varredura confirmou que a aderência decorre do intertravamento principalmente da etringita (um dos produtos de hidratação do cimento) no interior dos poros do substrato. Tendo em vista o mecanismo de ligação, pode-se concluir que quanto melhor for o contato entre a argamassa e o substrato, maior será a aderência obtida.”

Segundo CARASEK *op. cit.* “a aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico devido, basicamente, à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação”.

### **3.4.1- ARGAMASSA PARA REVESTIMENTO CONVENCIONAL**

A definição da composição da argamassa convencional é feita no próprio canteiro de obras, a partir da medição e mistura correta dos materiais (cimento, cal, areia e água). As argamassas podem ser compostas por um ou mais aglomerantes (simples ou misto), podendo acrescentar aditivos para o aumento da trabalhabilidade e resistência. A argamassa para revestimento apresenta uma consistência semi seca nas seguintes proporções cimento e areia (1:3) e com relação de água/cimento a/c 0,8. Na preparação da massa, em alguns casos, a sua consistência já fica comprometida logo na medição dos materiais, pois os equipamentos utilizados não são adequados para a correta proporção. Quando se utiliza os aditivos para aumentar a trabalhabilidade da massa, a dificuldade de sua dosagem ainda é maior por ser adicionada uma quantidade mínima em relação aos outros componentes.

Segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998) quando se utiliza a cal na mistura da argamassa produzida em obras é necessário aguardar o seu tempo de maturação, para que seja completada a hidratação da massa, este tempo corresponde a 16 horas. A Figura 3.04 demonstra um fluxograma dos processos para preparação da argamassa mista em obra.



**Figura 3.04-** Fluxograma dos processos para argamassa mista preparada em obra (REGATTIERI *et al.*,2006).

Neste fluxograma pode-se observar que há um grande número de processos, portanto promove maior demanda do transporte dos componentes da argamassa, maior necessidade de áreas de armazenagem, maior quantidade de controles e por conseqüência maior utilização de mão de obra, portanto fica evidente que a opção por argamassa para revestimento fabricadas nos canteiros de obras não é viável, e não são mais utilizadas com freqüência.

### **3.4.2- ARGAMASSA ADESIVA**

As argamassas industrializadas apresentam composição e dosagem estabelecidas diretamente pelo fabricante, sendo necessária apenas a adição da água, porém, é recomendado que se faça uma avaliação antes da utilização da argamassa, pois os fabricantes têm interesse de atender uma grande gama de situações do emprego e também de logística e acabam não levando em conta as condições que serão aplicadas essas argamassas no canteiro de obra.

As fábricas fazem suas especificações de acordo com o ambiente que vai ser assentado o produto, de acordo com o guia Weber (2006) as argamassas são divididas em: ACI- argamassa com características de resistência indicadas para solicitações mecânicas típicas de revestimento internos, com exceção daqueles aplicados em áreas especiais como sauna, churrasqueira, estufas e outras. ACII - é indicada para o uso em ambientes externos. Possui propriedades que diminuem a interferência de temperatura e umidade típica do trabalho ao ar livre. ACIII- é indicada para as condições de altas exigências, com o tempo em aberto estendido. Específica é indicada para todos os locais especiais como saunas, piscinas, estufas.

MACIEL *et al.*,(1998) afirmam “que a aderência de uma argamassa no tardo de uma placa é uma propriedade que o revestimento tem em manter-se fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento”. Resultam-se da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa.

A aderência depende das propriedades da argamassa no estado fresco, dos procedimentos de execução do revestimento, da natureza e características da base e da sua limpeza superficial. A resistência de aderência à tração do revestimento pode ser medida através do ensaio de arrancamento por tração.

Para a realização do ensaio de aderência com argamassa adesiva industrializada assentada com cerâmica é necessário, de acordo com a norma, que o conjunto: substrato padrão, argamassa e placa de rocha devem ser submetidos a cura durante 28 dias, as condições normais de temperatura (23°C) e umidade (65%). Para cura submersa em água, consiste em submeter o conjunto durante 8 dias em condições normais e depois seguir imerso em água durante 20 dias. No final do

período, retira-se da água fazendo o ensaio de arrancamento. Para a cura da argamassa em estufa é necessário colocar o conjunto: substrato padrão, argamassa e placa de rocha em estufa para a cura, nas condições normais por 14 dias e em aquecimento por mais 13 dias. Os valores desejáveis, de acordo com a norma NBR-14084, para o ensaio de arrancamento estão na Tabela 3.09.

**Tabela 3.09-** Resistência de aderência a tração para cerâmica (NBR- 14084).

<b>Tipo da Argamassa</b>	<b>ACI</b>	<b>ACII</b>	<b>ACIII</b>
<b>Cura normal</b>	≥ 0,5 MPa	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
<b>Cura Submersa</b>	≥ 0,5 MPa	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
<b>Cura em Estufa</b>	X	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa

NOGAMI (2007) estudou uma argamassa adesiva, industrializada, de uma empresa líder deste segmento, indicada para o assentamento de *granitos*. A argamassa, de acordo com as instruções de uso, é para assentar *granitos* de até 60 cm x 60 cm, com espessura das placas de até 2 cm, em pisos e paredes. A análise química foi realizada pelo ITP e o resultado está na Tabela 3.10.

**Tabela 3.10-** Resultados de análise química da argamassa industrializada (NOGAMI, 2007).

<b>Determinações</b>	<b>Resultados (%)</b>
<b>Umidade</b>	0,2
<b>Perda do fogo</b>	30,4
<b>Resíduo insolúvel</b>	16,5
<b>Anidrido silícico (SiO<sub>2</sub>)</b>	3,47
<b>Oxido de ferro e alumínio (R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	0,99
<b>Oxido de cálcio (CaO)</b>	36,3
<b>Oxido de magnésio (MgO)</b>	12,1
<b>Anidrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>)</b>	0,72
<b>Anidrido carbônico (Co<sub>2</sub>)</b>	30,1

A composição da argamassa segundo a empresa é cimento branco estrutural, calcário dolomítico, aditivos especiais e polímeros. A densidade aparente é de 1,5 g/cm<sup>3</sup> e o desempenho do produto para a aderência quando a cura for normal é de 0,90 MPa e quando a cura for submersa em água é de 0,60 MPa.

A partir destes resultados, calculam-se os 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(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] e calcítico (CaCo<sub>3</sub>) – calculado estequiometricamente a partir do teor total de anidrido carbônico (CO<sub>2</sub>) – e por agregado silicoso – correspondente ao resíduo insolúvel;

- O teor de cimento foi calculado de duas maneiras: a partir do anidrido silícico (SiO<sub>2</sub>) da argamassa – adotando-se como parâmetro de referência um cimento branco com teor de SiO<sub>2</sub> de 20,4% - e por diferença de 100% em relação ao teor de agregado (NOGAMI, *op. cit.*). Os resultados estão na Tabela 3.11.

**Tabela 3.11-** Resultados das análises da argamassa industrializada (NOGAMI *op cit.*).

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

### **3.4.3- ARGAMASSA “A4” PORCELANATO**

A argamassa para porcelanato foi desenvolvida por Almeida (2005), que através da sua aplicabilidade, comprovou a melhora na aderência através da

rugosidade da superfície em relação às argamassas do mercado. 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 de 1:1, 5 e massa e 1% de superplastificante em relação a massa do cimento.

Segundo Almeida (2005) “o mecanismo de aderência entre a argamassa e o Porcelanato é o resultado de forças entre moléculas (ligação secundária de Van Der Waals) entre o filme polimérico e os compostos hidratados”.

NOGAMI (2007) estudou a comparação entre a argamassa “A4” e a argamassa industrializada realizando o ensaio de arrancamento por tração em rochas graníticas.

NOGAMI (2007) comprovou que “para todos os tipos de rochas (graníticas) ensaiadas a argamassa para porcelanato, apresentou aderência superior a argamassa industrializada. A argamassa para porcelanato e a argamassa industrializada apresentaram resistências de aderências superiores à 1 MPa (valores apresentados superiores a norma)”. A aderência à tração obtida na argamassa para porcelanato foi aproximadamente 2 vezes superior a encontrada para argamassa industrializada, mostrando sua excelente qualidade para o assentamento de placas de *granitos*. A argamassa comum obteve resultados abaixo da norma, como ilustra o Gráfico 3.02.



**Gráfico 3.02-** Resistência de aderência à tração do Sienogranito Vermelho Brasília (NOGAMI, 2007).

### **3.4.4 - ARGAMASSA PRODUZIDA COM O RESÍDUO DA ROCHA**

De acordo com CARVALHO *et al.*, (2003) em Santo Antônio de Pádua são comercializados dois tipos de rochas: a “pedra Miracema” (também chamada de paduana) e a “pedra madeira”. A rocha existente na região é classificada geologicamente como um gnaiss milonitizado, sendo oriundo de um metamorfismo de rochas ígneas com semelhança dos gnaisses. A rocha apresenta variedades localmente conhecidas como pedra madeira, olho de pombo, pinta rosa e granito fino. As três últimas variedades são comercializadas como “pedra Miracema” e apresentam cor cinza. Esse tipo de pedra é o mais abundante na região, sendo utilizada no revestimento de pisos, paredes e muros. A “pedra madeira” apresenta como cores predominantes o rosa, o amarelo e o branco, sendo utilizada em pisos e revestimento de paredes e muros.

Parte dos rejeitos destas pedreiras é usada para preparação de paralelepípedos e brita para construção civil. Em consequência desta extração foi constatado que os resíduos provocados pela extração destas rochas estavam sendo acumulados em torno das pedreiras e serrarias como ilustra a Figura 3.05.





**Figura 3.05-** Acúmulo de rejeitos nas pedreiras (CARVALHO *et al.*, 2003).

Trabalhos reportados na literatura demonstram o potencial da utilização de resíduos de rochas ornamentais, particularmente de *mármore* e granito, no desenvolvimento de diversos produtos para construção civil.

A geração do resíduo será mostrada com mais detalhes no item 3.6 desta dissertação.

A granulometria e a massa volúmica do resíduo de rochas foram ensaiadas por COELHO (2006) e os resultados estão na Tabela 3.12.

**Tabela 3.12-** Caracterização do Resíduo do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (COELHO, 2006)

Ensaio
Material retido na peneira nº 30 (0,6 mm) (NBR – 11579 ) 18,57%
Material retido na peneira nº 200 (0,075 mm) (NBR – 11579 ) 51,48%
Massa Volúmica (NBR – 6474 ) (kg/dm <sup>3</sup> ) 2,697

A reutilização do resíduo para a fabricação de argamassas foi estudada por CARVALHO *et al.*, (2003) que estudaram o resíduo da “pedra Miracema” e da “pedra Madeira” o qual possui sua extração em Santo Antonio de Pádua –RJ.

De acordo com Carvalho *et al.*, (2003) o resíduo é “constituído de biotita (responsável pela cor escura da pedra), quartzo e feldspatos – microclina, anortita e albita . 85% das partículas possuem tamanho menor que 44µm e seu d50 (tamanho em que 50% das partículas são menores) é de cerca de 26µm. A densidade aparente é 1,43 g/cm<sup>3</sup>”.

A Tabela 3.13 demonstra a análise química dos resíduos de “pedra Miracema”. A quantidade de óxidos alcalinos (K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O) é um pouco superior a 8%. O CaO da amostra é originário dos feldspatos plagioclásios e não atua como fundente por sua elevada temperatura de fusão. Quando se faz necessária a queima, a quantidade de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4,4%) dá coloração avermelhada ao produto. As baixas perdas ao fogo indicam pouca quantidade de argila no resíduo.

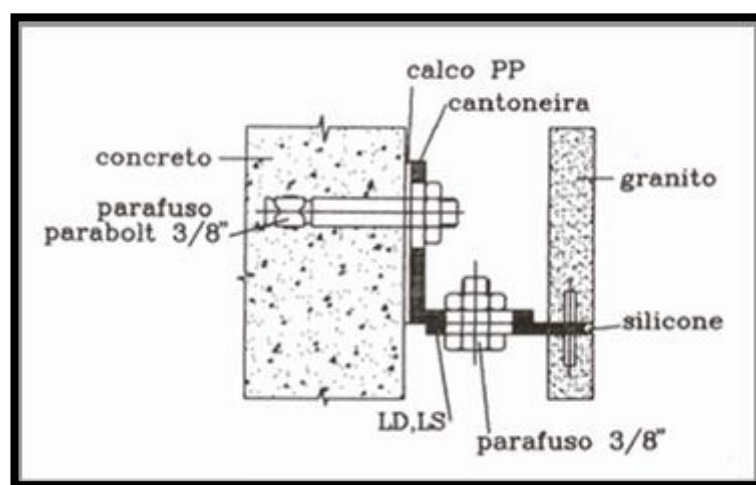
**Tabela 3.13-** Análise Química dos Resíduos do corte da "pedra Mineira" (CARVALHO, 2003).

Compostos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	P.F.
<b>Teor (%)</b>	67,14	14,92	4,40	1,91	2,93	0,73	5,18	0,73	0,50

### 3.4.5 - INSERTS METÁLICOS

Outro método utilizado para a fixação das placas de rochas, principalmente utilizadas em fachadas, são os *inserts*. Os *inserts* são componentes metálicos que fixam na rocha através de um prolongador existente em sua extremidade, sendo esse conjunto ancorado na estrutura da edificação que pode ser de concreto e ou metálica. A fixação das placas de rochas com *inserts* metálicos em fachadas começou a ser realizada a mais de 40 anos na Europa e nos Estados Unidos e só a partir da década de 1980 no Brasil, passando a substituir, gradativamente o sistema

convencional de assentamento com argamassa (FLAIN, 1995). A fixação das rochas com os *inserts* metálicos surgiu da necessidade de melhoria nas condições de segurança, qualidade no assentamento das peças, proporcionar maior conforto térmico e garantir maior agilidade em revestimentos externos de fachadas. Na Figura 3.06 é apontado o esquema de fixação dos *inserts*.



**Figura 3.06-** Forma de fixação dos inserts superior e inferior (SOUZA *et al.*, 2002).

Foi citado por FLAIN (1995) que existem dois tipos de *inserts*, um americano feito em perfil ou chapa e o alemão onde o sistema é em forma de pino. O mais utilizado no Brasil é o alemão. A estrutura dos *inserts* pode ter duas funções, a de sustentar o peso da placa e a de retentores que tem a função de impedir o tombamento das placas. O material geralmente é de aço inoxidável, pois ser mais resistente à corrosão.

A especificação das placas para o assentamento segue três aspectos, a espessura, o controle das características da placa e os aspectos petrográficos.

Os controles das características da placas devem ser feitos em obra, mas especificado por um profissional treinado e o projeto deve ser muito bem definido.

Devem ser levadas em conta as dimensões da placas, a tonalidade de cada placa, se há a existência de fissuras, trincas e imperfeições para que estes não venham a danificar o seu desempenho (MOREIRAS, 2005). Todos esses motivos citados podem afirmar que o assentamento de placas de rochas com as argamassas ainda é o método mais utilizado.

### **3.5 - PATOLOGIAS DAS ROCHAS ORNAMENTAIS**

A necessidade do conhecimento das características do material pétreo que é utilizado nas fachadas ou mesmo em piso é de extrema importância para evitar as patologias após seu assentamento. As patologias são manchamentos, eflorescências de sais, pontos de oxidação entre outros. Essas patologias são evitadas com a correta elaboração e interpretação dos resultados dos ensaios de caracterização de rochas ornamentais. Portanto, durante a elaboração de um projeto de revestimento com materiais pétreos, torna-se indispensável a interpretação criteriosa dos resultados e a adequação da rocha a um meio mais condizente com as suas propriedades químico-mineralógicas e físico-mecânicas. Segundo FRASCÁ (2001) “a durabilidade da rocha está baseada no período de tempo em que ela pode manter suas características inatas em uso, sendo consequência das condições do ambiente de aplicação e dos caracteres físicos mecânicos das litológicas empregadas”.

As rochas ornamentais quando empregadas como rochas de revestimentos são muito duráveis e sua beleza contribui esteticamente, mas se houve falha na especificação pode ocasionar problemas que certamente irão comprometer a qualidade do revestimento e da obra.

As patologias nas rochas são estudadas com o intuito de diagnosticar as causas dos problemas, podendo desta forma, minimizar ou evitar a ocorrência delas nas próximas obras executadas com revestimento pétreo.

Em geral as patologias estão associadas a diversos fatores:

- Especificação de materiais incompatíveis com as condições de utilização, por desconhecimento das características e propriedades das pedras;
- Emprego das técnicas de execução não adequadas;
- Ausência de um projeto construtivo;
- Falta de controle de qualidade das etapas de produção.

As patologias são causadas por agentes físicos, que estão relacionados com as características das rochas; químicos, com o sistema de fixação utilizado e ainda o biológico. No caso dos agentes químicos, a utilização do sistema de fixação com argamassa de assentamento pode ser responsável por surgimento de manchas, causando assim o destacamento das placas. O excesso de água na argamassa pode penetrar na rocha deixando-a com o aspecto molhado além da penetração de impurezas e de sais solúveis que causam as eflorescências (IAMAGUTI, 2001).

Os manchamentos são devido à umidade existente na própria argamassa, provocando alterações cromáticas na superfície da rocha. Um tipo freqüente de manchas é a eflorescência, que ocorre pela cristalização de sais solúveis: o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e o de magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ). Os destacamentos são causados pela má aderência entre a argamassa de assentamento e o tardo da placa de rocha.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, São Paulo-SP, as alterações mais importantes ocorrem pelo ataque físico-químico dos minerais constituintes das rochas, podendo-se destacar alguns fatores conhecidos:

- Os álcalis, por exemplo, na forma de soda cáustica, atacam os minerais silicatados presentes nas rochas graníticas e granitóides em geral; Calcita e dolomita, que são carbonatos e principais constituintes dos *mármore*s, sofrem ataque de todas as soluções aciduladas;
- O oligoclásio, mineral silicatado da família dos feldspatos cálcio-alcálicos, e a nefelina, também um mineral silicatado do tipo feldspatóide, são sensíveis ao ácido clorídrico;
- Os minerais máficos (escuros) são mais alteráveis por oxidação que os minerais félsicos (claros), salientando-se que o hiperstênio, mineral máfico da família dos piroxênios e constituinte dos charnockitos (*granitos* verdes tipo Ubatuba), degrada-se por insolação e modifica o padrão cromático da rocha; (serpentinóis e *quartzitos* oxidam-se mais ou menos rapidamente).
- Os sulfetos, minerais metálicos que ocorrem como acessórios tanto em *mármore*s, quanto em *granitos*, expostos às condições atmosféricas, constituem assim um dos principais problemas das rochas de revestimento. Ensaios específicos são feitos para verificar a alterabilidade da rocha e podem ser úteis para a previsão, atenuação dos problemas decorrentes da coloração, manutenção e/ou limpeza inadequados. Os ensaios normalmente executados são o congelamento e degelo, saturação e secagem e o ataque por reagentes químicos. A Tabela 3.14 ilustra as

diversas situações de ensaios para a previsão do desempenho da rocha (FRASCÁ, 2001).

**Tabela 3.14-** Situações potencialmente degradadoras de rochas ornamentais e ensaios para previsão de desempenho (FRASCÁ, 2001).

OBJETIVO	
<b>Intempéries</b>	
Exposição a intemperismo artificial	Simulação da exposição de rochas, principalmente no revestimento de fachadas, à umidade e irradiação solar (UV).
Exposição a saturação e secagem	Verificar eventual queda de resistência da rocha, após ciclos de umedecimento em água e a secagem em estufa.
<b>Variações térmicas</b>	
Exposição da rocha a choque térmico	Verificar eventual queda de resistência da rocha, após ciclos de aquecimento e resfriamento imediato em água.
Exposição da rocha a congelamento e degelo	Verificar eventual queda de resistência da rocha, pela imersão da rocha em água e realização de ciclos de congelamento e degelo em temperatura ambiente.
<b>Ação de poluentes</b>	
Exposição da rocha a ambientes ácidos e salinos	Simulação de ambientes urbanos poluídos (umidade e H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) e marinhos (névoa salina), potencialmente degradadores de materiais rochosos.
<b>Assentamento em piso</b>	
Efeito da cristalização de sais	Simulação de eflorescências e outros efeitos deletérios por imersão parcial de corpos-de-prova de ladrilhos polidos em soluções de natureza ácida e básica.

O estudo das patologias nas rochas é de extrema importância para a durabilidade do material, pois uma vez instalada a patologia, não existem técnicas de restauração e recuperação do material rochoso.

### **3.6- LIGAÇÕES DA INTERFACE SUBSTRATO-ARGAMASSA-ROCHA**

O mecanismo de aderência entre argamassa colante e o revestimento cerâmico ocorre em função do tipo de argamassa e da porosidade da placa. A aderência entre argamassas cimentíceas e substrato é resultado de duas forças de ligação (JUNG 1988, *apud* ALMEIDA 2005):

- Resistência de aderência à tração, onde a força de ligação é normal ao plano da camada de revestimento;
- Resistência de aderência ao cisalhamento, onde a força de ligação é paralela ao plano da camada de revestimento.

Portanto a aderência da interface da argamassa e do substrato de um revestimento precisa resistir a esforços normais e tangenciais, resistência de tração e cisalhamento.

Existem três fases no processo de aderência dos revestimentos de rochas quando assentados com argamassas. Na primeira fase a argamassa em contato com o substrato permanece aderida, mas não ocorre à completa adesão do sistema. Na segunda fase, ainda na adesão, ocorre o sarrafeamento. Nesta fase a argamassa tende a diminuir a plasticidade e o aumento da consistência. E na terceira fase, a fase da aderência, a argamassa começa a perder água por evaporação e por absorção do substrato e/ou rocha, até completar o endurecimento nos 28 dias.



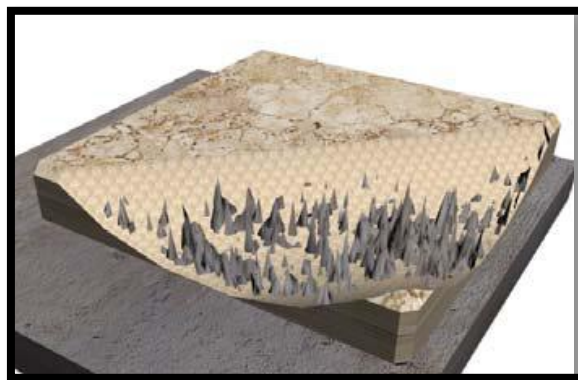
A quantidade de água da mistura das argamassas constitui-se num parâmetro de grande importância no desempenho das argamassas para o assentamento, pois exerce uma forte influência nos parâmetros reológicos, está relacionada com a porosidade e formação de compostos de hidratados do cimento.

A quantidade de água capaz de preencher os poros da rocha define a capacidade da rocha em absorver e reter água e como consequência altera na resistência a aderência. Os valores de porosidade são determinados com base na NBR 12766 (ABNT, 1992e).

O processo de aderência mecânica é relacionado com a extensão de aderência. Esta extensão é a razão entre a área de contato e a área total preenchida com argamassa. Em alguns casos, esta extensão é diminuída com as falhas causadas no contato argamassa-substrato e em materiais com absorção quase zero. Essa interação pode ser classificada em interação física, e está intimamente relacionada com a área de contato superficial entre os materiais aderidos e pela hidratação do cimento.

SABBATINI (2000) cita que “a aderência mecânica ocorre por ação da ancoragem da argamassa na superfície porosa e irregular dos componentes de vedação, devido à continuidade entre a pasta presente na argamassa e a pasta que penetra nos poros dos blocos”.

No presente estudo pode-se relacionar com a penetração nos poros das rochas, ocorrendo assim à precipitação de hidróxidos e silicatos. Os componentes precipitados intracapilares exercem na rocha uma ação de ancoragem, obtendo assim a aderência desejada. Para que ocorra uma perfeita aderência mecânica é necessário que a argamassa ceda água à rocha e que a sucção seja contínua e compatível com os poros em questão. A Figura 3.07 ilustra a aderência mecânica.



**Figura 3.07-** Aderência mecânica (JUNGINGER, 2007).

No caso de argamassas aditivadas com a sílica (argamassa para porcelanato) além da parcela de aderência de origem mecânica, existe também uma parcela de origem química que se estabelece entre as superfícies de contato. ALMEIDA *et al.*,(2006) descrevem que “a sílica ativa consiste num material altamente pozolânico, isto é, de alta reatividade, capaz de reagir com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) para a formação de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), responsável pela resistência da pasta de cimento hidratado”.

A interação física ocorre através do contato interfacial entre os diferentes materiais que desencadeiam a formação de ligações intermoleculares (Van der Walls), e maior quanto maior a área superficial específica dos materiais aderidos (ALMEIDA *et al.*,2006).

A aderência formada pela presença de forças de ligação entre moléculas e a adsorção química da argamassa com o substrato, são processos de ligação regida pelas forças de van der Walls. As ligações de Van Der Waals são conduzidas por forças intermoleculares, entre moléculas eletricamente neutras. Essas forças são as responsáveis por muitos fenômenos físicos e químicos, como a adesão, o atrito e a viscosidade. A ligação secundária de Van Der Waals responsável pelo mecanismo

de aderência é considerada uma ligação fraca em comparação as ligações primárias.

No caso das rochas escolhidas para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração, o *arenito* possui ligação secundária de Van Der Waals, pois possui porosidade acima de 3%.

Os resultados para efeito de comparação das porosidades das rochas encontradas na literatura serão apresentados no Capítulo 5.

### **3.7 - BENEFICIAMENTO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS E A GERAÇÃO DE RESÍDUOS**

Depois de extraídas as rochas em forma de matacões e/ou maciços rochosos, estas são transportadas para as serrarias para o desdobramento ou serragem. O processo de serragem do bloco para a transformação em placas inicia-se com o esquadreamento do bloco de modo que as laterais fiquem paralelas entre si. Em seguida o bloco é serrado nos teares transformando-os em placas com dimensões pré-definidas e de acordo com o fim pretendido. Nos anos 50/60 do séc. XX o processo de serragem dos blocos era feito através de uma areia silicosa, mas com o avanço da tecnologia a serragem passou a ser efetuada por teares com multilâminas com injeção da lama, substituindo à areia silicosa. O processo de transformação dos blocos em chapas ou placas semi-acabadas, possuem espessuras que variam de 1 a 3 cm, e são utilizadas as máquinas denominadas teares (FIGURA 3.08).



**Figura 3.08-** Tear para o corte da Rocha Ornamental.

Os teares possuem um sistema de injeção de água, a cal hidráulica, a granalha de aço com o objetivo de resfriar as lâminas e executar o corte da rocha. Estes três elementos, junto com o pó de pedra, resultam numa lama abrasiva que possui uma viscosidade peculiar.

De acordo com RIBEIRO (2005) “esta viscosidade é a propriedade de um fluido que determina o grau de resistência à força cisalhante. A viscosidade é devida, principalmente, a interação entre as partículas do fluido, resultando quanto mais coesas as partículas estiverem uma as outras, mais viscoso será o fluido”.

A lama abrasiva após certo tempo de operação do desdobramento da rocha não possui a viscosidade necessária para efetuar o corte e resfriar as lâminas, então, faz-se necessário o descarte em barragens de rejeito.

Nesta barragem de rejeito é colocado um floculante para permitir a separação da parte sólida da parte líquida. O líquido é reutilizado e o sólido é levado em uma prensa para a sua reutilização (NOGUEIRA *et al.*, 2006).

Na Tabela 3.15 é ilustrada a composição da lama abrasiva.

**Tabela 3.15-** Composição da lama abrasiva (PERFETTI *et al.*, 1993).

<b>Parâmetro</b>	<b>Concentração</b>
<b>Peso específico (g/L)</b>	1,45 a 1,70
<b>Viscosidade (Centipoise)</b>	900 a 1400
<b>Cal (g/L)</b>	10 a 50
<b>Detritos (g/L)</b>	400 a 700
<b>Água (g/L)</b>	500 a 700

GOBBO *et al.*, (2004) classificam esta lama residual de acordo com a NBR 10004, a resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, o anteprojeto de Política Estadual de Resíduos Sólidos e o Projeto de Lei 611 sobre Disciplina da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, como demonstrado a seguir:

- NBR 10004 (2004) : classificado como classe II B em que se faz menção das rochas. No entanto, não se faz referência específica aos finos e lama gerados.

- Resolução 307: classifica-se como classe B, os quais são entendidos como “resíduos recicláveis para destinações, como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros; onde abrangeria também os finos de serragem, polimento e lustro”.

- Anteprojeto de Política Estadual de Resíduos Sólidos: encaixam-se na categoria II, os quais são “resíduos industriais provenientes de atividades de pesquisa e de transformação de matérias-primas e substâncias orgânicas em novos produtos, por processos específicos, bem como os provenientes das atividades de mineração e extração, de montagem e manipulação de produtos acabados e aqueles gerados em áreas de utilidade, apoio, depósito e de administração das indústrias similares”.

- Projeto de Lei 611: os resíduos de marmorarias se encaixariam dentre aqueles “gerados em comércio, escritórios e serviços”, onde o seu possuidor se desprenda ou tenha a intenção ou a obrigação de desprender-se.

Segundo dados estimados por FREIRE *et al.*, (1995) o volume total de rejeitos é bastante significativo e conseqüentemente seu manuseio e deposição final geram problemas técnicos, ambientais e econômicos para as serrarias. Vale ressaltar que a legislação ambiental está cada vez mais rígida com todos os setores, no qual, as empresas terão que se adequar às normas.

A quantidade de resíduo gerada nas indústrias de rochas é elevada e para tentar contribuir para um maior desenvolvimento sustentável, pesquisadores estudam o resíduo “lama” resultante do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de argamassas, tijolos cerâmicos, peças cerâmicas, aterros compactados e o uso em concretos. De acordo com a citação de NEVES (2002) “as razões que motivam os países em geral são: esgotamento das matérias-primas não renováveis, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes, redução de custos, melhoria da saúde e segurança da população”.

A viabilidade técnica da purificação da lama dos resíduos de serraria de *mármore*s e *granitos* é estudada com uma maior freqüência. Atualmente a necessidade de cumprir as exigências do manejo de resíduos sólidos gerados nas atividades industriais vem sendo imposta nas duas últimas décadas por leis ambientais e movimentos ecológicos em todo o mundo, procurando fazer uma mineração auto-sustentável, respeitando o meio ambiente e a comunidade.

CALMON *et al.*, (1998) citam que “o setor de industrialização de rochas ornamentais não escapa ileso das normas ambientais, sendo lembrado

constantemente como causa de poluição sonora, de poluição de rios, de derrubada de árvores, etc”. Estes problemas podem gerar grandes conflitos, evitáveis quando tomadas providências que comprovem o desenvolvimento harmônico e sustentável do meio ambiente, com os oportunos e necessários benefícios a todas as comunidades.

O resíduo da serragem ou lama, como é normalmente denominado, apresenta uma granulometria fina, com 71,65% de materiais com dimensões inferior a 0,075mm. A variação do tipo de rocha granítica e ou silicatada que foi cortada não proporciona significativas alterações na composição do resíduo final (SOUZA *et al.*, 2005).

A estrutura da lama apresenta três fases distintas: branca, cinza clara e cinza escura. A fase branca apresenta o elemento ferro (93%) e outros elementos tais como o Si (5%), o Ca e Al estão presentes em menor quantidade; esta fase constitui a fração metálica do resíduo. A fase cinza clara é caracterizada como constituintes da mistura abrasiva (cal e resíduo de rocha), Si (40%). A fase cinza escura tem presença de elementos da própria rocha, com a mesma morfologia da fase anterior. (SILVA, 1998). A sua composição química foi comprovada por COELHO *et al.*, (2006), mostrada na Tabela 3.16.

**Tabela 3.16-** Análise química do resíduo do beneficiamento da rocha ornamental silicatada. (Sendo MS: Modulo de Sílica e MA: Modulo de Alumínio) (COELHO *et al.*,2006).

Compostos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	CACO <sub>3</sub>	MS	K <sub>2</sub> O	MA	MgO
Teor (%)	59,95	16,52	9,91	6,95	12,4	2,29	4,58	1,65	1,39

Algumas características específicas dos resíduos graníticos beneficiam sua utilização industrial, tais como sua fina granulometria, sua composição química predefinida e grãos mistos entre os componentes básicos. GONÇALVES *et al.*,(2002) estudou a composição química do resíduo sólido de pó de rocha granítica cujos os resultados são apresentados na Tabela 3.17. O resíduo possui uma massa específica de 2,76 g/ cm<sup>3</sup>, medida conforme a NBR 6474 (ABNT, 1984). Através desta característica os compostos químicos possuem forma cristalina com baixa possibilidade de atividade pozolânica.

**Tabela 3.17-** Composição química do resíduo de rochas graníticas GONÇALVES *et al.*,(2002).

Compostos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	PF
Teor (%)	59,62	12,77	9,49	4,83	1,96	0,03	5,3	2,72	1,98

A avaliação do risco ambiental do resíduo foi analisada por GONÇALVES *op. cit.* através dos ensaios de lixiviação e solubilização, de acordo com a NBR 10005 (ABNT, 1987) e NBR 1006 (ABNT, 1987).

Na NBR 10004 (ABNT, 1987) classifica os resíduos em função das suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, que podem apresentar riscos à saúde pública e ou ao meio ambiente.

A partir dos resultados obtidos, pode-se enfatizar que no ensaio de lixiviação os resíduos apresentaram concentração superior em relação às especificações da norma. No ensaio de solubilização apenas o flúor não é considerado como substância perigosa, classificando os resíduos como pertencente à classe II e composto por material não inerte.



De acordo com MANHÃES *et al.*, (2005) verifica-se “que do ponto de vista mineralógico o resíduo é constituído basicamente por quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), microclina ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ , feldspato potássico), albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ , feldspato sódico), calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )”. Estes resultados confirmam a presença dos constituintes principais de rochas metamórficas do tipo gnaiss, que são ricas em feldspatos e quartzo. As presenças de calcita e hematita estão relacionadas principalmente à adição de granalha e óxido de cálcio como abrasivo e lubrificante no processo de corte/serragem de rochas ornamentais.

Devido à presença de granalha nos resíduos do desdobramento dos blocos foi necessário o estudo do poder de oxidação do Fe. Através dos ensaios de difrações de raios X, pode-se observar que o Fe presente na amostra está se oxidando. (GONÇALVES *et al.*, 2002). Porém, KOTZ e TRIEHEL (1998) afirmam que a química da corrosão do ferro na presença da água e oxigênio é 100 vezes mais rápida que na ausência de oxigênio, e que se não há oxigênio em abundância, a continuação da oxidação do hidróxido de ferro II fica limitada pela formação de óxido magnético (óxido misto de FeO e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

### **3.7.1 - ESTUDOS REALIZADOS COM O RESÍDUO**

Existem vários estudos da utilização do resíduo do beneficiamento, a lama, um deles foi realizado por SOUZA *et al.*, (2005) que relatam um estudo sobre a utilização do rejeito com origem da serragem do granito, nos concretos asfálticos, como *filler*. SOUZA *et al.*, (2005) ressaltaram que “a potencialidade da utilização do rejeito como *filler*, em substituição aos produtos convencionais como o cimento e a

cal, visando o aproveitamento do resíduo e a redução do custo final dos concretos asfálticos”.

Os resultados encontrados indicam que a reutilização do resíduo como *filler* nas misturas asfálticas (para um teor de 5,5% de cimento asfáltico) em substituição aos produtos convencionais satisfazem as normas preconizadas pelo DNER.

COELHO *et al.*, (2006) mostraram nos estudos realizados que é “viável a utilização do resíduo de granito na fabricação de blocos de concreto de vedação”. O resíduo foi retirado dos teares que cortavam rochas silicatadas com a técnica do fio diamantado. O resíduo foi utilizado na forma seca e na forma úmida, substituindo o pó de pedra normalmente utilizado para a confecção dos blocos de vedação.

Os resultados foram satisfatórios, os ensaios da resistência à compressão e a absorção de água dos blocos atendem às prescrições das normas brasileiras.

Segundo a Associação Brasileira Concreto *Portland* (1986), o solo-cimento é o produto endurecido resultante da mistura de solo, cimento e água, que compactados na umidade ótima e máxima densidade, nas proporções estabelecidas em dosagem, adquire resistência e durabilidade por meio das reações de hidratação do cimento. As vantagens dos tijolos de solo-cimento são: baixo custo em relação aos tijolos comuns, durabilidade e segurança estrutural além de permitir a fabricação no local da obra (GRANDE, 2003).

Em decorrência destas vantagens, MIRANDA (2007) apresentou por meio de uma metodologia experimental o aproveitamento do resíduo gerado pelo beneficiamento das rochas em tijolos de solo-cimento, com a finalidade de melhorar o desempenho do material.

MIRANDA *op cit.* analisou a adição de quatro porcentagens do resíduo de rocha: 0%, 10%, 15% e 30%. O cimento foi adicionado com os teores de 5%, 10% e

15%. Todos os tijolos produzidos com os teores de 10% e 15% de cimento ultrapassaram os valores mínimos estabelecidos na NBR 8491 (ABNT, 1984), quanto à resistência à compressão simples e a capacidade de absorção de água. Os tijolos moldados com 15% de cimento atingiram, em média, o valor mínimo de 4,5 MPa aos 28 dias, podendo ser empregados em alvenaria estrutural.

COELHO *et al.*, (2006) estudaram a viabilidade técnica da reutilização do resíduo na fabricação das argamassas de assentamento e revestimento, substituindo a argila por resíduos de rochas. Os traços estudados são: 25%, 50%, 75% e 100% (FIGURA 3.09) e as propriedades avaliadas são índice de consistência, retenção de água, massa volúmica e exsudação de água no estado fresco e resistência à compressão e à tração, massa volúmica, absorção e índice de vazios e absorção de água por capilaridade no estado endurecido.

Traços	Traços de argamassas (cim : argila :resíduo : areia)	Teores de substituição de argila por resíduo (%)
TR	1 : 0,6 : 0 : 5,53	0
T25	1 : 0,45 : 0,15 : 5,53	25
T50	1 : 0,30 : 0,30 : 5,53	50
T75	1 : 0,15 : 0,45 : 5,53	75
T100	1 : 0 : 0,6 : 5,53	100

**Figura 3.09-** Traços das argamassas utilizadas (COELHO *et al.*, 2006).

De acordo com os resultados de COELHO *op. cit.* foi possível selecionar o traço com o teor de 75% de substituição de argila por resíduos do beneficiamento de Rochas Ornamentais, T 75, como mais adequado para as argamassas de revestimento e assentamento com características que atendem aos requisitos das

normas brasileiras. Com esta aplicação, são desenvolvidas, também, alternativas para minimizar os problemas ambientais.

MOURA *et al.*, (2002) demonstraram a viabilidade técnica da utilização do resíduo de corte de *mármore* e granito como agregado miúdo para argamassas de revestimento e produção de lajotas pré-moldadas para piso. A análise dos resultados permitiu concluir que a utilização do resíduo, em até 10%, como agregado miúdo para argamassas de revestimentos é tecnicamente viável, bem como na produção de lajotas para piso.

O beneficiamento da serragem de “*granitos*” nos estados da Paraíba, Pernambuco e Ceará também geram elevadas quantidades de resíduos. NEVES (2002) estudou a aplicação como matéria-prima cerâmica, como componente principal, em substituição aos tradicionais quartzo e feldspato. Os resultados evidenciaram que os resíduos estudados apresentaram caracterização física e mineralógica adequadas para emprego como matéria-prima cerâmica para uso em cerâmica vermelha para a fabricação de blocos maciços, blocos furados, telhas, revestimentos cerâmicos e grés sanitário.

A utilização do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em diversos produtos mostra-se como uma alternativa viável em consequência do custo reduzido e o melhor desempenho dos materiais que foram substituídos, além de minimizar os problemas ambientais causados pela incorreta disposição dos resíduos em barragens de rejeito.

# **CAPÍTULO 4**                      **PROGRAMA EXPERIMENTAL**

---

O programa experimental efetuado buscou identificar o comportamento das argamassas industrializada, para porcelanato e de resíduo quando utilizadas para o assentamento de rochas ornamentais. As variáveis adotadas foram: três tipos de rochas e três tipos de argamassas.

Neste capítulo, apresentam-se o material utilizado e os procedimentos realizados no desenvolvimento da pesquisa.

## **4.1- MATERIAIS**

Na seleção dos materiais foram consideradas rochas de diferentes composições, texturas e estruturas utilizadas como elemento de revestimento nas edificações.

### **4.1.1- ROCHAS**

Para o desenvolvimento da pesquisa foram escolhidas rochas com características e propriedades diferentes, de elevada aceitação comercial. Os ensaios foram executados visando às comparações de comportamento frente à aderência de diversas argamassas com placas de rochas.

As rochas escolhidas foram: o *arenito*, o *quartzito* e o *mármore*.

#### **4.1.1.1- ARENITO**

O *arenito* apresenta-se finamente estratificado seguido de planos bem definidos, com coloração castanha- avermelhada e granulação densa a muito fina medindo entre 0,05 e 0,15 mm na observação microscópica. Sua composição mineralógica da análise da rocha é de 65% de quartzo, 24% de feldspato (plagioclásio e feldspato potássico), 5% de biotita, 1,5% muscovita, opacos (ilmetita- magnetita) <1%, limonita e óxidos-hidróxidos de ferro 2,5%, 1% carbonatos. Sua estrutura mostra-se praticamente isotrópica, com sutil isorientação de alguns grãos de quartzo e de feldspatos inequidimensionais. A estratificação igualmente sutil, perceptível pela presença de microleitões descontínuos mais ou menos enriquecidos em feldspatos, biotita, óxidos e hidróxidos de ferro. O *arenito* trata-se de uma rocha densa e muito fina, com granulometria entre 0,05 a 0,15 mm, denotando sedimentação imatura e com boa seleção granulométrica. O imbricamento mineral é excelente, indicando forte compactação dos grãos minerais, sem presença de matriz argilosa, sendo raras a carbonática e a resultante de óxidos e hidróxidos de ferro. Os grãos minerais, principalmente, os de quartzo e os de feldspatos, apresentam-se em formas irregulares, pouco alongados e na maioria dos casos, com contornos angulosos a côncavo-convexos que resultam no bom engrenamento entre si. O microfissuramento é muito baixo, do tipo intragranular e com raros planos intercomunicantes.

A forte compactação dos grãos minerais devido à ação de um processo de dissolução por pressão de cargas das bordas dos cristais de quartzo é levado a um efeito de silificação parcial do *arenito*. As feições indicativas da forte compactação

devem-se ao bom imbricamento mineral e a presença de lamelas de muscovitas esmagadas e encurvadas, inclusive parcialmente, envolvendo ou emoldurando grãos de feldspatos angulosos sem evidências de aglização. Portanto a coesão da rocha é dada por compactação do sedimento e, provavelmente, pela percolação de fluidos contendo sílica livre, oriunda de processo de dissolução, embora discreto, dos grãos de quartzo do próprio mineral sedimentar, o qual contribuiria para uma cimentação parcial da rocha. Em resumo, trata-se de uma rocha sedimentar classificada petrograficamente como um *arenito* arcossiano com micas. As características físico-químicas são indicadas na Tabela 4.18.

**Tabela 4.18-** Valores médios dos ensaios de caracterização tecnológica do *arenito* (MATOS, 2003).

<b>Massa Específica Aparente Seca</b>	<b>2,320 (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Porosidade Aparente</b>	<b>9,28 (%)</b>
<b>Absorção de Água</b>	<b>4,00 (%)</b>
<b>Flexão</b>	<b>12,8 (MPa)</b>

#### **4.1.1.2 QUARTZITO SÃO TOMÉ**

O Estado de Minas Gerais exibe um grande número de lavras de *quartzitos* que são utilizados como rochas de revestimento ou ornamentais. FERNANDES *et al.*, (2003) dizem que “a maior parte das exportações de *quartzitos* foliados extraídos em placas do Estado de Minas Gerais é do centro Produtor de São Thomé das Letras e a sua importância pode ser avaliada pela aplicação genérica do termo “Pedra São Thomé”.

Estes *quartzitos* apresentam alto grau de recristalização e granulação predominantemente fina; quando constituídos essencialmente por quartzo, mostram textura granoblástica. COSTA *et al.*, (1999) destacam que o quartzito “pode apresentar foliação até muito bem desenvolvida em função da disposição preferencial destes filossilicatos, não permitindo a extração de blocos e o corte regular de chapas. Normalmente, verifica-se falta de padrão e de regularidade nas áreas de extração destes materiais. Nestes casos, a falta de regularidade dos níveis aliada aos métodos não adequados de extração determinam grandes perdas e baixas taxas de aproveitamento para os mesmos”.

Os *quartzitos* foliados São Tomé são extraídos em forma de lajotas quadradas e retangulares para o uso de pisos e/ou revestimentos, pois suas características são constituídas por superfícies planas, antiderrapantes e homeotermos. As extrações em cacos e filetes são basicamente para o uso ornamental.

A rocha é composta essencialmente por quartzo (90-95%) e muscovita (5-10%), além de plagioclásio (tr), turmalina (tr), zircão (tr), magnetita (tr) e rutilo (tr). Exibe textura granoblástica fina de grãos de quartzo, com tamanho variando entre 0,1 e 0,6 mm. Nas frentes de lavra ocorrem intercalados aos *quartzitos* amarelos, sendo a passagem de um nível para outro marcado por contato brusco. Possui uma estrutura foliada/lâminada e metarcóseos listrados com camadas de biotita. Quanto aos graus de alteração, a rocha encontra-se bem preservada, não observando-se nenhuma transformação nos minerais silicáticos. No que se refere ao estado microfissural, os grãos dos minerais apresentam grau de fraturamento incipiente, observado-se microfraturamento intergranular apenas em poucos grãos de quartzo e de minerais opacos. A deformação é caracterizada pela forte orientação das palhetas de muscovitas e contatos poligonizados dos grãos de quartzos. Os estudos



físicos-mecânicos foram realizados por FERNANDES (2002) e são mostrados na Tabela 4.19.

**Tabela 4.19-** Valores médios dos ensaios de caracterização tecnológica dos *quartzitos* do Centro Produtor de São Tomé das Letras (FERNANDES, 2002.)

Massa Específica Aparente seca	2,620 (kg/m <sup>3</sup> )
Porosidade Aparente	0,90 (%)
Absorção de Água	0,4 (%)
Flexão	14,61 (MPa)
Impacto de Corpo Duro	0,67 (m)
Dilatação Térmica	8,90 (mm/m°C)
Desgaste Amsler	1,20 (mm)
Velocidade Prop. Ondas	3, 272 (m/s)
Microdureza knoop	7, 012 (MPa)

#### **4.1.1.3 - MÁRMORE ESMERALDA:**

Os *mármore*s são rochas metamórficas constituídas principalmente por calcita e/ou dolomita, que são responsáveis pela coloração branca; seus minerais acessórios, onde suas impurezas determinaram o padrão cromático da rocha.

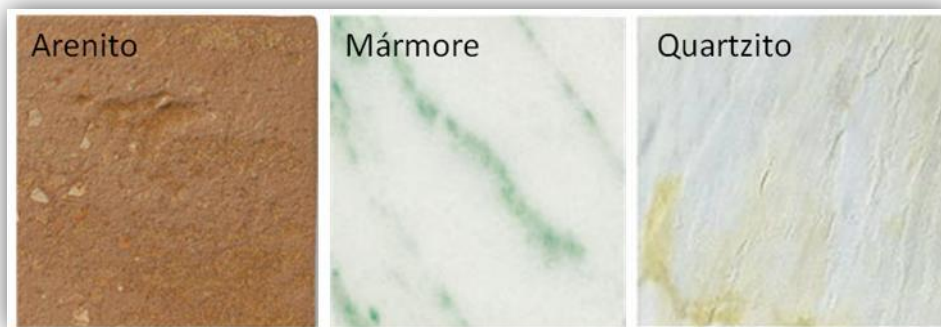
O *mármore* esmeralda é conhecido comercialmente por *Mármore* “Pinta Verde” possui sua classificação petrográfica calcita-dolomita *mármore*. O *mármore* é proveniente do município de Gironda, no Espírito Santo, onde ocorre em lentes de composição dolomítica a calcita com diferentes tonalidades. As lentes são alongadas em sentido NE-SW, associadas a outras lentes de *quartzitos*, xistos e rochas calco-silicatadas, intercaladas em gnaisses graníticos a tonalíticos. A

granulação varia entre 1,5mm a 3,00 mm. Os cristais são euedrais a subedrais com contatos do tipo plano que formam um padrão poligonal, ora bem fino ora não, devido à associação com contatos côncavo-convexos. O microfissuramento é de fraco à intenso em poucos grãos e caracteriza-se por planos intergrãos que podem apresentar comunicação entre si. As características petrográfica foram determinadas pelo ITP (1993) e estão na Tabela 4.20.

**Tabela 4.20-** Valores médios dos ensaios de caracterização tecnológica do *Mármore Esmeralda* (IPT, 1993).

<b>Massa Específica Aparente</b>	<b>2,855 (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Porosidade Aparente</b>	<b>0,17 (%)</b>
<b>Absorção de Água</b>	<b>0,06 (%)</b>
<b>Flexão</b>	<b>13,04 (MPa)</b>
<b>Impacto de Corpo Duro</b>	<b>0,35 (m)</b>
<b>Dilatação Térmica</b>	<b>8,90 (mm/m°C)</b>
<b>Desgaste Amsler</b>	<b>6,92 (mm)</b>
<b>Compressão Uniaxial no estado natural</b>	<b>86,40 (MPa)</b>
<b>Modulo de Deformabilidade</b>	<b>67,20 (Gpa)</b>

A Figura 4.10 ilustra as rochas ensaiadas.



**Figura 4.10-** Rochas ensaiadas

#### **4.1.2- ARGAMASSAS**

A argamassa, segundo SABBATINI (1986) pode ser constituída essencialmente de materiais inertes de baixa granulometria (agregados miúdos) e de uma pasta com propriedades aglomerantes, composta por minerais e água (materiais ativos) e também por produtos especiais denominados aditivos.

As argamassas colantes podem ser definidas de acordo com a NBR 14081 (ABNT, 2004<sup>a</sup>) como um produto industrial, no estado seco, composto de cimento *Portland*, agregados minerais e aditivos químicos que, quando misturado com água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento.

A argamassa é um material ligante largamente utilizado na construção civil, desempenhando diversas funções. Entretanto, muitas falhas vêm sendo observadas nos revestimentos pétreos assentados com argamassa, principalmente em fachadas. O aparecimento de manifestações patológicas em um edifício compromete a sua estética e o conforto ambiental, ocasionando sua desvalorização perante o mercado, aumentando a insatisfação dos usuários e os gastos com

reparos e manutenção. Outro problema é a grande incidência de perda de materiais, que resulta em prejuízos financeiros às empresas, além de acarretar a geração de entulho, que muitas vezes não recebe o devido tratamento e disposição final, causando um impacto negativo também no meio ambiente (COSTA, 2007).

Para a realização dos ensaios escolheu-se três diferentes tipos de argamassa, a argamassa industrializada, produzida com o resíduo da rocha; a argamassa industrializada para *mármore*s e *granitos* de uma empresa líder neste segmento e a argamassa para porcelanato desenvolvida em laboratório.

#### **4.1.2.1- ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA PRODUZIDA COM O RESÍDUO DE ROCHA**

A argamassa produzida com o resíduo de rocha é específica para o assentamento de porcelanatos (tipo ACIII).

A argamassa é produzida no município de Santo Antonio de Pádua, no estado do Rio de Janeiro onde existe o beneficiamento de dois tipos de rochas: a *Miracema* e a *Madeira*. Ambas as rochas são classificadas geologicamente como gnaisses milonitizados, originários de metamorfismo de rochas ígneas. Atualmente o desdobramento destes blocos de rochas é executado de forma manual e de maneira bastante rudimentar, com a presença de pouquíssimos especialistas. Todos esses processos geram enormes problemas ambientais, por exemplo, o acúmulo dos rejeitos nas pedreiras e no entorno das serrarias chega a 80% do volume extraído.

Para melhor entendimento, a argamassa industrializada produzida com o resíduo da rocha será chamada de argamassa resíduo.

#### **4.1.2.2- ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA PARA MÁRMORES E GRANITOS**

A argamassa especificada para o assentamento de *mármore*s e *granitos* é produzida por uma empresa líder no mercado neste segmento cujas características são quase iguais à argamassa para *granitos* citada no capítulo 3. A argamassa de acordo com as instruções de uso, é para assentar placas de *granitos* e *mármore*s de até 60 cm x 60 cm, com espessura de até 2 cm, em pisos e paredes. No preparo da argamassa foi utilizada a proporção de 1 kg de argamassa para 0,236 de água.

#### **4.1.2.3- ARGAMASSA “A4” PARA PORCELANATO**

A argamassa foi desenvolvida em laboratório especialmente para fixação de Porcelanatos por Almeida (2005), no departamento de Arquitetura, da EESC - USP, à qual se deu a designação de Argamassa para Porcelanato citada no Capítulo 2.

A composição desta argamassa 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- PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS**

#### **4.2.1- CONFECÇÃO DO SUBSTRATO PADRÃO**

O substrato padrão onde se assentou os corpos de provas é moldado de acordo com a norma NBR 14082 (1998), com emprego dos seguintes materiais: tela

de aço eletrossoldado, areia, pedrisco e cimento CII , com relação de água cimento 0,45 a 0,5, consumo mínimo de cimento de 400 kg/m<sup>3</sup> e traço indicativo em massa igual a 1:2 – 58:1,26.

Os moldes metálicos (FIGURA 4.11) possuem as seguintes dimensões 40cm x 45cm x 2,5cm e de acordo com a norma NBR 14082/1998 uma absorção de água inferior a 0,5%.

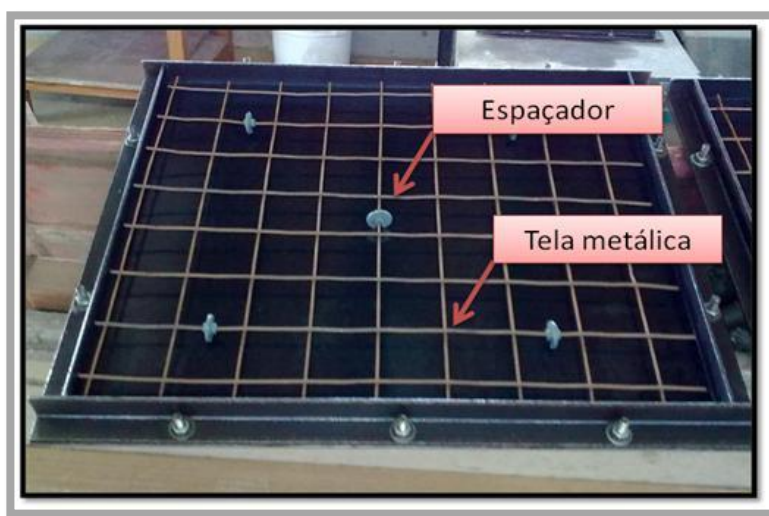


**Figura 4.11-** Molde metálico com a tela de aço e espaçadores plásticos

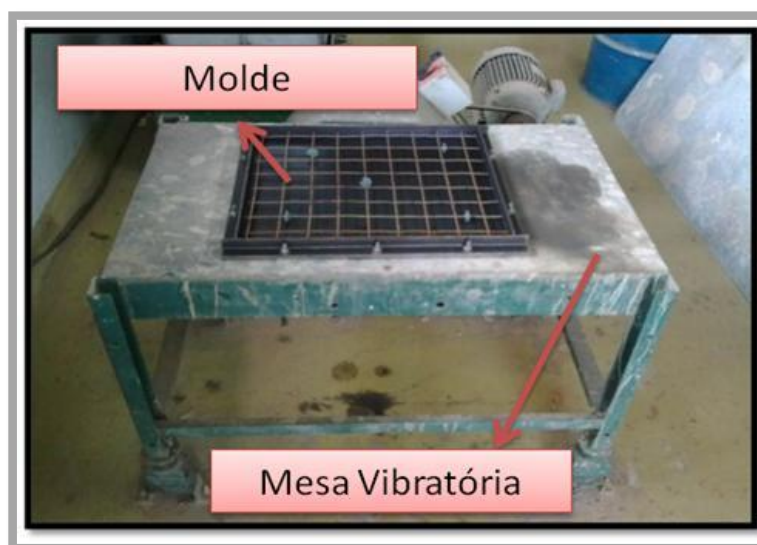
Os moldes metálicos possuem as dimensões exatas e têm o acabamento regular. Após a montagem dos moldes efetuou-se a limpeza para a retirada de impurezas para não influenciar na consistência do concreto e em seguida fez-se necessária a aplicação de óleo nas superfícies para facilitar a desmoldagem do substrato. As telas de aço eletrossoldadas com o espaçadores de plástico foram colocadas dentro do molde, como ilustra a Figura 4.12.

Para a colocação do concreto, preparado em betoneira, é necessário que a tela seja totalmente recoberta e que o concreto seja nivelado com as cantoneiras da forma. Levou-se o molde com o concreto para o adensamento em mesa vibratória (FIGURA 4.13). A cura do concreto seguiu as condições especificadas por norma

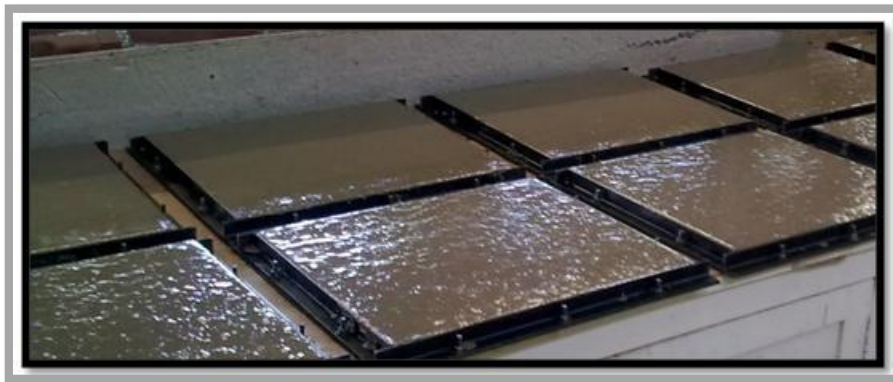
(temperatura de 23° C e umidade relativa do ar de 65%) (FIGURA 4.14). Após 24 horas executou-se a desmoldagem do substrato que em seguida é levado para a cura submersa até completar 7 dias. Na seqüência, retirou-se o substrato da cura submersa o qual foi deixado em ambiente climatizado completando assim sua cura por mais 21 dias.



**Figura 4.12-** Telas de aço eletrossoldadas com o espaçadores de plástico colocadas dentro do molde.



**Figura 4.13-** Preparação do substrato em mesa vibratória.



**Figura 4.14-** Cura do substrato por 24 horas.

#### **4.2.2- PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA**

Inicialmente prepararam-se os corpos de prova para a realização dos seguintes ensaios:

- Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água.
- Determinação da resistência da aderência à tração

##### **4.2.2.1 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE, POROSIDADE APARENTE E ABSORÇÃO D'ÁGUA**

Nessa pesquisa fizeram determinações de índices físicos no *arenito*, no *quartzito* e no *mármore*, baseadas nos procedimentos estabelecidos pela NBR 12766 (ABNT, 1992a): Rochas para revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente)

Para a realização dos ensaios utilizaram-se 10 corpos de prova (FIGURA 4.15), de cada um dos três tipos de rochas, com pesos acima de 150g.





**Figura 4.15-** Corpos de prova das rochas para a execução do ensaio de índices físicos .

Após 24 horas em estufa a 70°C pesou-se os corpos de prova. A seguir, submergiram-se tais corpos de prova em água destilada por 24 h e foram obtidos seus pesos saturados e submersos, com o auxílio de uma balança de precisão. Posteriormente, calcularam-se suas massas específicas secas e saturadas, porosidade e absorção de água, através de fórmulas especificadas na norma ABNT 12.766/1992. Os resultados são mostrados no capítulo 5.

#### **4.2.2.2 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA ADERÊNCIA À TRAÇÃO**

Os corpos de prova para o ensaio de resistência à tração são padronizados por norma. Extraiu-se os corpos de prova das rochas com coroa diamantada de diâmetro de 2,90 cm, como mostra a Figura 4.16. Após a extração, os corpos de prova permaneceram com a forma cilíndrica, altura média 2,3 cm e com o topo e a base paralelos.



**Figura 4.16-** Furadeira de coluna, extraindo o corpo-de-prova do quartzito.

Os corpos de prova do *mármore* permaneceram com uma face polida, proveniente do processo de polimento industrializado e outra face rugosa devido ao processo de serragem dos blocos em placas, executados nos teares.

As amostras do *arenito* apresentaram as duas faces lisas, por isso foi necessário fazer um deslocamento manual com o formão e o martelo em planos de fraqueza. Deste modo, uma das faces da rocha ficou com a superfície rugosa e a outra face lisa.

O quartzito ensaiado mostrava uma face lisa e a outra face rugosa, porém foi constatado que durante o processo de extração dos corpos de prova com a coroa diamantada, eles deslocavam segundo planos de fraqueza inerentes à estrutura plano-paralela da rocha (FIGURA 4.17). Deste modo, as faces dos corpos de prova cilíndricos permaneceram lisas e rugosas e, portanto prontas para executar o ensaio de resistência da aderência à tração.

Esses deslocamentos foram necessários para evitar a ruptura dos corpos de prova sempre no mesmo plano de fraqueza durante o ensaio de aderência à tração evitando possíveis erros durante o ensaio.

Para melhor entendimento, a face rugosa será chamada de face não polida (natural) para os três tipos de rochas.



**Figura 4.17-** Corpos de prova do quartzito após o deslocamento.

#### **4.2.2.2.1- DETERMINAÇÃO DO BRILHO**

Os corpos de prova extraídos das placas de rochas do *mármore* e do *arenito* exibiam na face lisa valores bastante diferentes do quartzito. Verificou-se nas superfícies do *mármore* e do *arenito* brilho médio de 35 e no quartzito brilho zero.

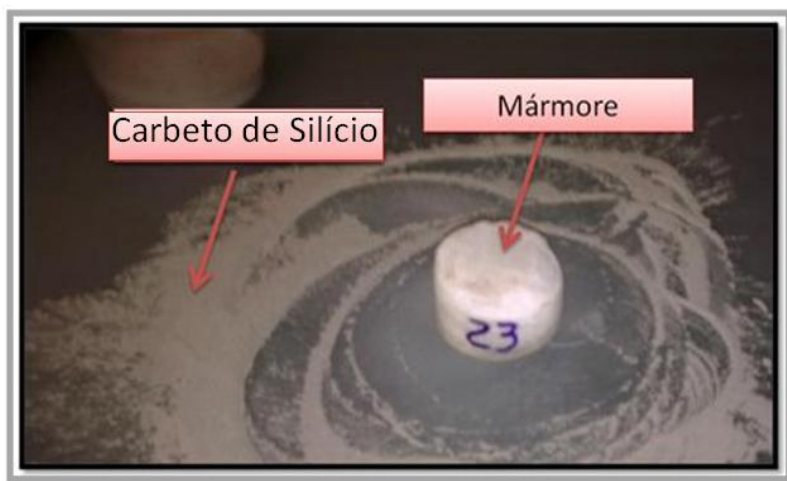
Com o intuito de homogeneizar as medidas de brilho dos corpos de prova, realizou-se medidas nas três rochas com o *Glossmeter* (aparelho de medição de brilho) (FIGURA 4.18).

Foi necessário fazer o desgaste da superfície polida em placa de vidro com o carbetto de silício (produto industrial, formado por carbono e silício, muito empregado como abrasivo, em virtude da sua elevada dureza) (FIGURA 4.19). Após o desgaste,

confirmaram-se as medidas de brilho de todos os corpos de prova iguais a zero, garantindo, assim, as mesmas condições iniciais para todos os tipos de rochas.



**Figura 4.18-** Aparelho de medição de brilho, *Glossmeter*.



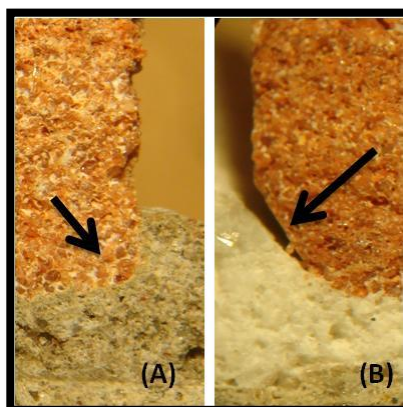
**Figura 4.19-** Carbeto de Silício, desbaste do polimento do *mármore*.

#### 4.2.2.2.2 - RETIRADA DAS BORDAS DOS CORPOS DE PROVA

Depois de preparados os corpos de prova eles foram assentados com a face lisa nas argamassas para realizar o ensaio de resistência de aderência à tração, obtendo o valor de resistência da aderência à tração.

Durante o ensaio de arrancamento percebeu-se que os minerais das bordas dos corpos de prova, fragilizados devido ao movimento da broca durante a extração, permaneciam fixos na argamassa. Com a finalidade de eliminar este efeito nos ensaios de arrancamento dos corpos de prova executados na face não polida (natural) fez-se um corte de aproximadamente 3 mm, com o torno mecânico, nas bordas dos corpos que ficaram em contato com as argamassas, formando ângulo da ordem de 45° entre a base e as paredes.

A Figura 4.20 ilustra (A) o *arenito* assentado com a argamassa resíduo, borda reta e a Figura 4.20(B) o *arenito* assentado com a argamassa industrializada, borda chanfrada. Percebe-se que quando se executa o chanfro na rocha, a argamassa não preenche as laterais dos corpos de prova, evitando a ação da ancoragem da argamassa nos minerais fragilizados, obtendo assim valores reais da resistência da aderência à tração.



**Figura 4.20-** (A) o *arenito* assentado com a argamassa resíduo, borda reta e (B) o *arenito* assentado com a argamassa industrializada, borda chanfrada.

Depois de executado o chanfro nos corpos de prova, fez-se necessário a medição da nova área de contato, que permaneceu menor que o diâmetro de 2,9 cm da broca durante o processo de extração. Foram feitas quatro medidas aleatórias do diâmetro dos corpos de prova e tirou-se a média para o cálculo da área.

#### **4.2.2.2.3 - DETERMINAÇÃO DA RUGOSIDADE DOS CORPOS DE PROVA**

Para a medida da rugosidade utilizou-se o equipamento ARC -“Avaliador de Rugosidade de Chapas”, (FIGURA 4.21). RIBEIRO *et al.*, (2005). Uma vez nivelado o aparelho e fixado o corpo de prova na mesa, estabeleceu-se uma referência horizontal.

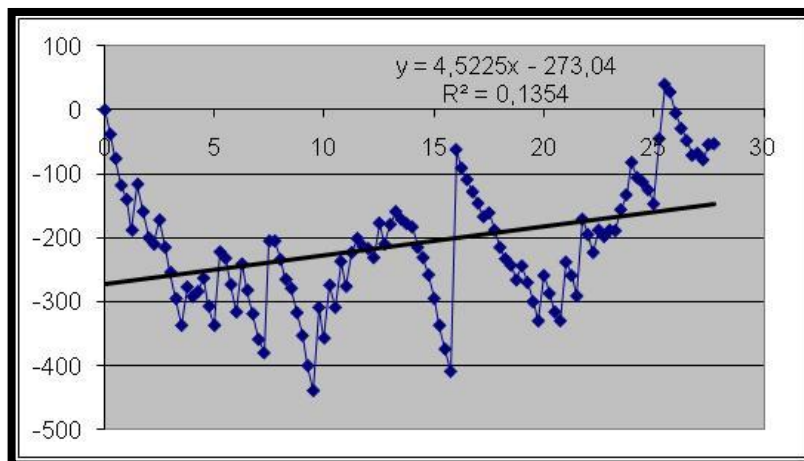
A referência para iniciar as medidas na superfície não polida do *mármore* foi no sentido ortogonal às estrias deixadas pelas lâminas do tear. No *arenito* e no quartzito que foram deslocados manualmente segundos planos de fraqueza, mediu-se a rugosidade em uma linha escolhida ao acaso.

Iniciou-se a medida colocando a agulha do aparelho nos corpos de provas, girou-se o anel graduado movimentando-se horizontalmente o carro e no defletômetro (precisão de 1mm) fez-se as leituras das depressões e saliências, as quais foram automaticamente registradas em computador ligado ao equipamento. Elaborou-se uma planilha específica para a anotação das informações coletadas nas medições utilizando-se o *software* Excel 2007. Com estes valores construiu-se um perfil de rugosidade [Rugosidade (mm) x L (mm)].

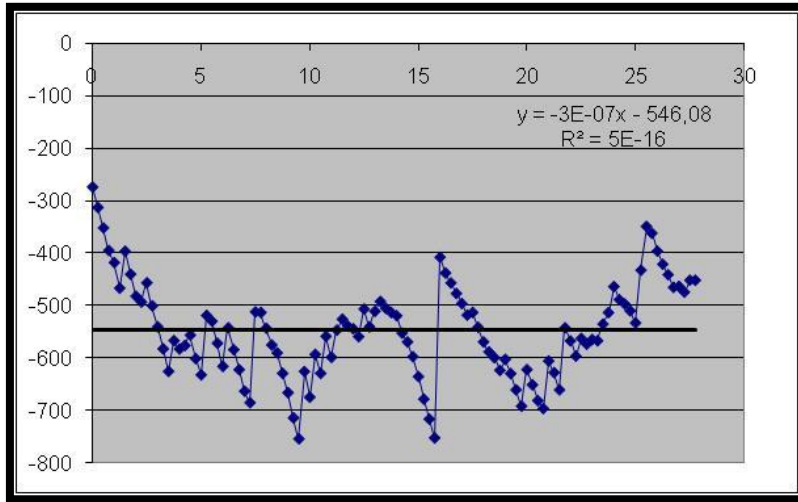


**Figura 4.21-** Avaliador de Rugosidade de Chapas.

Visando eliminar o efeito de forma nos perfis obtidos, executou-se horizontalização pelo método pelo método dos mínimos quadrados (MUMMERY, 1992), conforme apresentado nas Figuras 4.22 e 4.23. Uma vez feita esta horizontalização define-se o perfil de rugosidade correto.

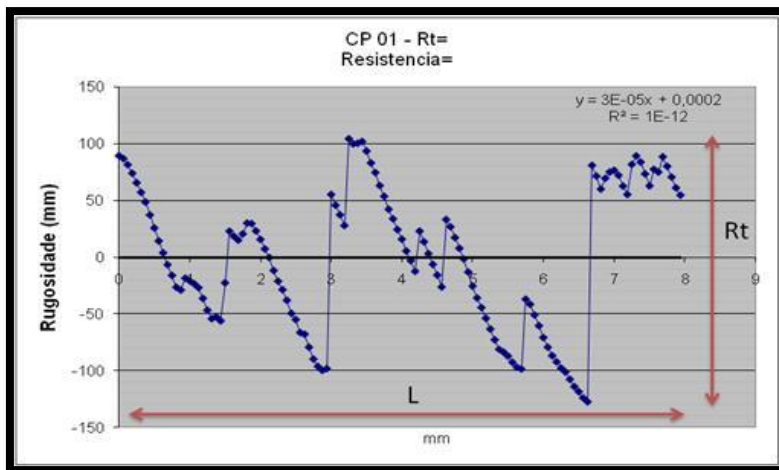


**Figura 4.22-** Rugosidade inicial.



**Figura 4.23-** Perfil horizontalizado (MUMMERY, 1992)

A rugosidade total ( $R_t$ ) é obtida pela diferença entre o pico mais alto e o vale mais baixo ao longo do comprimento avaliado, conforme mostra a Figura 4.24.



**Figura 4.24-** Definição de  $R_t$  (SANDVIK, 1994 *apud* SPÍNOLA, 1998 *in* RIBEIRO, 2005)



### **4.2.3- DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO**

A aplicação das argamassas nas superfícies do substrato seguiu os procedimentos descritos na NBR 14082 (ABNT, 1998).

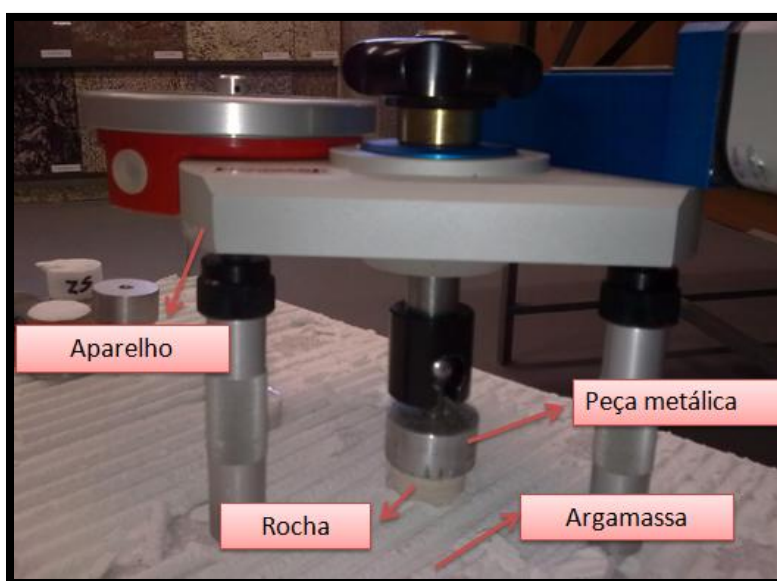
O substrato padrão deve estar seco, livre de qualquer partícula solta e isento de manchas de óleo, tintas, gordura ou outras condições que prejudicam a aderência.

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. Em seguida são gerados sulcos com o lado denteado da desempenadeira ao longo da superfície que deve estar firmemente apoiada sobre o substrato e com a lâmina ligeiramente inclinada na direção do movimento. Uma vez preparada às argamassas assentou-se os corpos de prova com a face lisa e a face rugosa. Mantiveram-se as condições especificadas pela norma (temperatura de 23°C e umidade relativa do ar de 65%) por 28 dias (FIGURA 4.25).



**Figura 4.25-** Assentamento dos corpos-de-prova com argamassa de resíduo.

Para realizar o ensaio de arrancamento, fixou-se um cilindro metálico na rocha com a cola base (araldite). Após 24 horas com a cola totalmente seca, pode-se encaixar o equipamento de arrancamento para dar início ao ensaio. O equipamento para o arrancamento por tração apresenta uma manivela que regula a velocidade de carregamento com precisão de 0,05 KN como ilustra a Figura 4.26 e seus procedimentos são descritos pela norma (NBR 14084).



**Figura 4.26-** Equipamento utilizado no ensaio de resistência de aderência à tração.

Após a medição da resistência da aderência à tração, analisaram-se os resultados que são descritos no capítulo 6.

#### **4.2.4- PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE NA LUPA**

A interface argamassa-rocha dos corpos de prova foi analisada através da microscopia de luz refletida. Neste caso, foi necessário deixar alguns corpos de

prova fixos na argamassa para confecção das fatias que englobam as sessões substrato-argamassa-rocha.

Restringiu-se o número de amostras deixadas fixas nos substratos a 12, simulando situações distintas, sendo 2 corpos de prova assentados na face não polida e 2 na face lisa, para cada tipo de rocha.

A preparação das amostras destinadas a análise na lupa foi feita com corte transversal na interface argamassa-rocha. Os cortes foram executados com disco diamantado refrigerado com água. Depois com um disco de corte diamantado de menor diâmetro e visando mais precisão, fez-se o acabamento da sessão em fatias finas. Para o melhor acabamento da superfície que foi analisada lixou-se as amostras com lixa d'água.

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados para a caracterização das rochas ornamentais estudadas.

### **5.1- DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE (SECA E SATURADA), POROSIDADE E ABSORÇÃO DE ÁGUA**

O comportamento mecânico, físico e químico das rochas, quando utilizadas como material de revestimento e assentadas com argamassas, depende de fatores como a quantidade de vazios presentes na rocha e a quantidade de poros contidos nas argamassas.

#### **5.1.1- DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE (SECA E SATURADA)**

A massa específica aparente seca ( $\rho_d$ ) é a relação entre a massa dos sólidos e o volume total da amostra ( $\text{g/cm}^3$ ).

A massa específica saturada aparente ( $\rho_{\text{sat}}$ ) é a relação entre a massa dos sólidos mais a massa d'água que ocupa os vazios e o volume total da amostra de rocha ( $\text{g/cm}^3$ ).

Os resultados da massa específica aparente das rochas são mostrados na Tabela 5.21.

**Tabela 5.21-** Resultados da massa específica aparente das rochas

	Massa Específica Aparente Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica Aparente Saturada (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Arenito</i>	1,858	1,950
<i>Mármore</i>	3,002	3,004
Quartzito	2,081	2,088

### 5.1.2- DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE APARENTE

As tabelas 5.22, 5.23, 5.24 ilustram os resultados de porosidade aparente para os três tipos de rochas.

**Tabela 5.22-** Resultados dos ensaios de porosidade aparente para o *mármore*

CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Massa submersa (g)	Porosidade (%)
1	353,54	353,86	232,42	
2	352,24	352,50	231,32	
3	379,9	380,17	254,64	
4	360,61	360,9	243,89	
5	335,34	335,62	212,34	
6	348,07	348,4	224,87	
7	362,17	362,47	247,65	
8	370,54	370,88	254,54	
9	378,90	379,14	278,98	
10	350,87	351,23	217,87	
<b>Média</b>	359,21	359,51	239,85	0,25

**Tabela 5.23-** Resultados dos ensaios de porosidade aparente para o quartzito

CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Massa submersa (g)	Porosidade (%)
1	223,01	223,88	112,89	
2	170,48	171,08	97,45	
3	186,97	187,5	112,45	
4	218,92	219,68	110,87	
5	215,96	216,68	106,89	
6	232,26	233,07	123,43	
7	191,22	191,76	98,67	
8	194,67	195,23	102,45	
9	192,45	193,12	99,45	
10	186,23	186,98	87,45	
<b>Média</b>	201,217	201,898	105,2	0,70

**Tabela 5.24-** Resultados dos ensaios de porosidade aparente para o arenito

CP	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Massa submersa (g)	Porosidade (%)
1	163,86	171,33	81,23	
2	157,21	164,42	79,56	
3	165,06	172,92	83,23	
4	165,29	172,96	83,56	
5	180,79	189,27	97,56	
6	160,32	168,17	80,45	
7	162,53	170,71	79,45	
8	160,7	168,17	80,34	
9	166,54	178,67	87,56	
10	189,45	197,34	101,34	
<b>Média</b>	167,175	175,396	85,428	9,14

### **5.1.3- DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DA ÁGUA**

A absorção de água é a percentagem de massa de água absorvida no volume de vazios da rocha em relação à sua massa de sólidos. Os resultados da absorção da água das rochas são mostrados na Tabela 5.25.

**Tabela 5.25-** Resultados da absorção da água das rochas

<b>Absorção de água</b>	
<b>Arenito</b>	4,91%
<b>Mármore</b>	0,08%
<b>Quartzito</b>	0,34%

### **5.2- MEDIDAS DE BRILHO DO MÁRMORE E DO ARENITO**

O mármore e o arenito apresentaram medidas médias de brilho igual a 34,50 e 18,66 e o quartzito igual a zero. Para que todos os corpos de prova mantivessem as

mesmas condições iniciais, ou seja, brilho final igual a zero, foi realizado o desgaste no *mármore* e no *arenito*. Após o desgaste do brilho nas superfícies polidas das rochas, para todas as rochas, esta face será chamada de face lisa.

A Tabela 5.26 ilustra os resultados das medidas de brilho iniciais do *mármore* e do *arenito*.

**Tabela 5.26-** Medidas do brilho realizadas com o *Glossmeter* no *mármore* e no *arenito*.

Brilho dos corpos de prova			
<u>MÁRMORE POLIDO</u>		<u>ARENITO POLIDO</u>	
Medidas iniciais		Medidas iniciais	
CP		CP	
1	32	1	15
2	36	2	18
3	23	3	32
4	25	4	16
5	31	5	12
6	41	6	16
7	37	7	17
8	38	8	22
9	32	9	15
10	37	10	17
11	32	11	23
12	23	12	20
13	33	13	12
14	37	14	15
15	41	15	19
16	38	16	22
17	34	17	23
18	32	18	15
19	37	19	19
20	42	20	32
21	38	21	21
22	41	22	16
23	39	23	13
24	29	24	18

### 5.3- MEDIDAS DAS ÁREAS DOS CORPOS DE PROVA APÓS O CHANFRO

Os corpos de prova, que inicialmente apresentaram diâmetro de 2,90 cm (correspondente ao diâmetro interno da broca diamantada), passaram a mostrar menores diâmetros, após a execução do chanfro. Para o cálculo da resistência à tração foi utilizada a média das áreas dos corpos de prova. As Tabelas 5.27, 5.28, 5.29 mostram os resultados.

**Tabela 5.27-** Medidas das áreas dos corpos de prova do *arenito*, face não polida.

ARENITO-FACE NÃO POLIDA						
CP	$\phi$ (cm)	$\phi$ (cm)	$\phi$ (cm)	$\phi$ (cm)	MÉDIA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA (cm <sup>2</sup> )
	1	2	3	4		
1	2,79	2,77	2,76	2,78	2,775	6,045
5	2,77	2,77	2,78	2,78	2,775	6,045
4	2,77	2,78	2,77	2,79	2,778	6,056
6	2,78	2,75	2,72	2,72	2,743	5,904
8	2,76	2,77	2,74	2,77	2,760	5,980
9	2,77	2,77	2,77	2,76	2,768	6,012
7	2,69	2,68	2,69	2,68	2,685	5,659
2	2,72	2,76	2,71	2,67	2,715	5,786
3	2,78	2,77	2,78	2,77	2,775	6,045
11	2,79	2,79	2,71	2,72	2,753	5,947
10	2,77	2,77	2,75	2,78	2,768	6,012
12	2,79	2,79	2,8	2,8	2,795	6,132
16	2,72	2,71	2,73	2,72	2,720	5,808
17	2,79	2,75	2,79	2,78	2,778	6,056
19	2,68	2,67	2,68	2,69	2,680	5,638
				Área	média (cm <sup>2</sup> )	5,970



**Tabela 5.28-** Medidas das áreas dos corpos de prova do *mármore*, face não polida.

<b>MÁRMORE/FACE NÃO POLIDA</b>						
CP	$\phi$ (cm)	$\phi$ (cm)	$\phi$ (cm)	$\phi$ (cm)	MÉDIA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA (cm <sup>2</sup> )
	1	2	3	4		
1	2,62	2,78	2,79	2,97	2,790	6,111
2	2,78	2,62	2,61	2,61	2,655	5,533
3	2,71	2,75	2,75	2,72	2,733	5,861
4	2,71	2,69	2,65	2,71	2,690	5,680
5	2,77	2,78	2,76	2,76	2,768	6,012
6	2,69	2,68	2,69	2,68	2,685	5,659
7	2,76	2,78	2,77	2,76	2,768	6,012
8	2,76	2,62	2,67	2,66	2,678	5,628
9	2,78	2,78	2,77	2,76	2,773	6,034
10	2,79	2,76	2,73	2,74	2,755	5,958
11	2,75	2,79	2,77	2,76	2,768	6,012
12	2,63	2,65	2,52	2,68	2,620	5,389
13	2,78	2,79	2,79	2,79	2,788	6,100
14	2,75	2,73	2,76	2,59	2,708	5,754
15	2,66	2,66	2,67	2,66	2,663	5,565
					Área média (cm <sup>2</sup> )	5,890

**Tabela 5.29-** Medidas das áreas dos corpos de prova do *quartzito*, face não polida.

<b>QUARTZITO/FACE RUGOSA</b>						
CP	$\phi$ (cm)	$\phi$ (cm)	$\phi$ (cm)	$\phi$ (cm)	MÉDIA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA (cm <sup>2</sup> )
	1	2	3	4		
1	2,72	2,71	2,72	2,71	2,715	5,786
2	2,66	2,65	2,66	2,65	2,655	5,533
3	2,68	2,68	2,67	2,69	2,680	5,638
4	2,68	2,66	2,67	2,67	2,670	5,596
5	2,73	2,77	2,74	2,75	2,748	5,926
6	2,72	2,72	2,71	2,72	2,718	5,797
7	2,71	2,71	2,71	2,69	2,705	5,744
8	2,67	2,67	2,67	2,67	2,670	5,596
9	2,73	2,73	2,73	2,73	2,730	5,851
10	2,71	2,74	2,74	2,74	2,733	5,861
11	2,75	2,71	2,73	2,75	2,735	5,872
12	2,71	2,71	2,72	2,71	2,713	5,776
13	2,76	2,77	2,77	2,75	2,763	5,991
14	2,69	2,68	2,68	2,68	2,683	5,649
15	2,76	2,76	2,77	2,76	2,763	5,991
					Área média (cm <sup>2</sup> )	5,874

## 5.4- PERFIS DE RUGOSIDADE DAS ROCHAS

Apresentam-se nas Figuras abaixo, a título de ilustração, como foram obtidos os perfis de rugosidade das rochas na face lisa e na face não polida. Todos os demais perfis encontram-se no Anexo A e no Anexo B desta dissertação.

### 5.4.1- PERFIS DE RUGOSIDADE DO ARENITO (FACE LISA E FACE NÃO POLIDA)

Apresentam-se nos Gráficos 5.03 e 5.04 os perfis de rugosidade do arenito na face lisa e na face não polida.

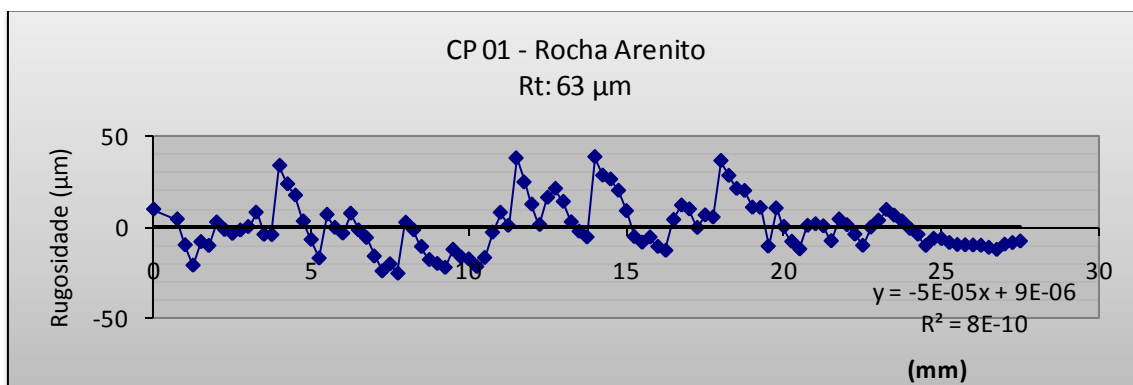


Gráfico 5.03- Perfil de rugosidade do arenito (face lisa).

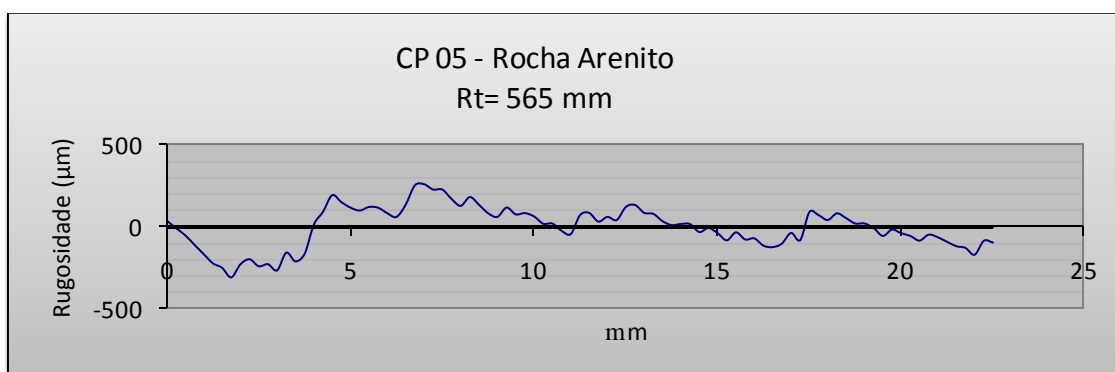
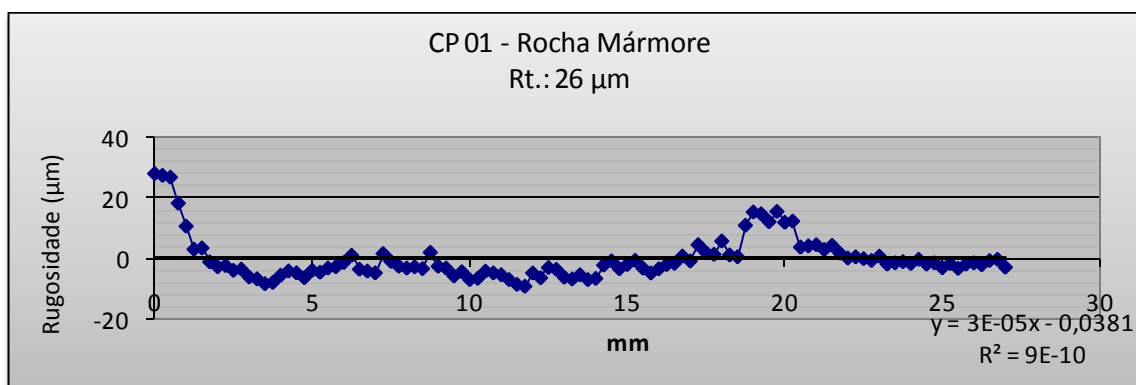


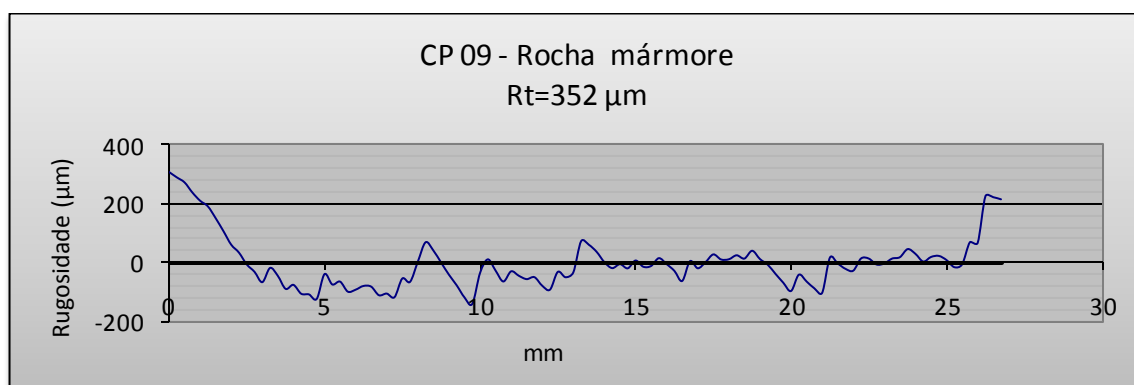
Gráfico 5.04- Perfil de rugosidade do arenito (face não polida).

### 5.4.2 - PERFIS DE RUGOSIDADE DO MÁRMORE (FACE LISA E FACE NÃO POLIDA)

Apresentam-se nos Gráficos 5.05 e 5.06 os perfis de rugosidade do *mármore* na face lisa e na face não polida.



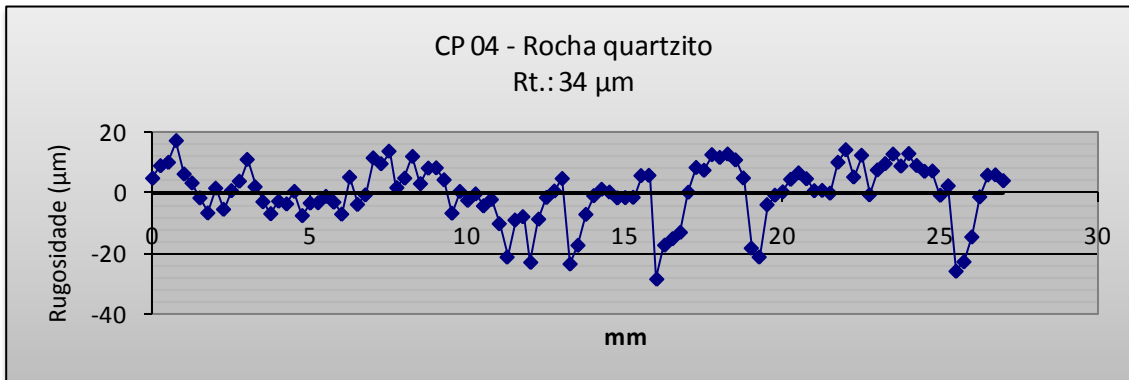
**Gráfico 5.05-** Perfil de rugosidade do *mármore* (face lisa).



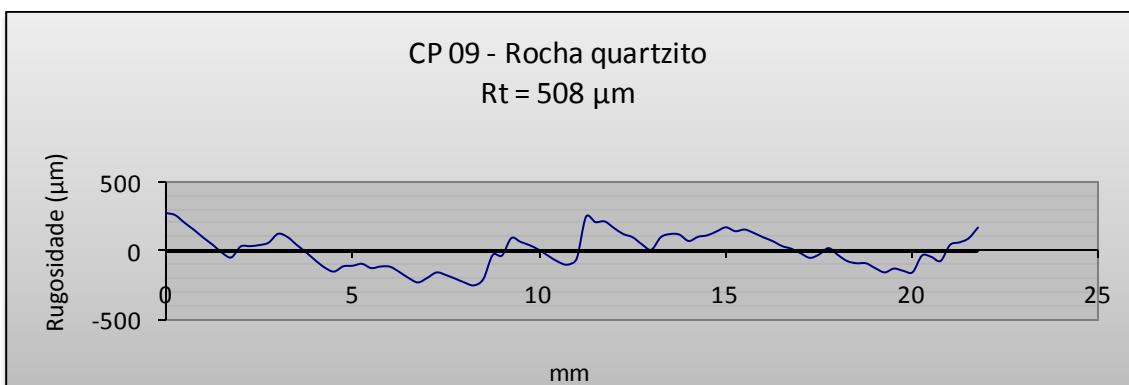
**Gráfico 5.06-** Perfil de rugosidade do *mármore* (face não polida).

### 5.4.3 - PERFIS DE RUGOSIDADE DO QUARTZITO (FACE LISA E FACE NÃO POLIDA)

Apresentam-se nos Gráficos 5.07 e 5.08 os perfis de rugosidade do quartzito na face lisa e na face não polida.



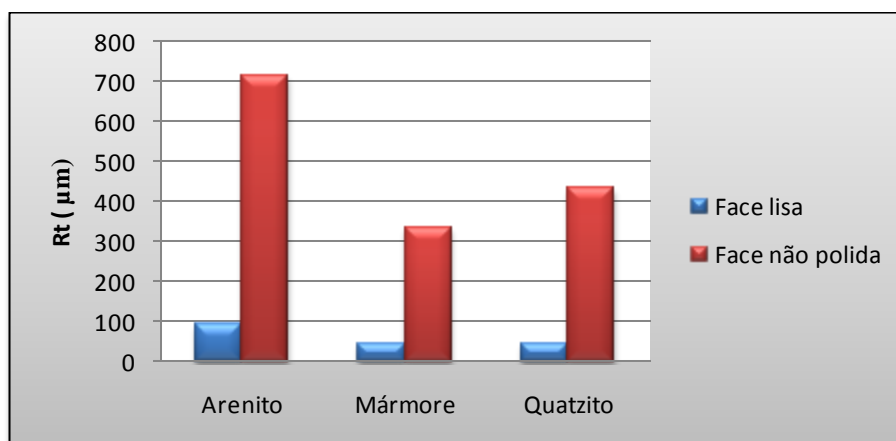
**Gráfico 5.07-** Perfil de rugosidade do quartzito (face lisa).



**Gráfico 5.08-** Perfil de rugosidade do quartzito (face não polida).

### 5.5- GRÁFICO DE RUGOSIDADE MÉDIA DAS ROCHAS NA FACE LISA E NA FACE NÃO POLIDA

Apresenta-se no Gráfico 5.09 as rugosidades médias (Rt) das rochas correspondentes às faces lisas e não polidas.



**Gráfico 5.09-** Médias das rugosidades (Rt) na face lisa e face não polida.

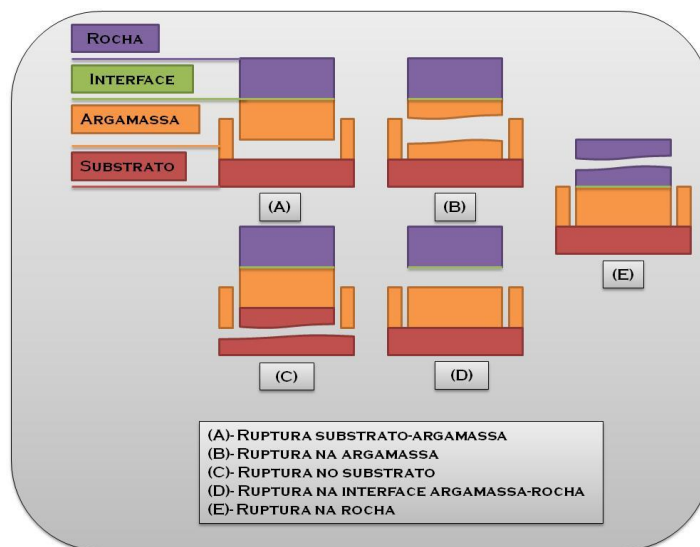
## **5.6- RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA DAS ROCHAS ASSENTADAS NA FACE LISA**

Apresentam-se as resistências de aderência das rochas *arenito*, *mármore* e *quartzito*, assentadas com a face lisa, nas argamassas industrializada, resíduo e porcelanato. De cada amostra, extraíram-se corpos de prova de 2,9 cm de diâmetro, conforme mostrado no capítulo 4. As amostras não foram retificadas e nem chanfradas, assentou-se com as laterais retas (FIGURA 5.27).



**Figura 5.27-** Corpo de prova do *mármore* com as laterais retas.

A ruptura dos corpos de prova quando assentados com argamassa ocorre de diversas maneiras (FIGURA 5.28).



**Figura 5.28-** Tipos de ruptura no ensaio de determinação de resistência de aderência à tração de revestimento (Adaptado de CINCOTTO *et al.*, 1995).

### 5.6.1- RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DO ARENITO NA FACE LISA

As Tabelas 5.30, 5.31 e 5.32 apresentam os valores de resistência de aderência à tração do arenito com a três argamassas.

**Tabela 5.30-** Resistência de aderência à tração do arenito com a argamassa industrializada.

Rocha:		Arenito			
Argamassa:		Industrializada			
	n° CP	Força (kN)	Resistência (MPa)	Rt (µm)	Ruptura
	1	0,98	1,48	63	Interface
	2	0,5	0,76	105	Interface
	3	1,3	1,97	60	Interface
	4	0,55	0,83	62	Interface
	6	0,2	0,3	103	Interface
	7	1	1,52	101	Interface
	8	0,25	0,38	93	Interface
	Soma	4,78	7,24		
<b>Resistência média (MPa)</b>		0,68	1,03		<b>1,03 MPa</b>

**Tabela 5.31-** Resistência de aderência do *arenito* com a argamassa de resíduo.

Rocha:		<i>Arenito</i>			
Argamassa:		Resíduo			
	n° CP	Força (kN)	Resistência (Mpa)	Rt (µm)	Ruptura
	9	0,9	1,36	140	Interface
	10	0,65	0,98	52	Interface
	11	1	1,52	61	Interface
	12	0,35	0,53	131	Interface
	13	0,8	1,21	61	Interface
	14	1,05	1,59	63	Interface
	15	0,6	0,91	130	Interface
	16	0,85	1,29	73	Interface
	Soma	6,2	9,39		
<b>Resistência média (MPa)</b>		0,78	1,11		<b>1,11 MPa</b>

**Tabela 5.32-** Resistência de aderência à tração do *arenito* com a argamassa para porcelanato.

Rocha:		<i>Arenito</i>		
Argamassa:		Porcelanato		
	n° CP	Força (kN)	Resistência (MPa)	Ruptura
	2	2,9	1,39	Rocha
	3	2	3,03	Rocha
	4	1,2	1,82	Rocha
	5	2,25	3,41	Rocha
	6	2,05	3,11	Rocha
	7	1,85	2,8	Rocha
	8	2,2	3,33	Rocha
	9	1,9	2,88	Rocha
	Soma	16,35	21,76	
<b>Resistência média (MPa)</b>		2,04	2,72	<b>2,72 MPa</b>

### 5.6.2- RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DO MÁRMORE NA FACE LISA

Nas Tabelas 5.33, 5.34 e 5.35 são apresentadas os valores de resistência de aderência à tração do *mármore* com a três argamassas.

**Tabela 5.33-** Resistência de aderência à tração do *mármore* com a argamassa industrializada.

Rocha:		<i>Mármore</i>			
Argamassa:		Industrializada			
	nº CP	Força (kN)	Resistência (MPa)	Rt ( $\mu\text{m}$ )	Ruptura
	1	0,75	1,14	26	Interface
	2	0,5	0,76	55	Interface
	3	1,15	1,74	72	Interface
	4	1	1,52	42	Interface
	5	0,3	0,45	27	Interface
	6	1,3	1,97	25	Interface
	8	1,35	2,05	47	Interface
	9	0,4	0,61	81	Interface
	Soma	6,75	10,24		
<b>Resistência média (MPa)</b>		0,84	1,28		<b>1,28 MPa</b>

**Tabela 5.34-** Resistência de aderência à tração do *mármore* com a argamassa resíduo.

Rocha:		<i>Mármore</i>			
Argamassa:		Resíduo			
	nº CP	Força (kN)	Resistência (MPa)	Rt ( $\mu\text{m}$ )	Ruptura
	10	0,4	0,61	42	Interface
	11	0,5	0,76	86	Interface
	12	0,35	0,53	56	Interface
	13	0,8	1,21	43	Interface
	14	0,95	1,44	43	Interface
	15	0,45	0,68	54	Interface
	16	0,5	0,76	22	Interface
	Soma	3,95	5,99		
<b>Resistência média (MPa)</b>		0,56	0,85		<b>0,85 MPa</b>



**Tabela 5.35-** Resistência de aderência à tração do *mármore* com a argamassa de porcelanato.

Rocha:		<i>Mármore</i>		
Argamassa:		Porcelanato		
	nº CP	Força (kN)	Resistência (MPa)	Ruptura
	1	0,85	1,29	Rocha
	2	1,35	2,05	Rocha
	7	0,8	1,21	Rocha
	11	1,7	2,58	Rocha
	12	0,9	1,36	Rocha
	14	2,05	3,11	Rocha
	15	0,5	0,76	Rocha
	18	1,2	1,82	Rocha
	Soma	9,35	14,18	
	<b>Resistência média (MPa)</b>	1,17	1,77	<b>1,77 MPa</b>

### 5.6.3- RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DO QUARTZITO NA FACE LISA

Nas Tabelas 5.36, 5.37 e 5.38 apresentam-se os valores de resistência de aderência à tração do *mármore* com a três argamassas.

**Tabela 5.36-** Resistência de aderência à tração do quartzito com a argamassa industrializada.

Rocha:		Quartzito			
Argamassa:		Industrializada			
	nº CP	Força (kN)	Resistência (MPa)	Rt (µm)	Ruptura
	3	1,35	2,05	12	Interface
	02	1	1,52	10	Interface
	5	1,25	2,35	28	Interface
	7	0,55	0,83	34	Interface
	8	0,3	0,45	39	Interface
	9	0,30	0,45	27	Interface
	Soma	4,75	7,65		
	<b>Resistência média (MPa)</b>	0,79	1,27		<b>1,27 MPa</b>

**Tabela 5.37-** Resistência de aderência à tração do quartzito com a argamassa de resíduo.

Rocha:		Quartzito			
Argamassa:		Resíduo			
	nº CP	Força (kN)	Resistência (MPa)	Rt (µm)	Ruptura
	12	0,91	1,34	57	Interface
	22	1,05	1,59	89	Interface
	3	0,55	0,83	29	Interface
	5	0,65	0,98	40	Interface
	6	0,75	1,13	26	Interface
	14	0,6	0,91	12	Interface
	8	0,65	0,98	62	Interface
	Soma	5,16	7,76		
<b>Resistência média (MPa)</b>		0,74	1,1		<b>1,10MPa</b>

**Tabela 5.38-** Resistência de aderência à tração do quartzito com a argamassa porcelanato.

Rocha:		Quartzito		
.Argamassa:		Porcelanato		
	nº CP	Força (kN)	Resistência (MPa)	Ruptura
	1	1,05	1,59	Rocha
	2	1,2	1,82	Rocha
	3	0,95	1,44	Rocha
	4	1,15	1,74	Rocha
	5	1,4	2,12	Rocha
	6	0,8	1,21	Rocha
	7	1,55	2,35	
		1,00	1,52	
	Soma	9,10	13,79	
<b>Resistência média (MPa)</b>		1,13	1,72	<b>1,72 MPa</b>

## 5.7- RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA DAS ROCHAS ASSENTADAS NA FACE NÃO POLIDA

Apresentam-se os valores de resistências de aderência das rochas *arenito*, *mármore* e *quartzito*, assentados com a face não polida, nas argamassas industrializada, resíduo e porcelanato.

### 5.7.1- RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DO *ARENITO*

Nas Tabelas 5.39, 5.40 e 5.41 são apresentados os valores das resistências de aderência à tração do *arenito* com as respectivas argamassas.

**Tabela 5.39-** Resistência de aderência do *arenito* com a argamassa industrializada.

Rocha:		<i>Arenito</i>			
Argamassa:		Industrializada			
	nº CP	Força (KN)	Resistência (MPa)	Rt( $\mu$ m)	Ruptura
	4	1,09	1,82	399	Interface
	6	1,50	2,5	409	Interface
	8	0,73	1,21	430	Interface
	9	0,73	1,21	462	Interface
	5	1,27	2,12	565	Interface
	1	0,73	1,21	1163	Interface
	Soma	6,05	10,08		
<b>Resistência média (MPa)</b>		1,01	1,68		<b>1,68 MPa</b>

**Tabela 5.40-** Resistência de aderência do *arenito* com a argamassa resíduo.

Rocha:		<i>Arenito</i>			
Argamassa:		Resíduo			
	nº CP	Força (KN)	Resistência (MPa)	Rt (µm)	Ruptura
	12	0,85	1,44	336	Interface
	3	0,45	0,76	344	Interface
	7	0,77	1,29	410	Interface
	2	0,70	1,14	425	Interface
	10	0,73	1,21	465	Interface
	11	1,13	1,89	343	Interface
	Soma	4,63	7,73		
<b>Resistência média (MPa)</b>		0,77	1,29		<b>1,29 MPa</b>

**Tabela 5.41-** Resistência de aderência do *arenito* com a argamassa porcelanato

Rocha:		<i>Arenito</i>			
Argamassa:		Porcelanato			
	nº CP	Força (KN)	Resistência (MPa)	Rt (µm)	Ruptura
	15	1,55	2,58	317	Rocha
	13	1,45	2,42	337	Rocha
	18	1,55	2,58	324	Rocha
	14	1,72	2,88	397	Rocha
	16	1,95	3,26	463	Rocha
	17	2,00	3,33	954	Rocha
	Soma	10,22	17,05		
<b>Resistência média (MPa)</b>		1,70	2,84		<b>2,84 MPa</b>

### **5.7.2- RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DO MÁRMORE**

Nas Tabelas 5.42, 5.43 e 5.44 serão apresentados os valores das resistências de aderência à tração do *mármore* com as respectivas argamassas.

**Tabela 5.42-** Resistência de aderência do *mármore* com a argamassa industrializada.

Rocha:		<i>Mármore</i>			
Argamassa:		Industrializada			
	nº CP	Força (KN)	Resistência (MPa)	Rt (µm)	Ruptura
	21	0,25	0,42	101	Interface
	22	0,35	0,53	121	Interface
	11	0,7	1,06	180	Interface
	26	1,05	1,59	181	Interface
	5	1,05	1,59	188	Interface
	17	0,35	0,59	256	Interface
	27	0,70	1,19	266	Interface
	23	1,00	1,69	267	Interface
	3	1,65	2,80	268	Interface
	24	1,05	1,78	295	Interface
	25	0,55	0,93	311	Interface
	19	0,70	1,19	385	Interface
	18	1,10	1,86	386	Interface
	6	1,00	1,69	378	Interface
	5	0,65	1,10	390	Interface
	10	1,25	2,12	537	Interface
	18	0,50	0,85	456	
	6	0,55	0,93	356	
	Soma	14,45	23,92		
<b>Resistência média (MPa)</b>		0,80	1,35		<b>1,35 MPa</b>

**Tabela 5.43-** Resistência de aderência do *mármore* com a argamassa resíduo.

Rocha:		<i>Mármore</i>			
Argamassa:		Resíduo			
	nº CP	Força (KN)	Resistência (MPa)	Rt (µm)	Ruptura
	15	0,9	1,53	162	Interface
	2	0,8	1,36	221	Interface
	4	1	1,69	228	Interface
	1	0,55	0,93	241	Interface
	3	0,6	1,02	253	Interface
	11	0,85	1,44	266	Interface
	9	1	1,69	289	Interface
	13	0,9	1,53	293	Interface
	10	1	1,69	351	Interface
	7	0,9	1,53	376	Interface
	12	1	1,69	492	Interface
	14	0,7	1,19	597	Interface
	8	0,64	1,08	605	Interface
	6	0,25	0,42	698	Interface
	Soma	11,09	18,80		
<b>Resistência média (MPa)</b>		0,79	1,22		<b>1,22 MPa</b>

**Tabela 5.44-** Resistência de aderência do *mármore* com a argamassa porcelanato.

Rocha:		Mármore			
Argamassa:		Porcelanato			
	nº CP	Força (KN)	Resistência (MPa)	Rt (µm)	Ruptura
	15	0,94	1,59	97	Rocha
	14	1,42	2,42	107	Rocha
	16	0,90	1,52	118	Rocha
	17	1,87	3,18	174	Rocha
	18	1,83	3,11	175	Rocha
	13	1,02	1,74	358	Rocha
	Soma	7,98	13,56		
<b>Resistência média (MPa)</b>		<b>1,33</b>	<b>2,26</b>		<b>2,26 MPa</b>

### 5.7.3- RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DO QUARTZITO

Nas Tabelas 5.45, 5.46 e 5.47 são apresentados os valores das resistências de aderência à tração do *mármore* com as respectivas argamassas.

**Tabela 5.45-** Resistência de aderência do quartzito com a argamassa industrializada.

Rocha:		Quartzito			
Argamassa:		Industrializada			
	nº CP	Força (KN)	Resistência (MPa)	Rt (µm)	Ruptura
	17	0,50	0,83	124	Interface
	18	0,32	0,53	165	Interface
	16	0,44	0,76	177	Interface
	13	0,54	0,91	188	Interface
	14	0,27	0,45	199	Interface
	19	0,50	0,83	213	Interface
	8	0,90	1,52	317	Interface
	6	0,54	0,91	318	Interface
	20	0,40	0,68	328	Interface
	15	0,35	0,61	367	Interface
	12	0,26	0,45	395	Interface
	9	0,35	0,61	508	Interface
	10	0,40	0,68	527	Interface
	1	0,62	1,06	579	Interface
	Soma	6,39	10,83		
<b>Resistência média (MPa)</b>		<b>0,45</b>	<b>0,77</b>		<b>0,77 MPa</b>

**Tabela 5.46-** Resistência de aderência do quartzito com a argamassa resíduo

Rocha:		Quartzito			
Argamassa:		Resíduo			
	n° CP	Força (KN)	Resistência (MPa)	Rt ( $\mu\text{m}$ )	Ruptura
	7	0,27	0,45	280	Interface
	1	0,44	0,76	202	Interface
	8	0,35	0,61	220	Interface
	9	0,54	0,91	229	Interface
	4	0,50	0,83	294	Interface
	3	0,67	1,14	318	Interface
	10	0,56	0,98	348	Interface
	2	0,62	1,06	437	Interface
	12	0,10	0,15	458	Interface
	6	0,10	0,15	551	Interface
	11	0,44	0,76	702	Interface
	5	0,44	0,76	245	Interface
	Soma	5,03	8,56		
<b>Resistência média (MPa)</b>		0,41	0,71		<b>0,71 MPa</b>

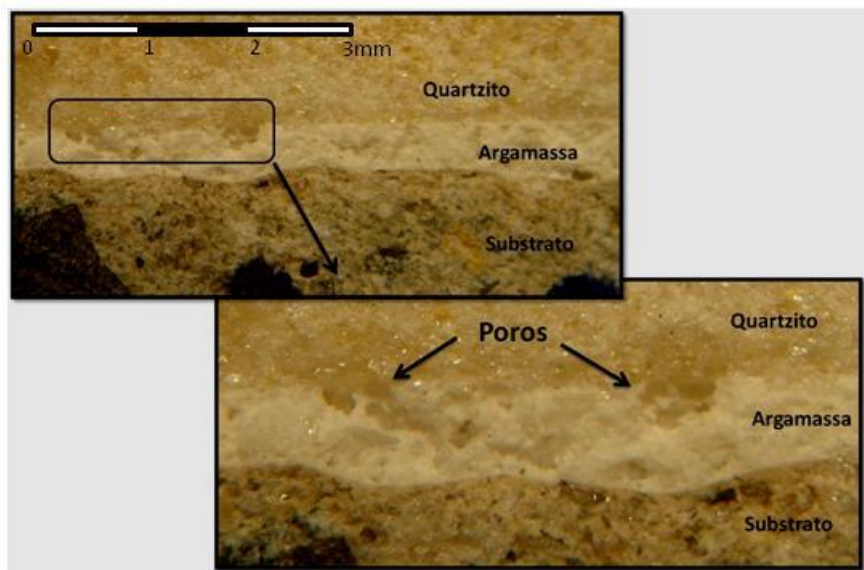
**Tabela 5.47-** Resistência de aderência do quartzito com a argamassa porcelanato

Rocha:		Quartzito			
Argamassa:		Porcelanato			
	N ° CP	Força (KN)	Resistência (MPa)	Rt ( $\mu\text{m}$ )	
	16	0,62	1,06	317	Rocha
	13	1,05	1,81	504	Rocha
	17	0,90	1,51	599	Rocha
	15	0,85	1,41	790	Rocha
	18	1,00	1,66	888	Rocha
	14	1,00	1,66	524	Rocha
	Soma	5,42	9,11		
<b>Resistência média (MPa)</b>		0,90	1,52		<b>1,52 MPa</b>

## 5.8- ANÁLISES COM LUPA BINOCULAR DA INTERFACE ARGAMASSA-ROCHA

A resistência de aderência pode ser definida como a capacidade que a interface argamassa-rocha possui em resistir tensões normais (tração) e tangenciais (cisalhamento) sem romper-se. Assim sendo, pode-se concluir que a aderência deve ser entendida como uma junção de duas propriedades da interface-rocha: a resistência de aderência à tração e a resistência de aderência ao cisalhamento, e ambas são influenciadas pela extensão de aderência (corresponde à razão entre a área de contato efetivo da rocha com a argamassa e a área total possível a ser unida).

Com o objetivo de acrescentar informações da interface argamassa-rocha, que pudessem explicar determinados comportamentos foi efetuado observações com lupa binocular. A título de exemplo apresentam-se as Figuras 5.29 e 5.30 e demais análises serão discutidas no capítulo 6.



**Figura 5.29-** Imagem da interface argamassa-rocha do corpo de prova do quartzito.



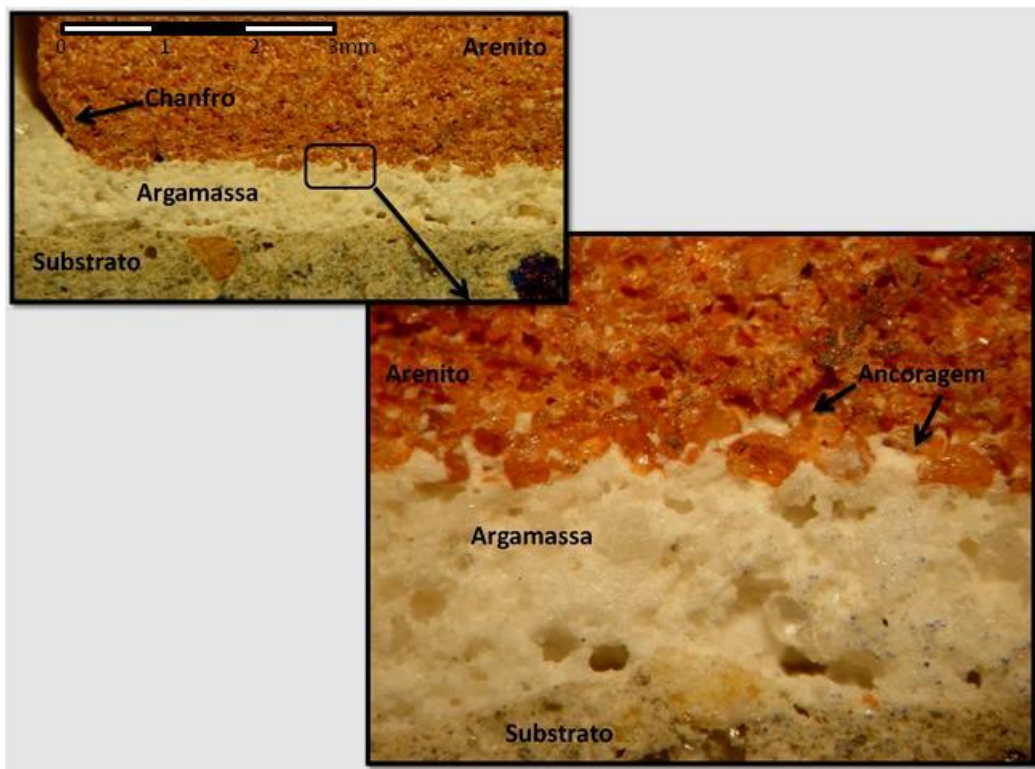


Figura 5.30- Imagem da interface argamassa-rocha do corpo de prova do *arenito*.

### **6.1- DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE (SECA E SATURADA), POROSIDADE E ABSORÇÃO DE ÁGUA**

A análise dos valores médios da porosidade aparente das rochas mostra que o *mármore* e o *quartzito* preenchem as especificações no uso como rochas ornamentais, pois apresentam valores  $\leq 1,0\%$ . Já o *arenito* apresenta valores de porosidade aparente de 9,14%, portanto não é viável a sua utilização como revestimento externo.

Os resultados dos ensaios de absorção d'água são compatíveis com os da porosidade aparente, pois as rochas que apresentam valores maiores de absorção d'água também exibem as maiores porosidades aparentes.

### **6.2- RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO**

As análises dos resultados de aderência à tração das rochas selecionadas, assentadas na face lisa e na face não polida são apresentadas a seguir.

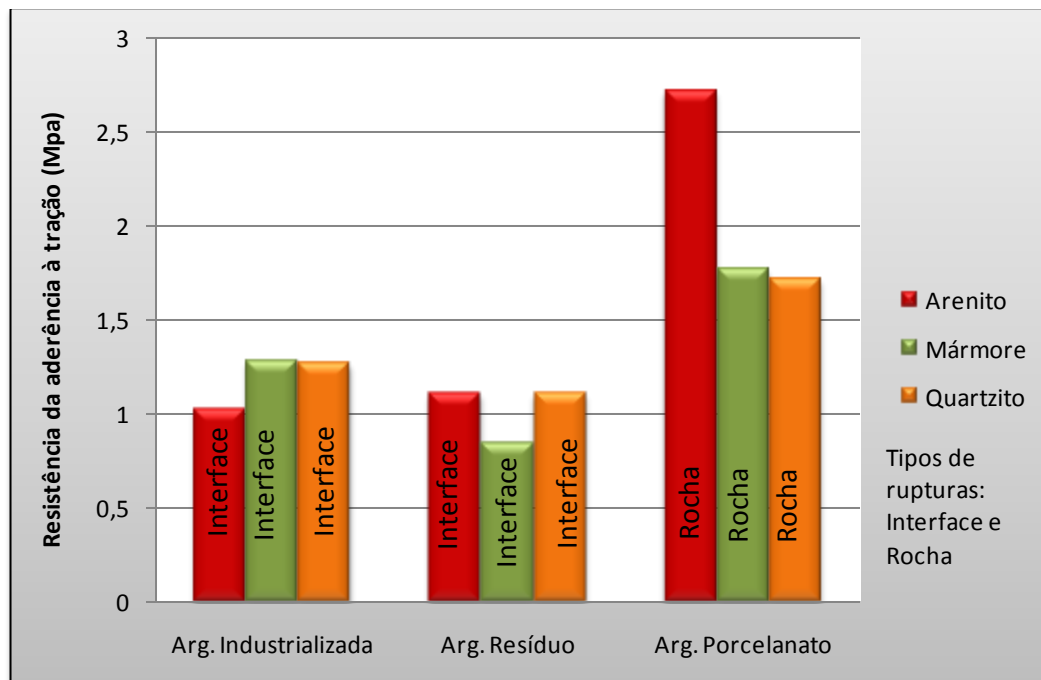
#### **6.2.1- RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO NA FACE LISA**

Os resultados médios dos ensaios de aderência à tração dos três tipos de rochas assentadas com as três argamassas (argamassa para porcelanato, industrializada e resíduo) na face lisa são mostrados na Tabela 6.48 e no Gráfico 6.10.

Observa-se na Tabela 6.48 que os valores médios das resistências de aderência à tração das rochas assentadas com as argamassas industrializada e porcelanato são superiores a 1 MPa, atendendo à norma (NBR 14084). Os corpos de prova do arenito e do quartzito assentados com a argamassa resíduo mostraram valores médios de resistência de aderência à tração superiores a 1 MPa, porém o valor no mármore permaneceu inferior à norma.

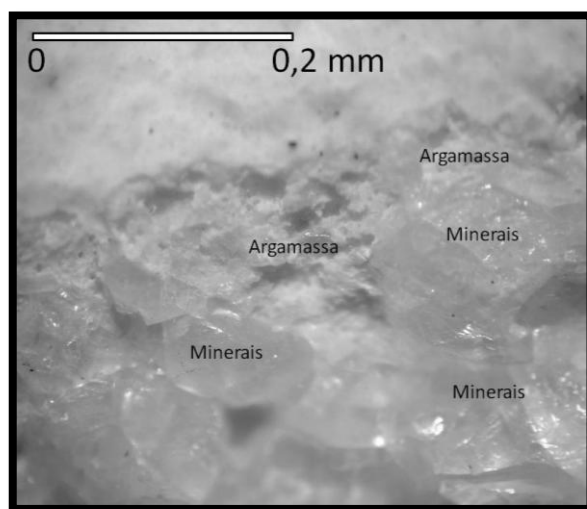
**Tabela 6.48-** Valores médios das resistências da aderência à tração da face lisa.

RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)			
	Argamassa		
Rocha	Industrializada	Resíduo	Porcelanato
Arenito	1,03	1,11	2,72
Mármore	1,28	0,85	1,77
Quartzito	1,27	1,1	1,72



**Gráfico 6.10-** Gráfico dos valores médios das resistências da aderência à tração das rochas com as argamassas assentados na face lisa e local de ruptura.

Analisando os corpos de prova do *mármore* assentados com a argamassa resíduo verifica-se, após o arrancamento, a existência de minerais fixos na argamassa. É provável que durante a extração dos corpos de prova, para o assentamento na face lisa, a vibração da coroa diamantada tenha produzido microfissuras inter e intragranulares ou mesmo destacado grãos minerais no momento do arrancamento, tornando as bordas dos corpos de prova mais frágeis e passíveis de se fixarem na argamassa. A textura granoblástica dos *mármore*s, na qual os minerais se encontram justapostos, favorece o processo de microfissuramento referido. Este microfissuramento facilita a penetração da argamassa por ele e como decorrência tem-se a solidarização da argamassa e minerais (FIGURA 6.31).



**Figura 6.31-** Minerais fixos na argamassa após o arrancamento dos corpos de prova.

Comparando-se os locais de ruptura dos corpos de prova após o arrancamento verificou-se que aqueles assentados com a argamassa para porcelanato a ruptura

ocorreu na rocha, enquanto os que estavam assentados com as argamassas industrializada e resíduos a ruptura ocorreu na interface argamassa-rocha. A Figura 6.32 exemplifica aquele tipo de ruptura para o *arenito* assentado com a argamassa porcelanato.

Para a argamassa porcelanato, o valor médio da resistência da aderência à tração do *arenito* é o maior e os valores são semelhantes para o quartzito e o *mármore*. Como as rupturas para as três rochas ocorreram nos corpos de prova, na verdade a resistência à tração medida reflete as resistências delas. Desta forma, depreende-se que, no mínimo, a resistência à tração na interface argamassa-rocha apresenta o mesmo valor desta resistência para cada tipo de rochoso.

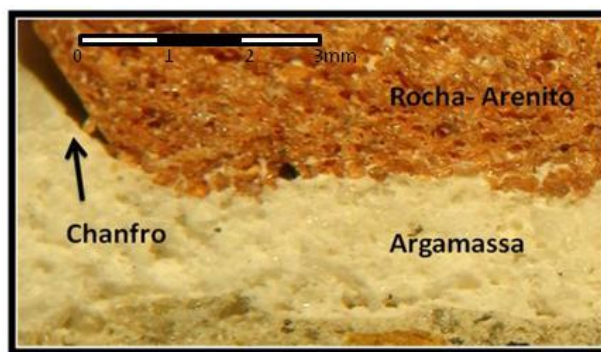


**Figura 6.32-** Corpo de prova após o ensaio do arrancamento das rochas assentadas com a argamassa para porcelanato.

### **6.2.2- RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO NA FACE NÃO POLIDA (NATURAL)**

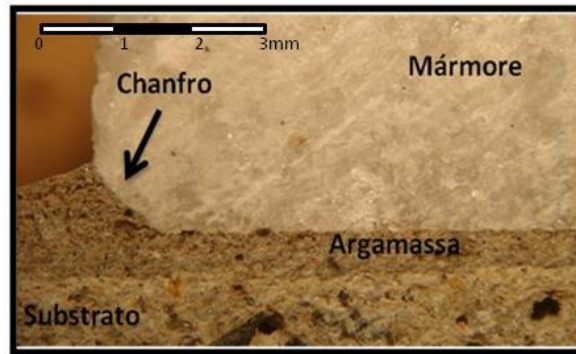
Com o intuito de eliminar ou minimizar a fixação de argamassa nos corpos de prova do *mármore* e do *arenito* ao longo de microfissuras, geradas na extração dos corpos de prova na face não polida, executou-se um chanfro nas bordas das rochas, retirando-se assim os minerais eventualmente fragilizados.

A Figura 6.33 ilustra o chanfro executado no *arenito* assentado com a argamassa industrializada. As rochas assentadas com as argamassas industrializada e resíduo não aderiram ao chanfro, mostrando que a resistência da aderência está totalmente relacionada à real área de contato recalculada antes do assentamento dos corpos de prova, conforme descrito anteriormente. Após o arrancamento dos corpos de prova confirmou-se este fato verificando-se a não existência de minerais fixos nas argamassas industrializada e resíduo.



**Figura 6.33-** Corpo de prova do *arenito*, assentado na argamassa industrializada, na face não polida.

Para todos os tipos de rocha, a argamassa para porcelanato preencheu os chanfros como consequência da sua fluidez (FIGURA 6.34). Porém, este fato não influenciou no valor da resistência da aderência, pois as rupturas dos corpos de prova na face não polida (chanfrada) ocorreram nas rochas, devido à elevada capacidade de aderência desta argamassa.



**Figura 6.34-** Corpo de prova do *mármore* (face não polida) assentado com a argamassa porcelanato.

Os valores de resistência da aderência das três rochas (*arenito*, *mármore* e *quartzito*) assentadas com as três argamassas (argamassa para porcelanato, industrializada e resíduo) na face não polida são apresentados na Tabela 6.49 e no Gráfico 6.11.

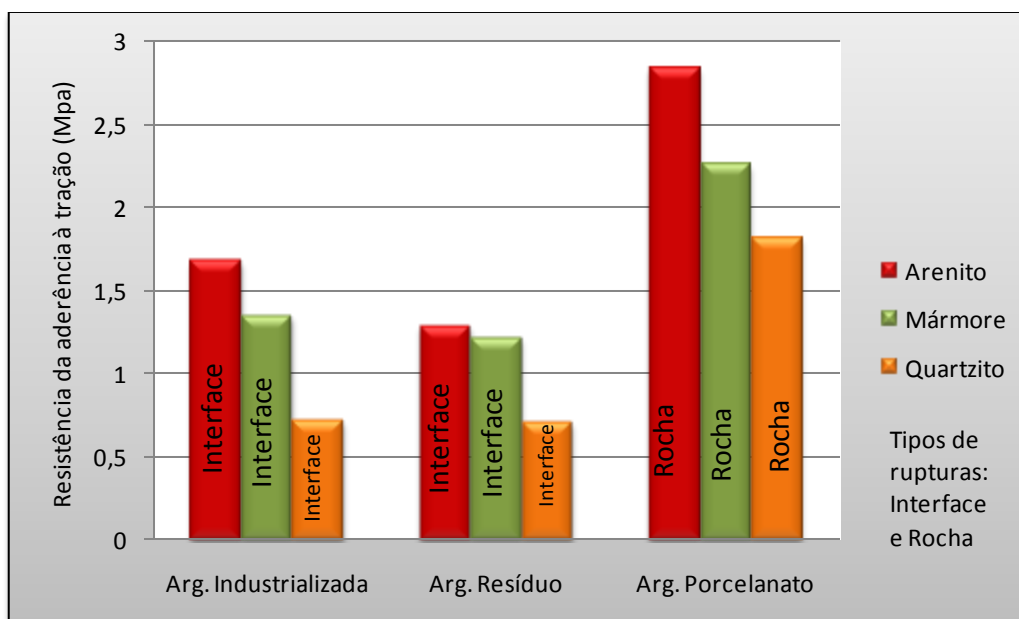
Percebe-se na Tabela 6.49 que os corpos de prova do *arenito* e do *mármore* assentados com as argamassas industrializada, resíduo e porcelanato e o *quartzito* assentado com a argamassa porcelanato apresentaram resistências superiores a 1 MPa atendendo a norma (NBR 14084). Os corpos de prova do *quartzito* assentados com as argamassas industrializada e resíduo mostraram valores de resistência de aderência à tração inferior a 1 MPa, não atendendo a referida norma (NBR 14.084)

Os corpos de prova assentados com a argamassa para porcelanato apresentaram a ruptura na rocha, prevalecendo o *arenito* com o maior valor de resistência de aderência. Este fato deve-se à formação desta rocha, que embora sendo estratificado por cimentação apresenta sílica tornando-a mais resistente em relação às resistências devidas ao imbricamento dos grandes cristais de calcita do *mármore* e à foliação do *quartzito*.

Nos corpos de prova assentados com as argamassas industrializada e resíduo a ruptura ocorreu na interface argamassa-rocha.

**Tabela 6.49-** Valores médios das resistências da aderência à tração da face não polida.

RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)			
	Argamassa		
Rocha	Industrializada	Resíduo	Porcelanato
<i>Arenito</i>	1,68	1,29	2,84
<i>Mármore</i>	1,35	1,22	2,26
<i>Quartzito</i>	0,77	0,71	1,82

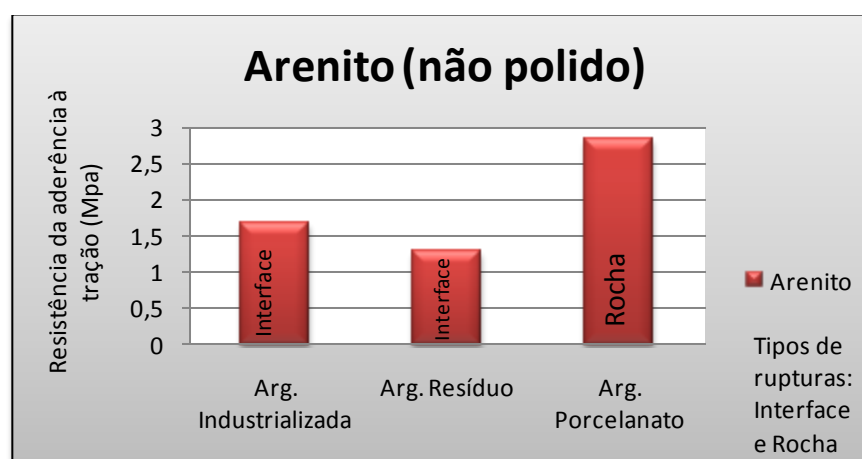


**Gráfico 6.11-** Gráfico da resistência da aderência à tração das rochas com as argamassas assentadas na face não polida.

Para melhor entendimento, as resistências de aderência à tração das rochas serão analisadas separadamente. O Gráfico 6.12 ilustra a resistência de aderência do *arenito*.



Analisando as resistências de aderência do *arenito* (GRÁFICO 6.12) depreende-se que a rocha exibe maior resistência quando assentada com a argamassa para porcelanato. Os corpos de prova assentados com a argamassa para porcelanato apresentaram resistências à aderência mínimos, de mais que o dobro em relação à argamassa resíduo e de quase o dobro em relação à argamassa industrializada. Tal afirmação é válida, pois a ruptura se deu na rocha, portanto a da interface argamassa-rocha é minimamente igual.



**Gráfico 6.12-** Resistência de aderência a tração do *arenito*, face não polida

A resistência da aderência das três argamassas atendeu às exigências da norma para o ensaio.

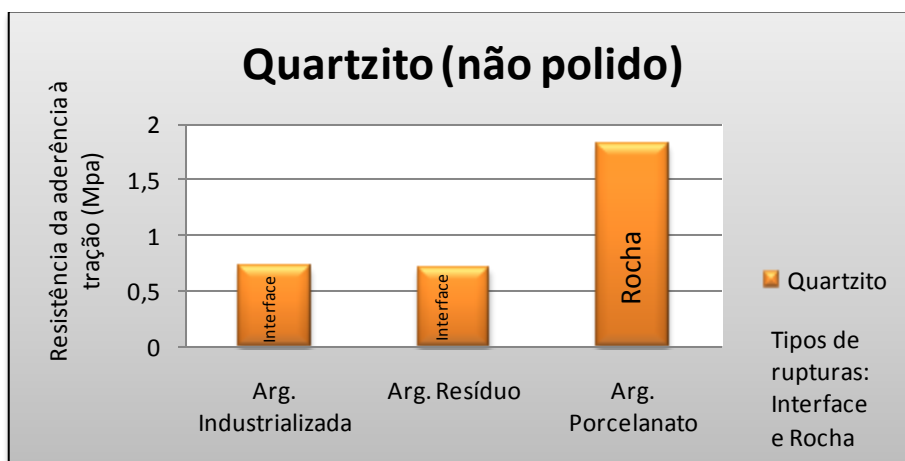
A ruptura dos corpos de prova para a argamassa porcelanato ocorre na rocha, enquanto para as argamassas industrializada e resíduo ocorrem na interface argamassa-rocha.

Os valores de resistência de aderência à tração do quartzito na face não polida são mostrados no Gráfico 6.13.

O Gráfico 6.13 mostra que o quartzito apresenta resistência à aderência superior a 1 MPa quando assentado com a argamassa para porcelanato, porém os resultados dos valores médios da resistência da aderência, para as argamassas industrializada e resíduo são inferiores a 1 MPa.

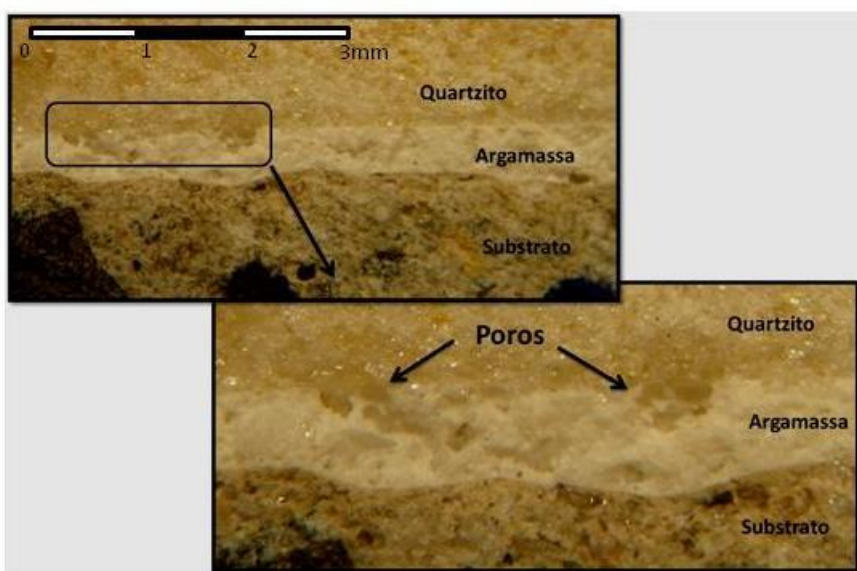
Os minerais micáceos presentes no quartzito constituem a foliação metamórfica e se dispõem em planos paralelos a sub-paralelos resultando em superfícies potencialmente mais fracas à ruptura por tração.

Quando as forças de aderência na interface são mais tênues, casos das argamassas industrializada e resíduo, a ruptura ocorreu nesta interface. Já para a argamassa porcelanato a aderência na interface argamassa-rocha é mais forte a ruptura na rocha, devido às características da argamassa.



**Gráfico 6.13-** Resistência de aderência à tração do quartzito (não polido)

Outro aspecto relevante a ser considerado diz respeito à presença de vazios na interface argamassa-rocha que representam regiões de fraqueza que podem reduzir os valores de resistência à tração. A Figura 6.35 mostra poros registrados na interface formada pelo quartzito com a argamassa industrializada.



**Figura 6.35-** Interface do quartzito assentado com a argamassa industrializada.

A dimensão destes poros (vazios) está relacionada ao tamanho dos constituintes da argamassa sendo diretamente proporcionais a eles. As argamassas industrializada e resíduo, por apresentarem componentes granulares (areia, fragmentos de rocha, etc.) de maiores dimensões mostram poros também maiores em relação à argamassa para porcelanato, que é mais homogênea e com textura fina (FIGURA 6.36).



**Figura 6.36-** Perfil do substrato-argamassa-rocha.

Verificou-se que na interface argamassa-rocha dos corpos de prova assentados com a argamassa para porcelanato praticamente não existem poros, pois a sua consistência fluida e a adição de aditivos impedem ou diminuem o seu desenvolvimento.

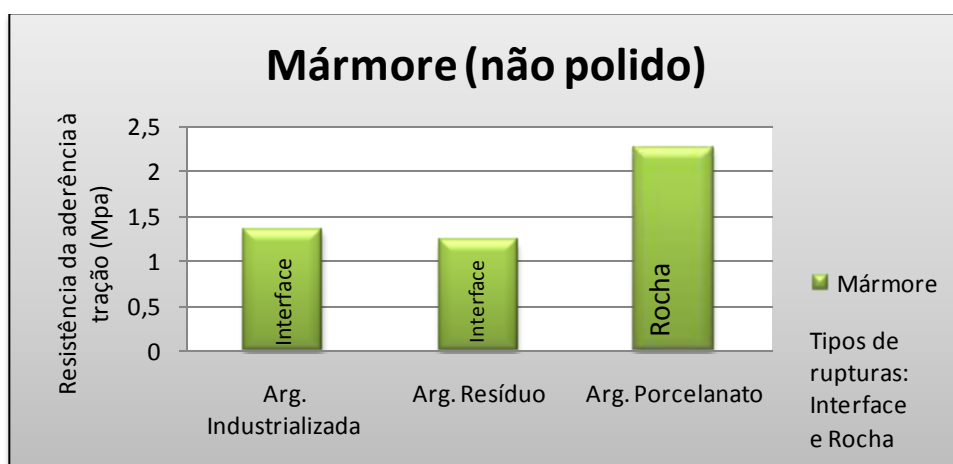
Os corpos de prova assentados com a argamassa para porcelanato apresentaram rupturas nas rochas, comprovando a alta resistência da argamassa em relação a elas. A ruptura na rocha deve-se a dois fatores, o primeiro é representado pela alta resistência da argamassa e o segundo pela inerente formação da rocha, pois em geral os corpos rochosos de quartzito são marcados por uma foliação metamórfica paralelizada a sub-paralelizada ao bandamento composicional e estes planos, condicionados por minerais micáceos, podem gerar superfícies preferenciais de deslocamento.

As resistências de aderência à tração do *mármore* na face não polida são mostradas no Gráfico 6.14.

O Gráfico 6.14 ilustra que o *mármore* exibe maior resistência quando assentado com a argamassa para porcelanato. A argamassa para porcelanato

apresenta resistência de aderência, no mínimo superior a 1,90 em relação à argamassa de resíduo e 1,70 relativamente à argamassa industrializada.

A resistência da aderência à tração para as três argamassas é  $> 1\text{MPa}$ , atendendo à especificação da norma. As rupturas dos corpos de prova assentados com a argamassa para porcelanato ocorreram na rocha, enquanto para as argamassas resíduo e industrializada ocorreram na interface argamassa-rocha, comprovando a alta resistência da argamassa para porcelanato desenvolvida em laboratório.

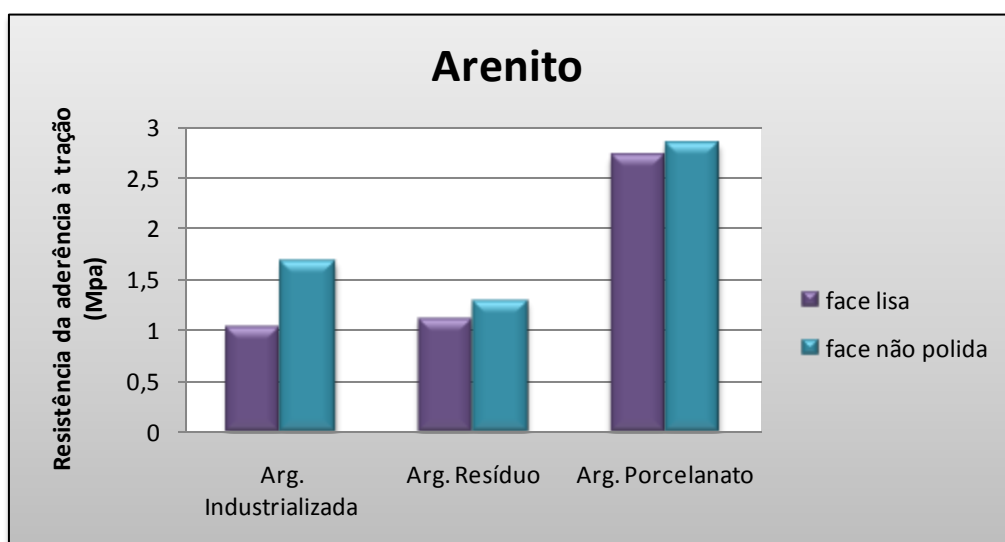


**Gráfico 6.14-** Resistência de aderência à tração do *mármore*

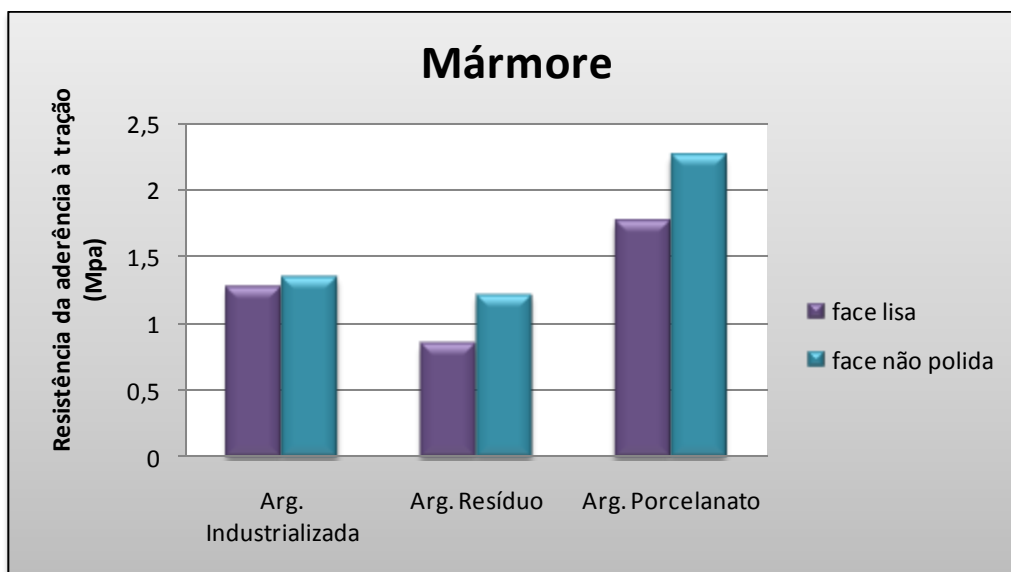
### **6.3- CORRELAÇÕES ENTRE AS RESISTÊNCIAS DA ADERÊNCIA À TRAÇÃO NAS FACES LISA E NÃO POLIDA**

Os valores médios da resistência da aderência à tração do *arenito* e do *mármore*, assentados na face lisa e na face não polida são mostrados nos Gráficos 6.15 e 6.16.

Pode-se concluir pelos gráficos que tanto o *arenito* (GRÁFICO 6.15) quanto o *mármore* (GRÁFICO 6.16) apresentaram valores médios de resistência da aderência na face não polida superiores aos valores da face lisa. Este fato deve-se à superfície não polida propiciar melhor encunhamento da argamassa na rocha e aumentar a superfície de contato e conseqüentemente proporcionar um acréscimo no valor de resistência da aderência.



**Gráfico 6.15-** Gráfico da resistência da aderência à tração do *arenito* com as argamassas, assentados na face lisa e não polida

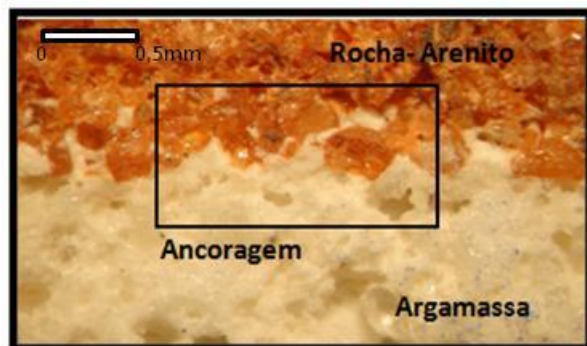


**Gráfico 6.16-** Gráfico da resistência da aderência à tração do *mármore* com as argamassas, assentados na face lisa

Comparando-se os valores de resistência de aderência à tração do *arenito* e do *mármore*, assentados com a argamassa para porcelanato, em ambas as faces, verificou-se que os valores encontrados ficaram próximos, sendo que no *mármore* ocorreu uma diferença. Este fato pode estar relacionado à formação das rochas, pois o *arenito* apresenta planos de fraqueza paralelos e com resistências diferentes, entretanto, mais uniformes quando comparado aos definidos pelo imbricamento e à própria dureza do *mármore*.

Analisando a interface argamassa-rocha, dos corpos de prova do *arenito* assentados com a argamassa industrializada, percebe-se que ocorre aderência mecânica, onde a argamassa preenche totalmente a rugosidade da rocha. A Figura 6.37 ilustra a rugosidade da rocha preenchida com argamassa, promovendo a

ancoragem (aderência mecânica), fenômeno que praticamente não se observa na face lisa.

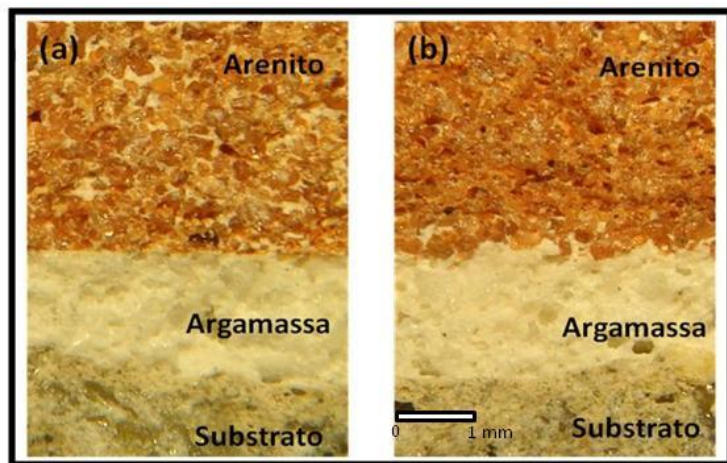


**Figura 6.37-** Ancoragem mecânica da argamassa industrializada no *arenito* (face não polida).

A aderência mecânica está intimamente relacionada à ação da ancoragem na superfície porosa da rocha. Em materiais com alta absorção d'água como no *arenito* com porcentagem na média de 4,91% e porosidade média de 9,14% a aderência mecânica é notável.

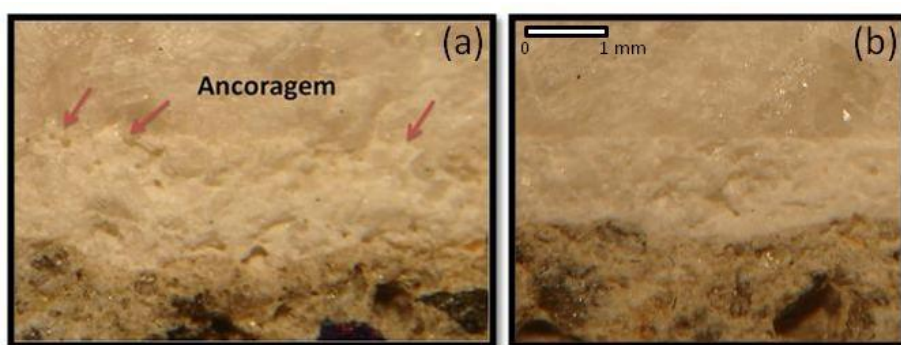
Comparando-se a interface argamassa-rocha do *arenito*, na face lisa e na face não polida, pode-se afirmar que a área da superfície de aderência da face não polida é maior em relação à face lisa, fato que resulta nos valores superiores obtidos na face não polida. A Figura 6.38 ilustra as interfaces argamassa-rocha do *arenito* assentado em ambas as faces.





**Figura 6.38-** Assentamento do *arenito* na argamassa industrializada: (a) - face lisa e (b)- face não polida.

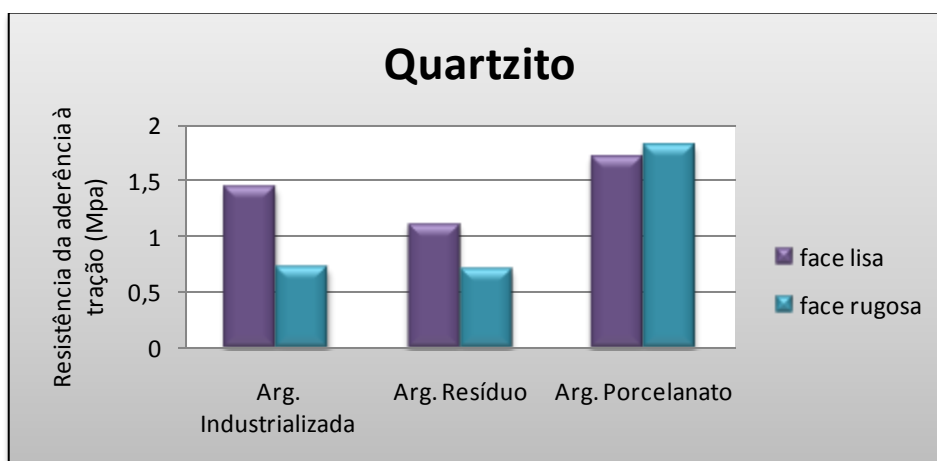
Analisando-se as interfaces argamassa-rocha, dos corpos de prova do *mármore* com face não polida assentados com as argamassas industrializada e resíduo, percebe-se que ocorreu em alguns pontos a aderência mecânica, onde a argamassa preencheu totalmente a rugosidade da rocha (FIGURA 6.39.a). Nesta mesma FIGURA 6.39.b verifica-se que a interface argamassa-rocha praticamente não apresenta este efeito mecânico.



**Figura 6.39-** Interface do *mármore* na argamassa industrializada na face não polida.

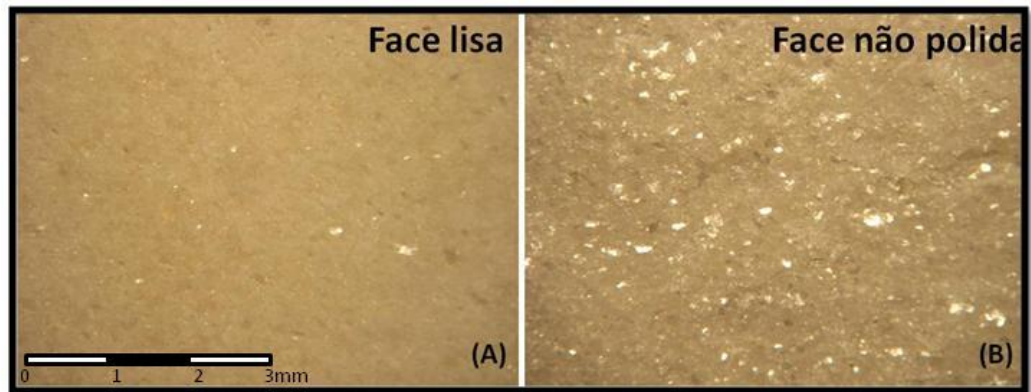
O Gráfico 6.17 ilustra a resistência de aderência à tração do quartzito com as argamassas em estudo assentado na face lisa e não polida.

Comparando-se os resultados da resistência de aderência na face lisa com a face não polida, percebe-se que os valores da resistência de aderência à tração na face lisa são maiores em relação à face não polida para as argamassas industrializada e resíduo. Este fato está relacionado à presença de maior quantidade de minerais micáceos (FIGURA 6.40)



**Gráfico 6.17-** Gráfico da resistência da aderência à tração do quartzito com as argamassas, assentados na face lisa

Conforme dito anteriormente, durante o processo de “alisamento” das superfícies na preparação dos corpos de prova com a face lisa os minerais micáceos são facilmente destacados. Como resultado deste fato os contatos das argamassas com as rochas são mais eficientes nas faces lisas em relação as não polidas.



**Figura 6.40-** Microscopia do quartzito. (A) Face lisa e (B) Face não polida.

O quartzito assentado com a argamassa para porcelanato, tanto na face lisa como na não polida, apresenta aderência na interface argamassa-rocha suficientemente forte para que a ruptura dos corpos de prova ocorra na rocha. Este fato não se constitui surpresa para a face lisa pelos motivos já referidos no tocante ao arrancamento de micas da superfície, durante o processo de preparação dos corpos de prova, o que aumenta a área de contato da rocha com minerais mais resistentes, como por exemplo, o quartzo. Entretanto, para a face não polida pode-se afirmar que a aderência desta argamassa é tão significativa que se sobrepõe ao efeito de deslocamento dos minerais micáceos, posto que a ruptura ocorreu na rocha.

Os corpos de prova assentados com as argamassas industrializada e resíduo apresentaram a ruptura na interface argamassa-rocha.

#### **6.4- COMENTÁRIOS SOBRE A NORMA NBR 14084 UTILIZADA PARA ENSAIOS COM ROCHAS**

Esta norma foi desenvolvida para a determinação da resistência de aderência à tração para assentamento de materiais cerâmicos com argamassas. Como não existe norma com essa finalidade para assentamentos de materiais rochosos, ela foi utilizada neste trabalho e em outros anteriores. Entretanto são fragrantas as diferenças entre materiais cerâmicos e rochosos o que pode conduzir a eventuais distorções nos resultados. As cerâmicas e os porcelanatos são materiais constituídos por massa compacta que guarda determinada homogeneidade quanto à porosidade, à textura, à dureza e à composição. Já as rochas, por serem materiais naturais, formados por processos diversos (ígneos, sedimentares e metamórficos), exibem variações notáveis com relação à composição mineralógica, texturas e estrutura que redundam numa variabilidade maior nos resultados de aderência com argamassas.

NOGAMI (2007) estudou a aderência de argamassas de rochas graníticas e utilizou também a norma NBR 14084. Neste caso, a dispersão dos resultados foi menor, pois, de forma geral, os granitos apresentam resistência elevada e porosidade baixa. Tais características garantiram certa coerência nos resultados pois todas as rupturas ocorrer na interface argamassa-rocha.

No presente trabalho as rochas estudadas apresentam gêneses diferentes; o *arenito* é sedimentar de textura fina a média com cimento silicoso e estrutura plano-paralela; o *mármore* é metamórfico de contato e exibe textura granoblástica e

estrutura granulada com minerais calcílicos de dimensões centimétricas; o quartzito é proveniente de metamorfismo dinamothermal essencialmente composto por quartzo e micas, textura média e foliação metamórfica marcante.

Como conseqüência destas diferenças entre as rochas estudadas, os resultados são diferentes também entre elas. Por exemplo, as rupturas se processaram tanto na interface argamassa-rocha como também na rocha diferentemente dos resultados de NOGAMI (2007).

No *mármore*, como decorrência do processo de extração dos corpos de prova, verificou-se o desenvolvimento de fissuras intra e inter granulares nas suas bordas que por se fragilizarem favoreceram a penetração das argamassas, fenômeno este comprovado pela permanência de minerais na argamassa após o arrancamento. Este fenômeno pode conduzir a erros nos resultados principalmente pelo efeito parede, que em última análise representa uma área de contato menor que a do corpo de prova. Para o *arenito* e, sobretudo para o quartzito a estratificação e a foliação respectivamente, induzem a ruptura na rocha devido a existência de planos preferências com menores resistências à tração.

Estas constatações permitem que algumas sugestões sejam apresentadas visando à adequação da norma NBR 14084 para ser aplicada em rochas e em até, de forma mais pretensiosa, colaborar para o desenvolvimento de norma para este fim. O número de corpo de prova para o ensaio pode ser aumentado como também o diâmetro deles para que efeitos com o de parede e a influência de aspectos texturais e estruturais sejam minimizados.

- Em condições normais, os valores de resistência de aderência à tração obtida com assentamentos na face não polida são superiores ao da face lisa devido à maior área de contato existente na primeira. As características petrográficas e tecnológicas das rochas determinam o ganho de resistência na face não polida em relação à lisa.
- A argamassa para porcelanato tanto na face lisa quanto na não polida (natural) apresentou maiores valores de resistência de aderência à tração para as três rochas estudadas. Este fato pode ser explicado pela composição, maior fluidez, menor granulometria dos constituintes, menor porosidade, características que lhe conferem maior poder de contato com as rochas.
- Com exceção de três ensaios (*mármore*/argamassa resíduo na face lisa e quartzito/argamassas industrializada e resíduo) todos os outros 15 ensaios mostram resultados de resistência de aderência à tração maiores que 1,0 MPa, portanto atendendo a norma NBR 14085.
- O baixo valor de resistência de aderência à tração atingida pelo *mármore* com a argamassa industrializada na face lisa deveu-se ao fato da geração de fissuras nas bordas dos corpos de prova durante a extração que possibilitaram a penetração dela, reduzindo conseqüentemente a área de contato efetiva dos corpos de prova. Para o quartzito com face não polida, assentado com as argamassas industrializada e resíduo, os valores médios

reduzidos são explicados pela presença de micas que diminuem a resistência de aderência à tração no arrancamento.

- As rupturas nos ensaios de resistência de aderência à tração ocorreram na interface argamassa-rocha nos assentamentos da face lisa para as três rochas como também na face não polida para as argamassas industrializada e resíduo. Entretanto, para os três tipos de rocha assentados com a argamassa porcelanato, as rupturas ocorrem na rocha.
- Para o *arenito* estratificado e com cimento silicático a ruptura ocorreu segundo planos de acamamento, no *mármore* ao longo do imbricamento entre minerais e ou intragranular. Já para o quartzito, a ruptura se deu ao longo dos planos determinados pela foliação metamórfica, onde os minerais micáceos são determinantes.
- O fato do assentamento dos corpos de prova com as argamassas apresentarem resistências de aderência diferentes para as diversas rochas confirma a importância em se considerar os aspectos mineralógicos, texturais e estruturais de cada uma delas. Sendo assim, é recomendado que as rochas sejam assentadas apenas em revestimentos horizontais.

## **7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:**

- Repetir os mesmos ensaios realizados nesta pesquisa para um número maior de rochas, estabelecendo correlações entre mineralogias, estruturas e texturas.
- Realizar o ensaio de resistência de aderência à tração para diferentes períodos de tempos, 7, 14 e 21 dias, para efeito de comparação.
- Realizar ensaios de resistência à flexão, ao cisalhamento e ao deslizamento com as argamassas industrializada, resíduo e porcelanato para efeito de comparação.
- Realizar análise na interface argamassa-rocha para a verificação do tipo de ligação ocorrida.



## REFERÊNCIAS

---

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.** (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

ALMEIDA, A. E. F. S., SICHIERI, E. P.. **Propriedades microestruturais de argamassas de cimento Portland com adições minerais e poliméricas utilizadas na fixação de porcelanato.** Cerâmica 52, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6.474/84:** Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7.200/98:** Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7.222/94:** Argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 8.491/84**: tijolo maciço de solo-cimento: especificação. Rio de Janeiro, ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10.004/87**: Amostragem de resíduos, Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10.005/87**: Resíduos Sólidos: classificação, Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10.006/87**: Solubilização de resíduos: procedimento, Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 12.042/92**: Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 12.678/92**: Rochas para revestimento, análise petrográfica, Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 12.763/92**: Rochas para revestimento: determinação da resistência à flexão – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 12.765/92**: Rochas para revestimento. Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 12.766/92**: Rochas para revestimento, determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente, Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 12.767/92**: Rochas para revestimento, determinação da resistência à compressão uniaxial, Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 13.529/95**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 13.817/97**: placas cerâmicas para revestimento: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 14.081/04**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 14.082/98**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: Execução do substrato padrão e aplicação de argamassa para ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 14084/04**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: Determinação da resistência de aderência. 2004.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Test method for flexural strength of dimension stone. ASTM C880**, 1998.

Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais em 2008. São Paulo. – CETEM / ABIROCHAS, 2009.

BARROS, M. L. S. C. ; Filho, J. L. R. ; Souza, J. C. ; Lira, B. B. ; Oliveira, F. M. C. . **Avaliação dos procedimentos de Ensaios para Caracterização de Rochas Ornamentais**. In: III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife, 2002.

CALMON, J.L., TRISTÃO, F.A., LORDÉLLO, F.S.S., DA SILVA, S.A.C., MATTOS, F.V. Aproveitamento do Resíduo de Corte de Granito para a Produção de Tijolos de Solo-Cimento. In: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Qualidade no Processo Construtivo, - Entac. **Anais**. Florianópolis, 1998.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. IBRACON São Paulo, 2007.

CARVALHO E.A., CAMPOS, A.R., PEITER, C.C., ROCHA, F.C. **Aproveitamento dos resíduos finos das serrarias de santo Antônio de Pádua. evento: I Seminário da Sustentabilidade Ambiental da Mineração Salvador (BA), 2003.**

CHIODI, C. F., **Balanço das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de revestimento em 2007**, 2008.

CHIODI FILHO, C. **Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento no período de janeiro a novembro de 2009**, ABIROCHAS, São Paulo, Informe 22/2009.

CHIODI FILHO, C. **Síntese das exportações brasileiras de rochas ornamentais em 2007**. ABIROCHAS, São Paulo, Informe 01/2008.

COELHO, M. A. M. **Estudos Preliminares na Utilização de Resíduo do Beneficiamento de Granito na Fabricação de Blocos de Concreto**. Congresso Brasileiro do Concreto, 2006.

COELHO, M. A. M. e FURTADO, D. S.. **Estudos preliminares na utilização de resíduo do beneficiamento de granito na fabricação de blocos de concreto**. Faculdade do Centro Leste. Faculdade do Centro Leste. Vitória ES, 2006.

COSTA, A. G. *Granitos ornamentais da região Sul de Minas Gerais*. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, VI, São Pedro, SBG/Núcleo São Paulo, 1999.

COSTA, M. R. M. M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos.** Tese em Engenharia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

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

FERNANDES, T. M. G. **Caracterização petrográfica, química e tecnológica dos quartzitos do Centro Produtor de São Tomé das Letras no Sudoeste do Estado de Minas Gerais.** Tese de Doutorado. IGCE/UNESP, 2002.

FERNANDES, T. M. G; GODOY, A. M.; N. H. **Aspectos geológicos e tecnológicos dos Quartzitos do centro produtor de São Tomé das Letras (MG).** IGCE/UNESP, 2003

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

FLAIN, E. P. **Alguns aspectos da produção de revestimentos de fachadas de edifícios com placas pétreas.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP- Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1995.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Qualificação de rochas ornamentais e para revestimento de edificações: caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade.** In: I

Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais / II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2001, Salvador. Anais - I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais / II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

FRAZÃO, E. B. e FARJALLAT, J. E. S. **Características Tecnológicas das Principais Rochas Silicáticas Brasileiras usadas como pedras de Revestimento.** I CONGRESSO INTERNACIONAL DA PEDRA NATURAL, Lisboa, 1995.

FREIRE, A.S. e MOTTA, J.F.M.. **Potencialidades para o aproveitamento econômico de rejeito da serragem de granito. Rochas de Qualidade: Granitos, Mármore e Rochas Ornamentais.** São Paulo, edição 123, 1995.

GOBBO, L.A.; MELLO, I.S.C.; QUEIRÓZ, F.C.; FRASCÁ, M.H.B.O. **Aproveitamento de Resíduos Industriais.** In: MELLO, I.S.C. **A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S.A., 2004.

GONÇALVES, J.P., MOURA, W.A., DAL MOLIN, D.C.C. **Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto.** Ambiente Construído, Porto Alegre, 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.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2003.

GRASSELLI, G. Shear Strength of Rock Joints on Quantified Surface Description. Tese de Doutorado. Lausanne. Ecole Polytechnique Federal de Lausanne, 2001.

IAMAGUTI, A. P. S, **Manual Rochas Ornamentais para Arquiteto.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista - Rio Claro, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Catálogo de rochas ornamentais do Estado do Espírito Santo. São Paulo-SP, 1993.

JUNGINGER, M. Revestimentos cerâmicos aderidos: aspectos técnicos no projeto de fachadas. Boletim técnico, 2007.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P.JR. **Química e reações químicas.** Tradução de Horácio Macedo. 3. v.2., ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.



MACIEL, L. L., BARROS, M.M.S.B., SABBATINI, F.H. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos.** São Paulo, PINI, 1998.

MATOS, L. F. S., **Metodologia experimental para previsão da durabilidade de pedras naturais de construção.** Florianópolis. Tese de Doutorado da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

MANHÃES, J. P. V. T. ; MOREIRA, J. M. S; HOLANDA, J. N. F. **Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha.** Grupo de Materiais Cerâmicos, LAMA. Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2005.

MIRANDA, R. A. C. **Viabilidade Técnica da aplicação de resíduos de beneficiamento de *mármore* e granito em tijolos de solo-cimento.** Goiânia. Dissertação Universidade Federal de Goiás, 2007.

MOURA, W. A.; GONÇALVES, J. P.; LEITE, R. S. **Utilização do resíduo de corte de *mármore* e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso.** Revista da Universidade Federal de Feira de Santana. Bahia. 2002.

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, 1992.

NAVARRO, F.C., **Anisotropia da resistência à compressão uniaxial e dilatação térmica linear de rochas para revestimento**. Tese de Doutorado em Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho, 2006.

NEVES, G. A. **Reciclagem de resíduos da serragem de *granitos* para uso como matéria prima cerâmica**. Campina Grande. Tese de Doutorado - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, 2002.

NOGANI, L. **Fixação de placas de rochas ornamentais: Estudo da Aderência com argamassa colante**. Tese de mestrado. Universidade de São Paulo. São Carlos S.P, 2007

NOGUEIRA, R. E. F. Q., ARGONZ, R., MATTOS, I. C., CORDEIRO E. R., ARAUJO, A. T. F. S. **Caracterização de resíduos provenientes da extração de *granitos* da serra da Meruoca (CE) visando seu aproveitamento como matéria-prima cerâmica**. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2006.

QUEIROZ, J. P. C. e CARANASSIOS, A. **Petrografia Microscópica e Caracterização de Rochas Ornamentais**. I Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM, 2007.

REGATTIERI, C.E. e SILVA, L. **Ganhos potenciais na utilização da argamassa industrializada.** 2006.

Disponível: [HTTP://www.comunidade-da-construcao.com.br/comunidade/calandra.nsf/0/560FCD07CB7D537483256D49004C0CDA?OpenDocuments&pub=proj=novo&can=Argamassas](http://www.comunidade-da-construcao.com.br/comunidade/calandra.nsf/0/560FCD07CB7D537483256D49004C0CDA?OpenDocuments&pub=proj=novo&can=Argamassas), Acesso em 10 de novembro de 2009.

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

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.

RIBEIRO, R.P. **Influência das características petrográficas de granitos no processo industrial de desdobramento de blocos.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos S.P, 2005.

RIBEIRO, R. P.; PARÁGUASSÚ, A.B.; MOREIRAS, S. T. F. **Estudo Comparativo entre a Rugosidade e o Coeficiente de Atrito dinâmico de chapas Brutas de Granitos.** Pedras do Brasil, 2007.

ROSA, L.C. **Acabamento de Superfícies - rugosidade superficial** UNESP – Universidade Estadual Paulista - Unidade Diferenciada de Sorocaba/Iperó-SP 2004. Disponível:[http://www.sorocaba.unesp.br/professor/luizrosa/index\\_arquivos/pdf](http://www.sorocaba.unesp.br/professor/luizrosa/index_arquivos/pdf). Acesso em 02 de novembro de 2008.

SABBATTINI, F.H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Boletim técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. S.P., 02/1986.

SABBATTINI, F.H. **Tecnologia de aplicação de revestimento cerâmico para fachadas de edifícios: avaliação de campo e laboratório**. Relatório Científico. Escola Politécnica da USP, 2000.

SELMO, S.M.S. **Dosagens de argamassas de cimento *portland* e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 1989.

SILVA, S. A. C. **Caracterização do resíduo da serragem de blocos de granito. Estudo do potencial na aplicação na fabricação de argamassas de assentamento e de tijolos de solos-cimento**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Espírito Santo, 1998.

SIQUEIRA, K. P.; MONTEFUSCO, A. R. G; GUIMARAES NETO, A. B. e BONDUELLE A. **Principais metodologias de medição de estado de superfícies**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR, 2003.

SOUZA, J. C. e LIRA, B. B. **Tecnologia de Assentamento de Fachadas, Projetos e Ensaios Tecnológicos para Inserts Metálicos**, Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências/ UFPE, 2002.

SOUZA, J. N.; RODRIGUES, J. K. G.; NETO, P. N. S. **Utilização de resíduo proveniente da serragem de rochas graníticas como material de enchimento em concretos asfálticos usinados a quente**. Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia (UFCG), 2005.

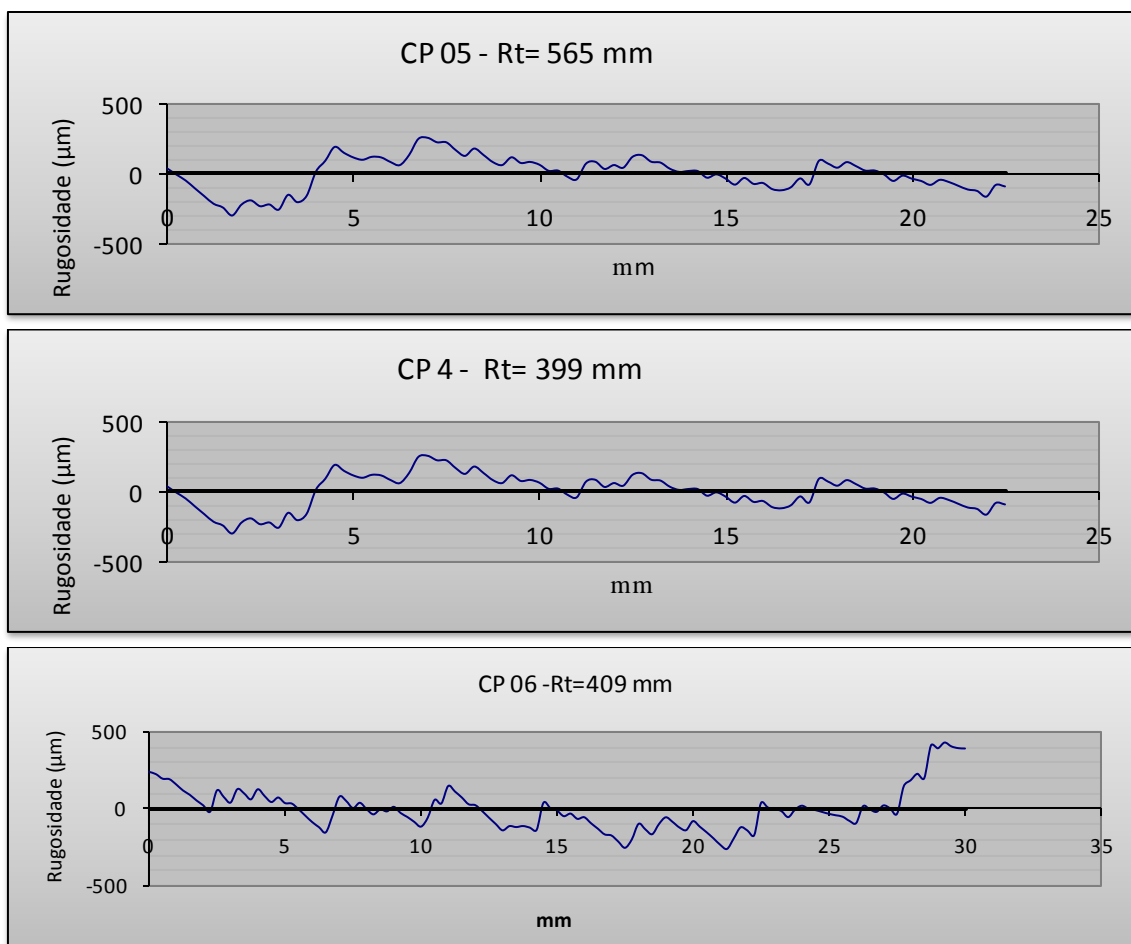
## ANEXO A – PERFIS DE RUGOSIDADES DOS CORPOS DE PROVA NA FACE NÃO POLIDA

Apresenta-se a seguir alguns exemplos dos perfis de rugosidade dos corpos de prova assentados com as argamassas industrializada, resíduo e porcelanato, na face não polida.

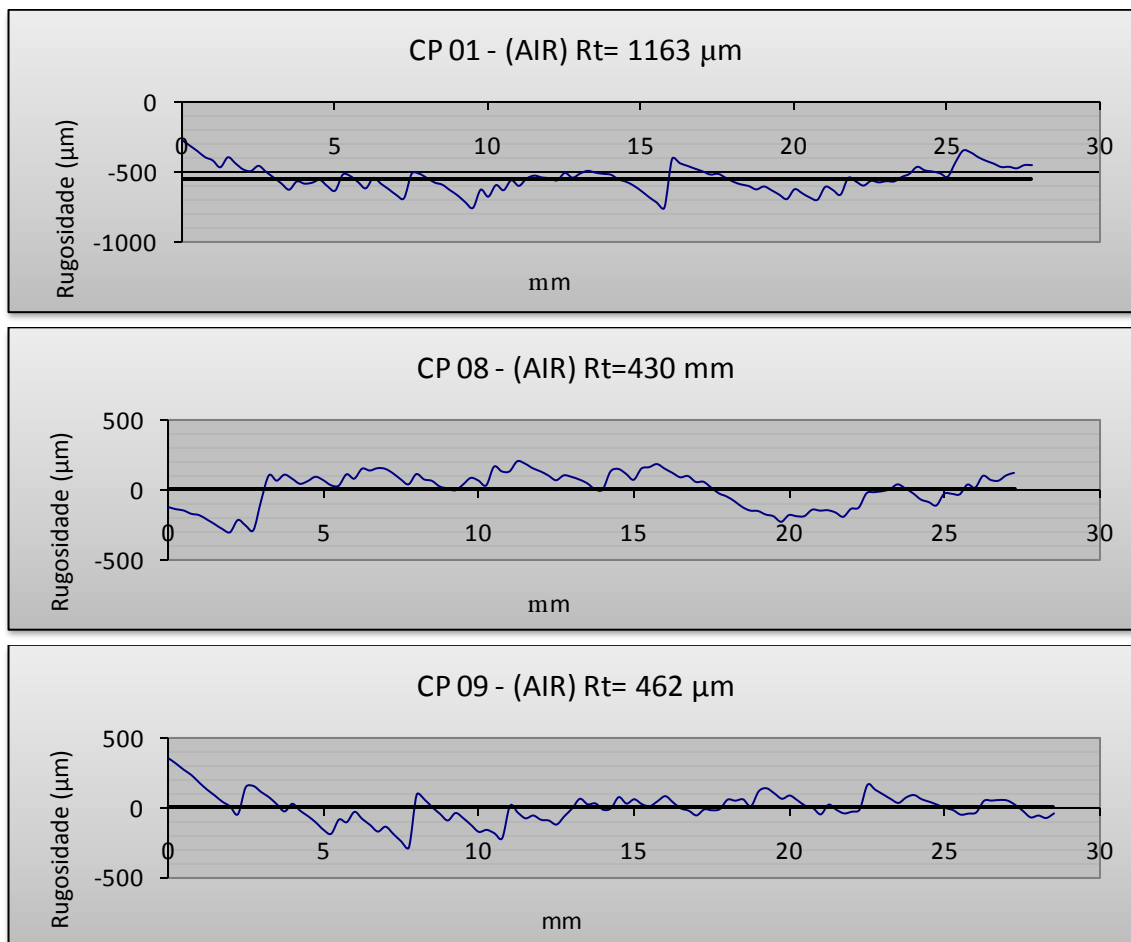
### ▪ PERFIS DE RUGOSIDADE DO *ARENITO*

#### ➤ PERFIS DE RUGOSIDADE DO *ARENITO* ASSENTADOS COM A ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA.

Apresenta-se nas Figuras A.52 e A.53 os perfis de rugosidade dos corpos-de-prova do *arenito* assentados com a argamassa industrializada, resíduo e porcelanato.



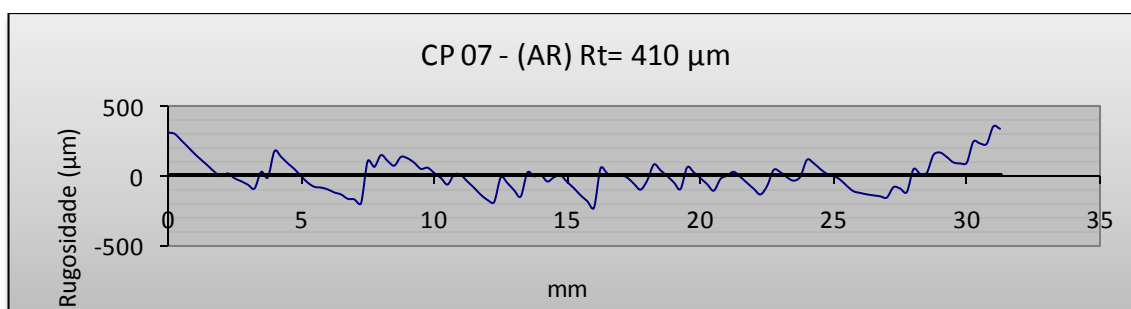
**Figura A.41-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *arenito* assentados com a argamassa industrializada.



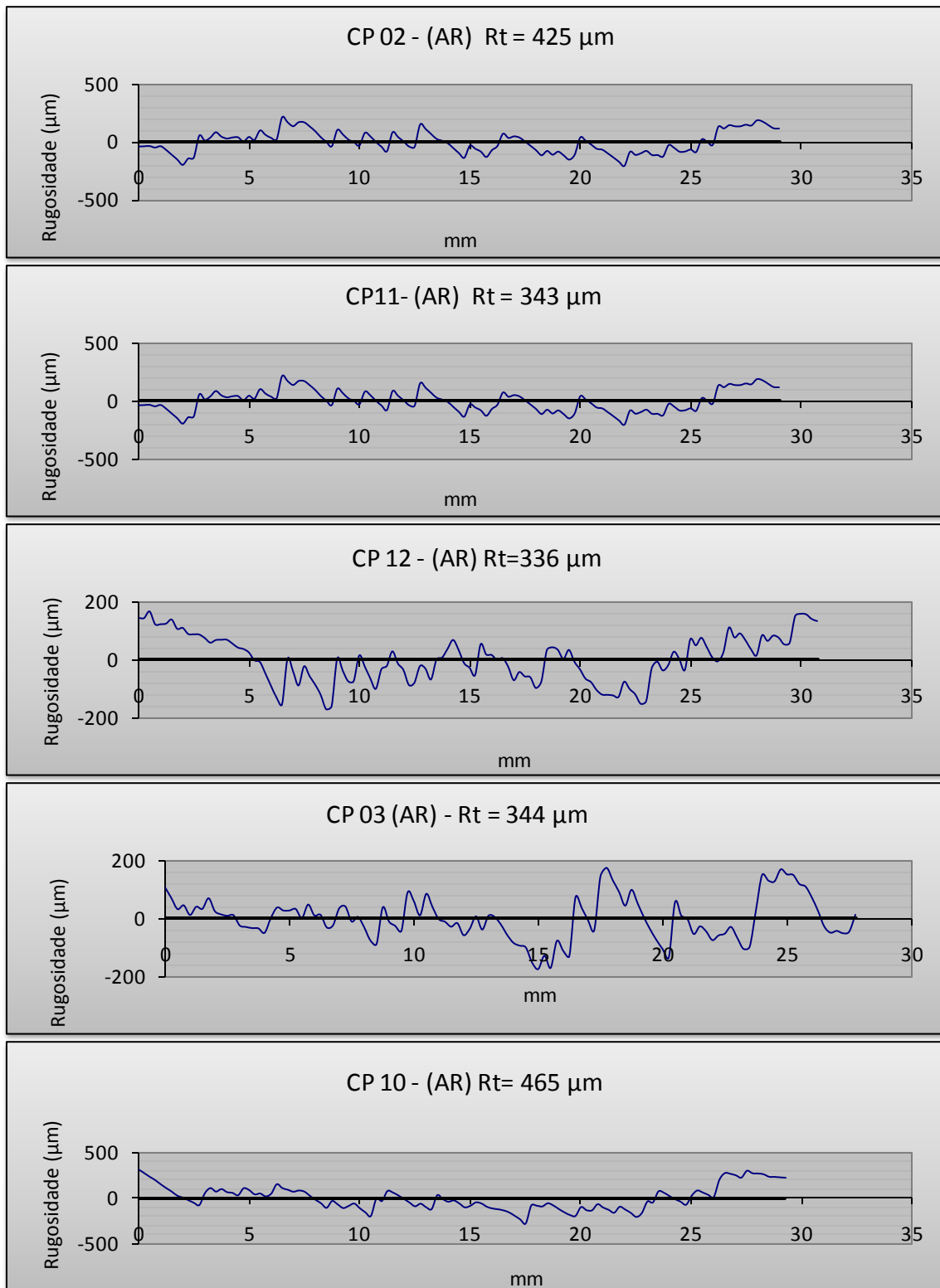
**Figura A.42-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *arenito* assentados com a argamassa de industrializada

➔ **PERFIS DE RUGOSIDADE DO ARENITO ASSENTADOS COM A ARGAMASSA RESÍDUO**

Nas figuras A.54 e A.55 são apresentados os perfis de rugosidade dos corpos de prova do *arenito*, fixados com a argamassa de resíduo



**Figura A.43-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *arenito* assentados com a argamassa de resíduo.

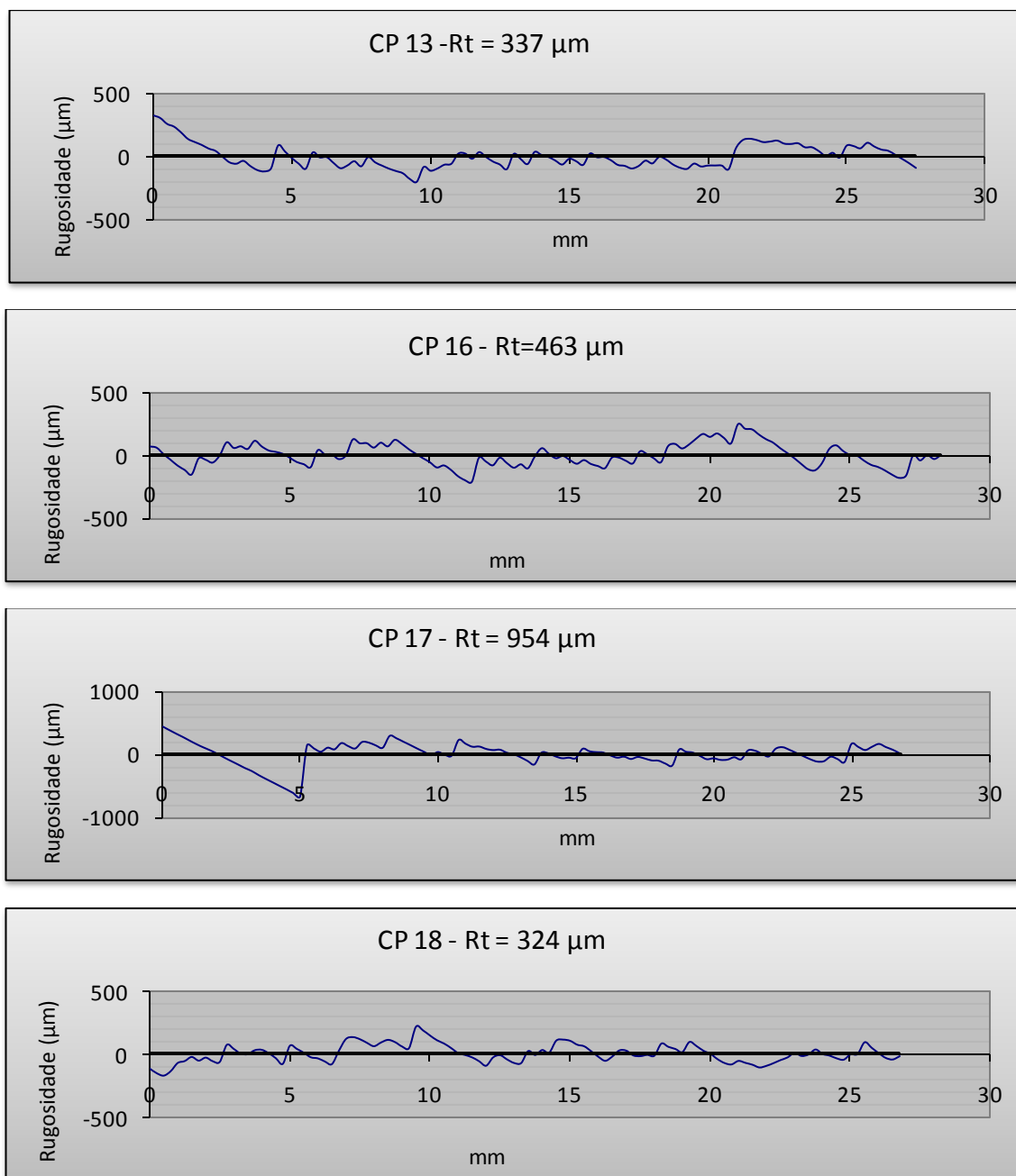


**Figura A.44-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *arenito* assentados com a argamassa de resíduo.

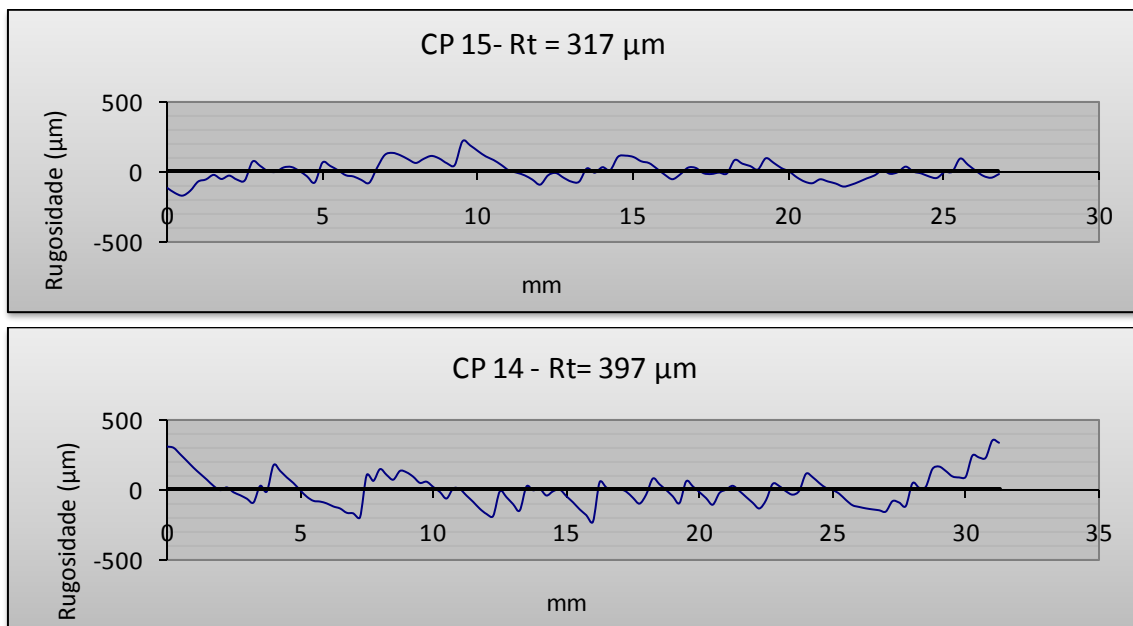


## PERFIS DE RUGOSIDADE DO ARENITO ASSENTADOS COM ARGAMASSA PORCELANATO

Nas Figuras A.56 e A.57 são apresentados os perfis de rugosidade dos corpos de prova do *arenito*, fixados com a argamassa de porcelanato.



**Figura A.45-** Perfil de rugosidade Corpos de prova do *arenito* assentados com a argamassa porcelanato.



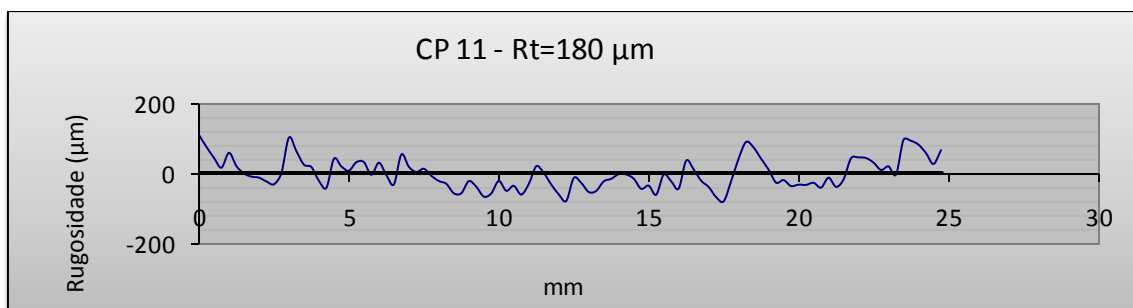
**Figura A46-** Perfil de rugosidade Corpos de prova do *arenito* assentados com a argamassa porcelanato.

▪ **PERFIS DE RUGOSIDADE DO MÁRMORE**

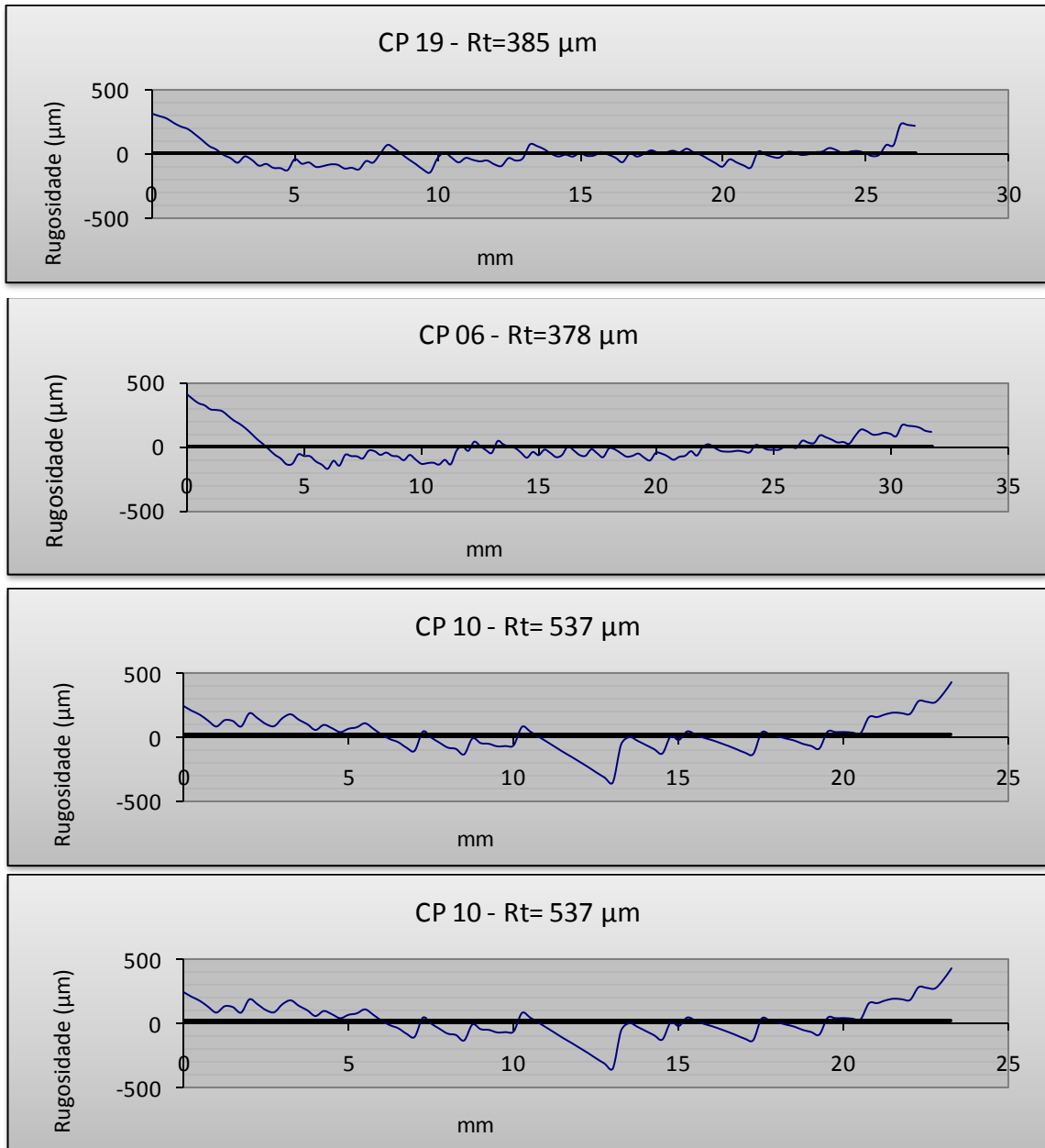
Apresenta-se a seguir os Perfis de rugosidade dos corpos-de-prova do *mármore* assentados com a argamassa industrializada, resíduo e porcelanato.

➔ **PERFIS DE RUGOSIDADE DO MÁRMORE ASSENTADOS COM A ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA.**

Nas figuras A.58 e A.59 são apresentados os perfis de rugosidade dos corpos de prova do *mármore*, fixados com a argamassa industrializada.



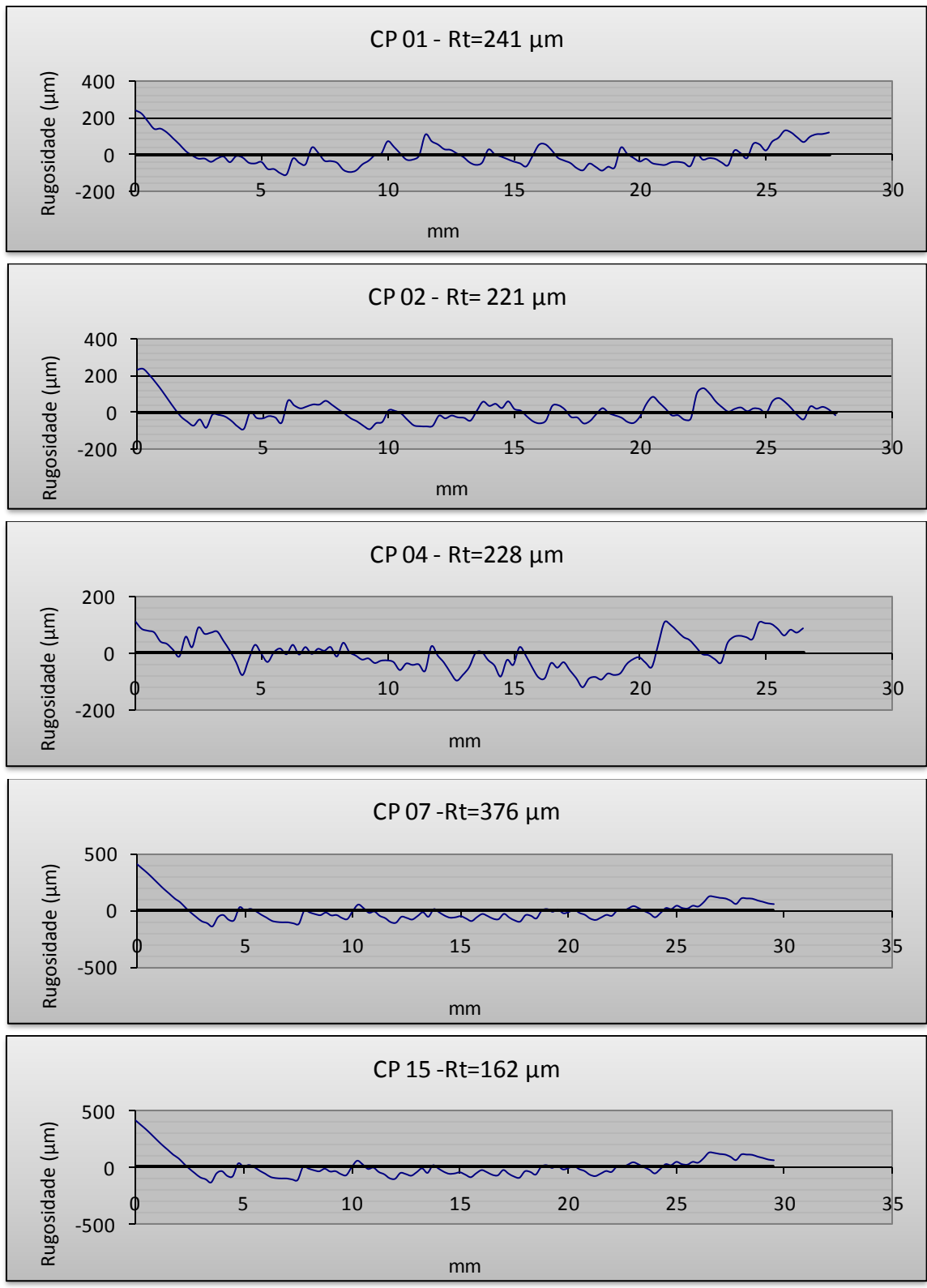
**Figura A47-** Perfil de rugosidade Corpos de prova do *mármore* assentados com a argamassa industrializada.



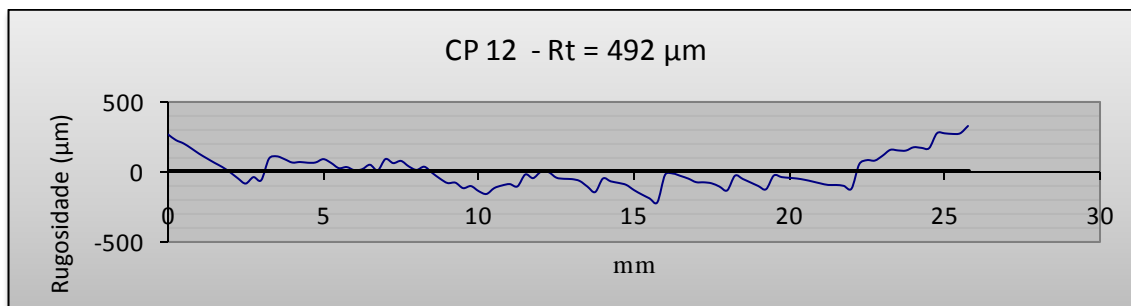
**Figura A.48-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *mármore* assentados com a argamassa industrializada.

➡ **PERFIS DE RUGOSIDADE DO MÁRMORE ASSENTADOS COM A ARGAMASSA RESÍDUO**

Nas Figuras A.60 e A.61 são apresentados os perfis de rugosidade dos corpos de prova do *mármore*, fixados com a argamassa resíduo.



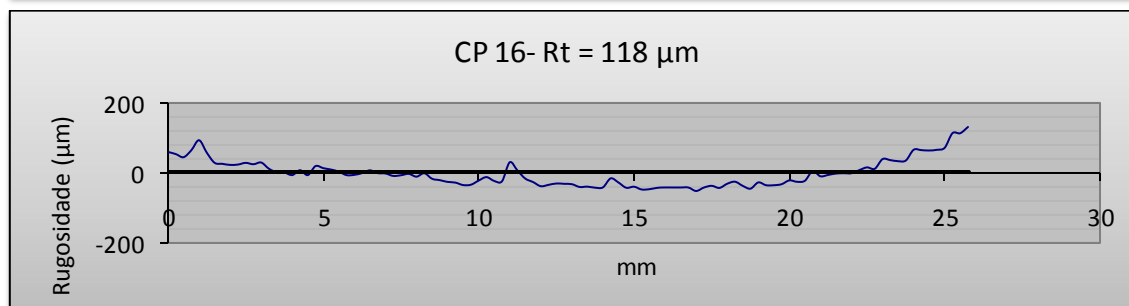
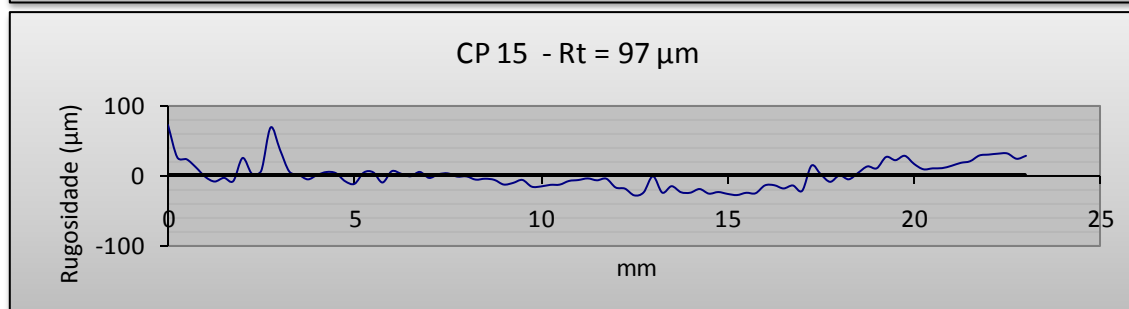
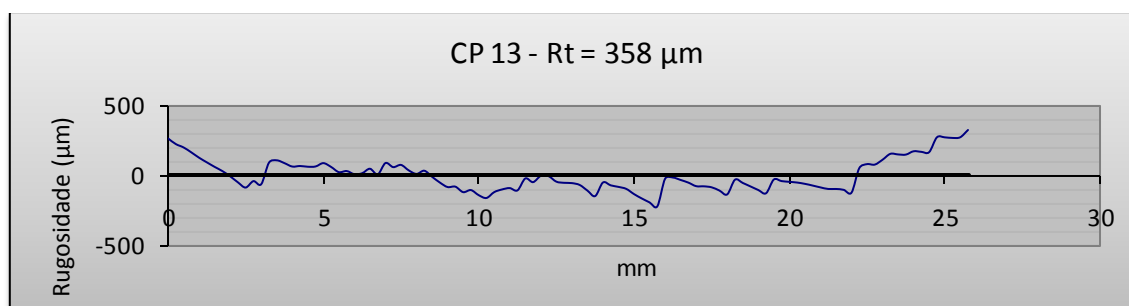
**Figura A.49-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *mármore* assentados com a argamassa de resíduo.



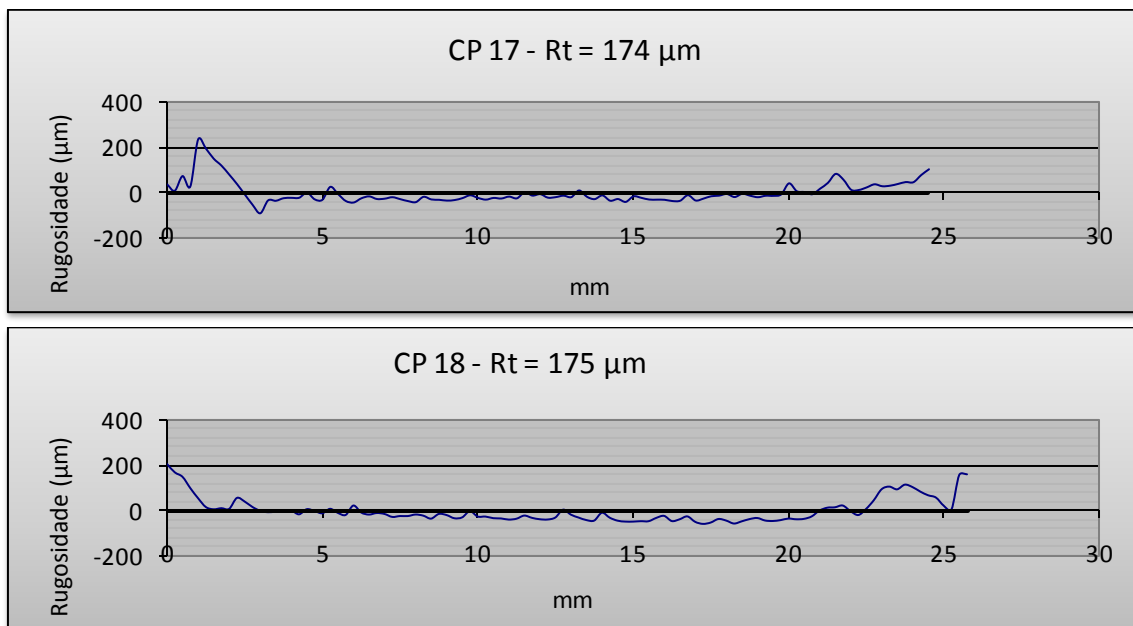
**Figura A.50-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *mármore* assentados com a argamassa de Resíduo.

### ➤ PERFIS DE RUGOSIDADE DO *MÁRMORE* ASSENTADOS COM ARGAMASSA PORCELANATO

Nas figuras A.62 e A.63 são apresentados os perfis de rugosidade dos corpos de prova do *mármore*, fixados com a argamassa para porcelanato.



**Figura A.51-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *mármore* assentados com a argamassa para porcelanato



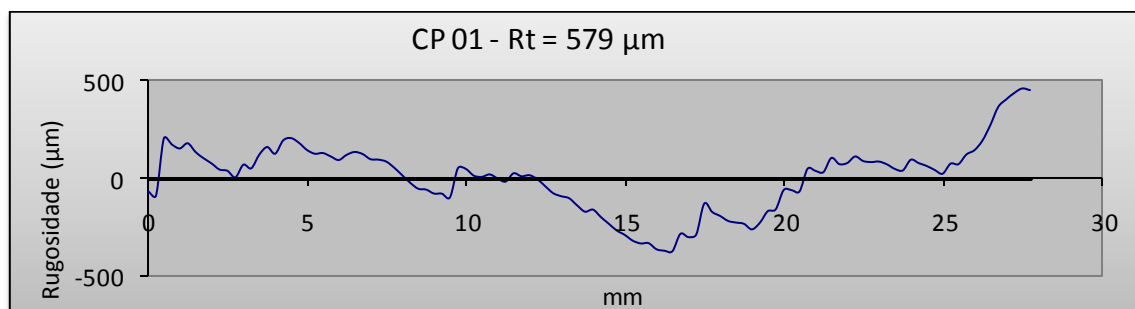
**Figura A.52-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *mármore* assentados com a argamassa para porcelanato

▪ **PERFIS DE RUGOSIDADE DO QUARTZITO**

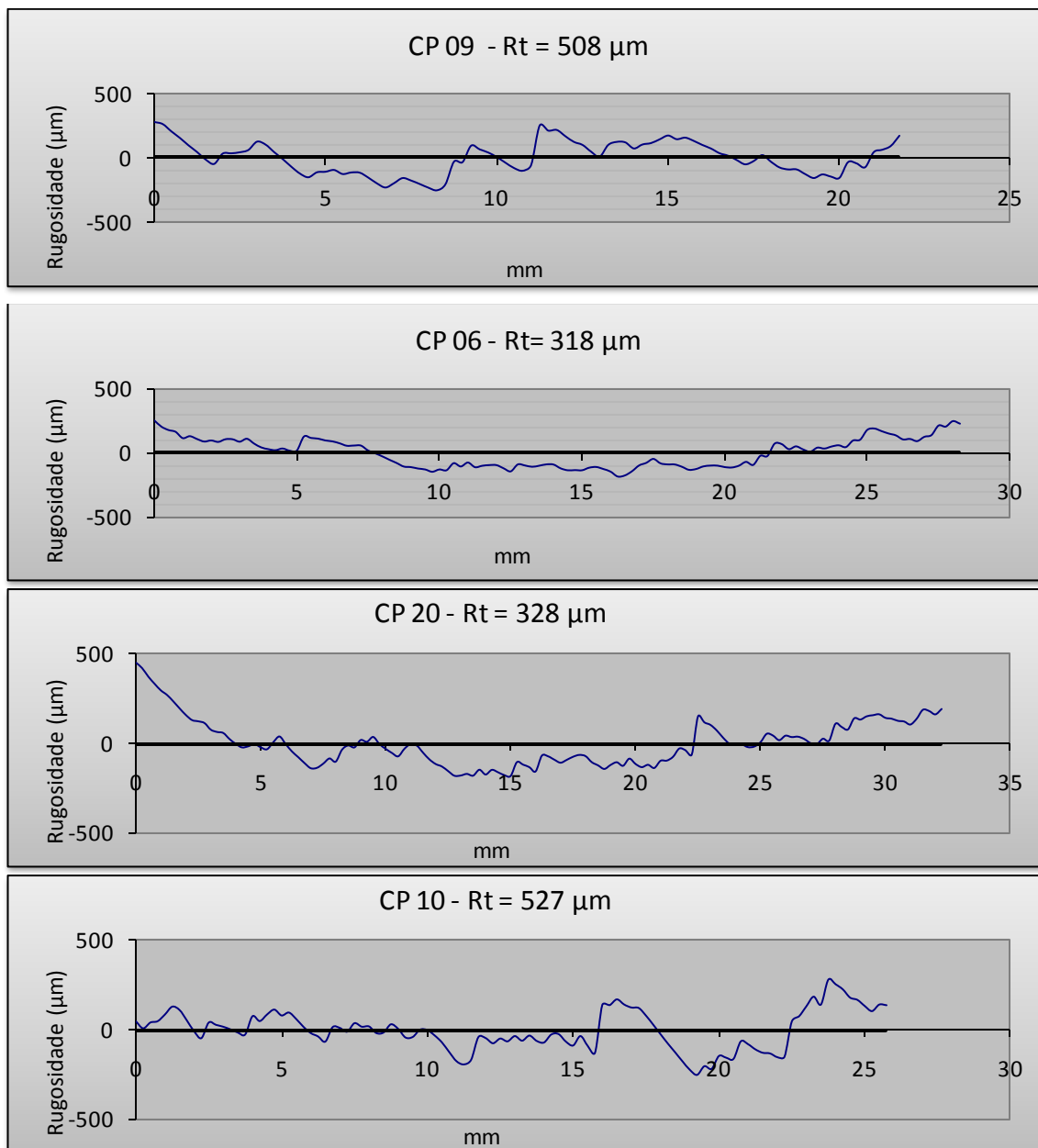
Apresenta-se a seguir os perfis de rugosidade dos corpos-de-prova do quartzito assentados com a argamassa industrializada, resíduo e porcelanato

➤ **PERFIS DE RUGOSIDADE DO QUARTZITO ASSENTADOS COM ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA**

Nas Figuras A.64 e A.65 são apresentados os Perfis de rugosidade dos corpos de prova do quartzito, fixados com a argamassa para porcelanato.



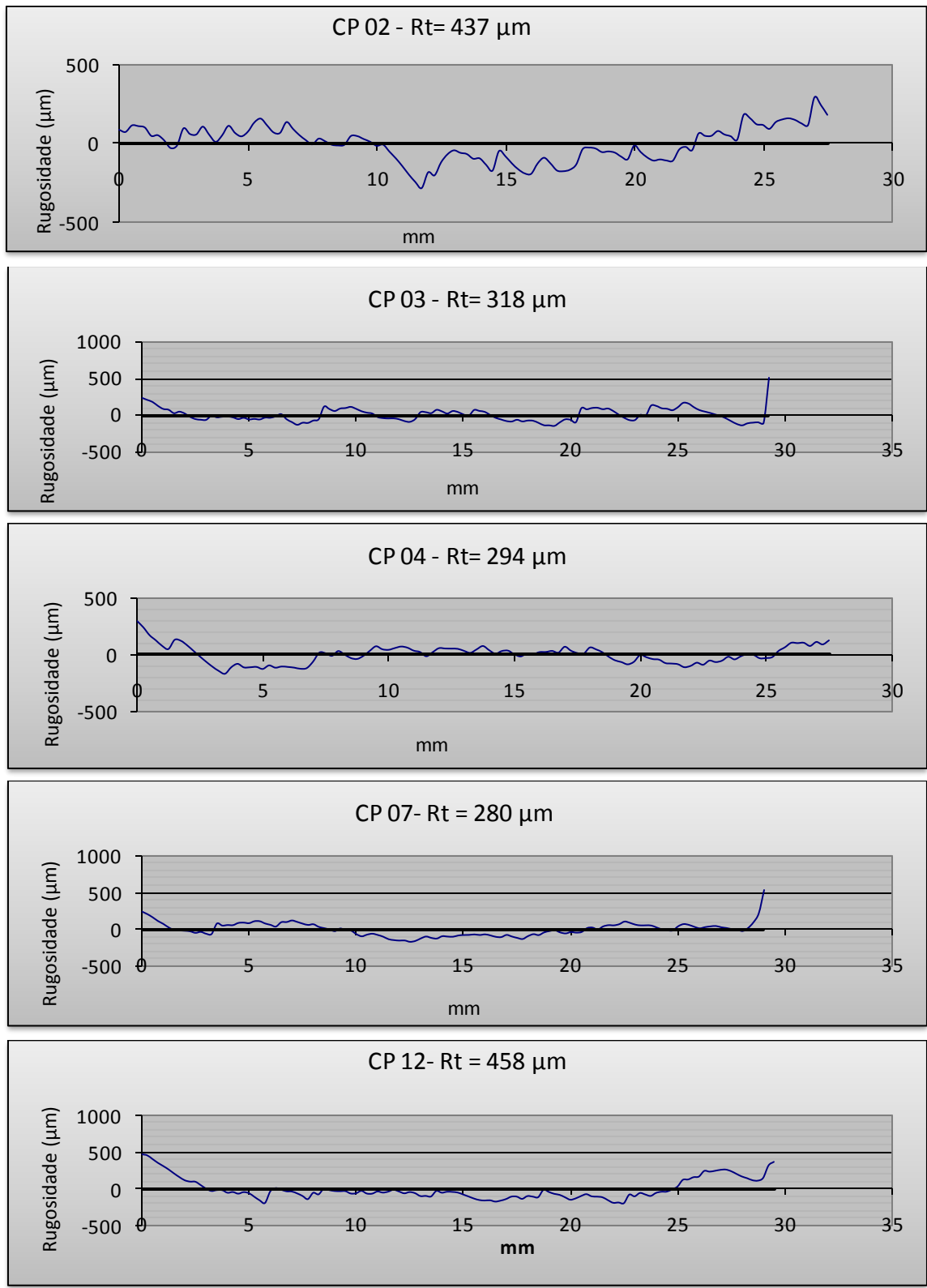
**Figura A.53-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa industrializada



**Figura A.54-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa industrializada

➤ **PERFIS DE RUGOSIDADE DO QUARTZITO ASSENTADOS COM A ARGAMASSA RESÍDUO**

Na Figura A.66 é apresentado os perfis de rugosidade dos corpos de prova do quartzito, fixados com a argamassa de resíduo.

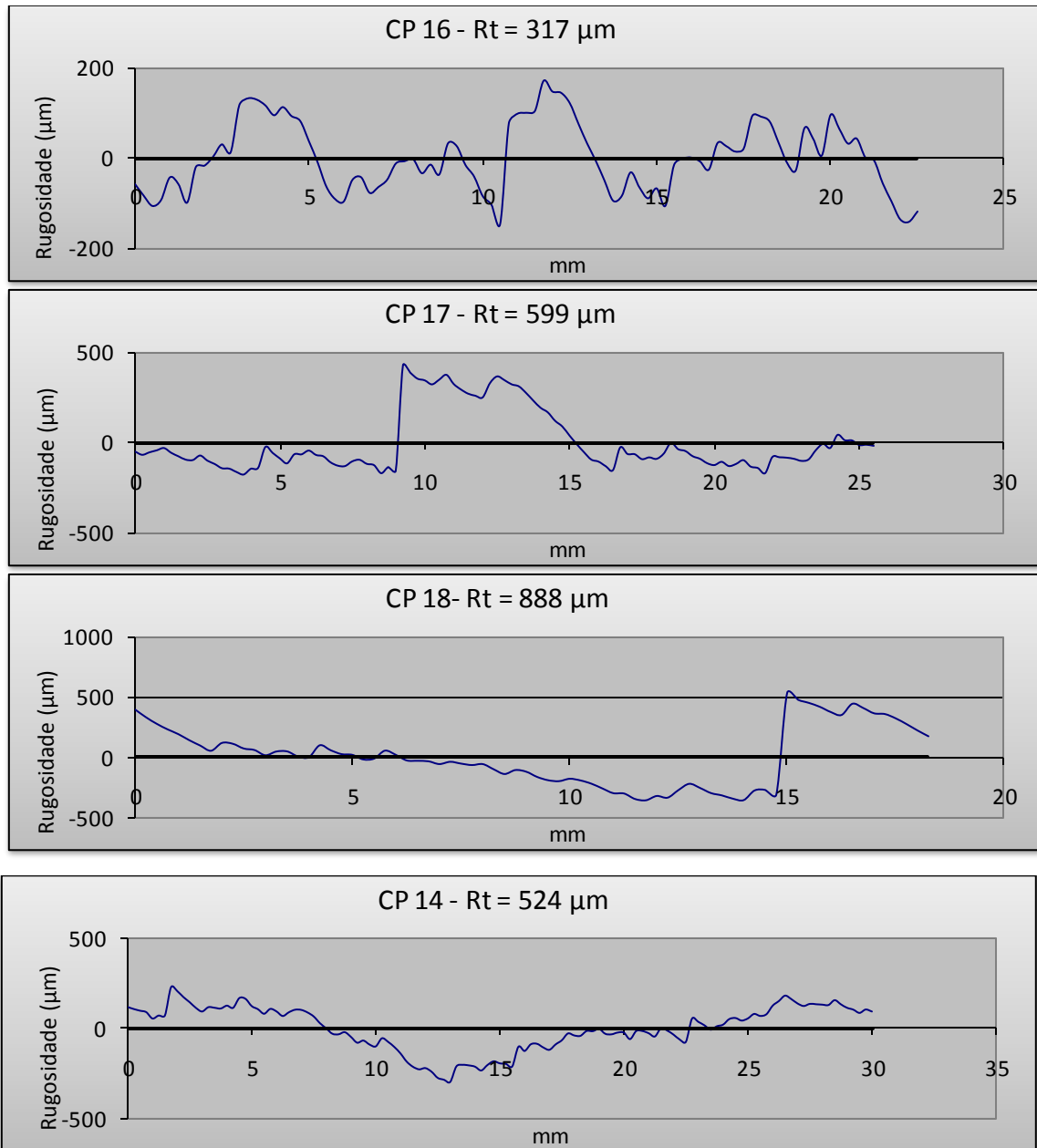


**Figura A.55-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do Quartzito assentados com a argamassa de Resíduo.

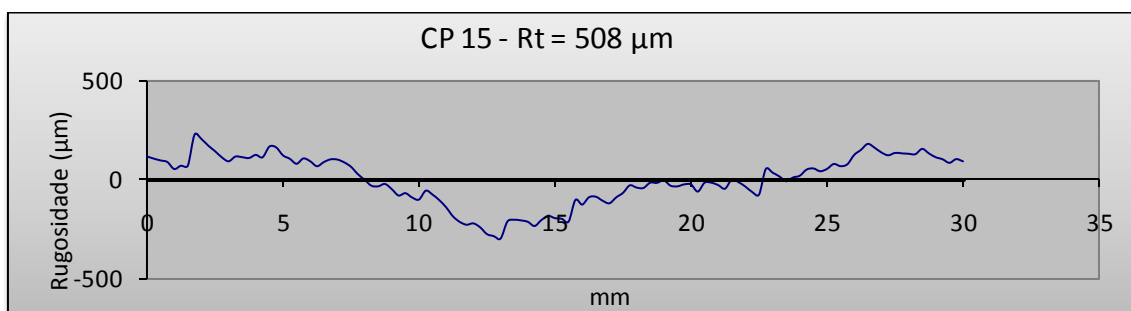


➔ **PERFIS DE RUGOSIDADE DO QUARTZITO ASSENTADOS COM A ARGAMASSA PORCELANATO**

Nas Figuras A.67 e A.68 são apresentados os perfis de rugosidade dos corpos de prova do Quartzito, fixados com a argamassa de Porcelanato.



**Figura A.56-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa para porcelanato.



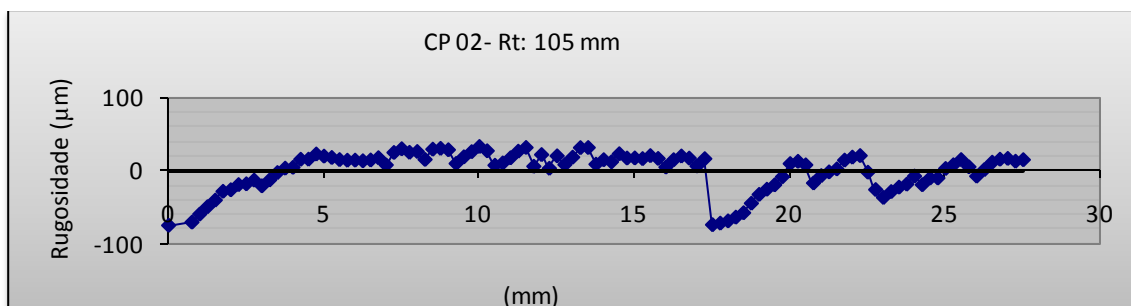
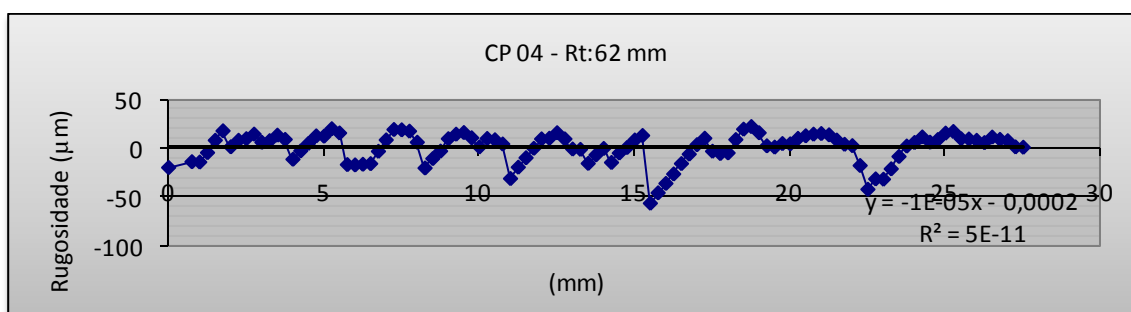
**Figura A57-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa para porcelanato.

## ANEXO B – PERFIS DE RUGOSIDADES DOS CORPOS DE PROVA NA FACE LISA

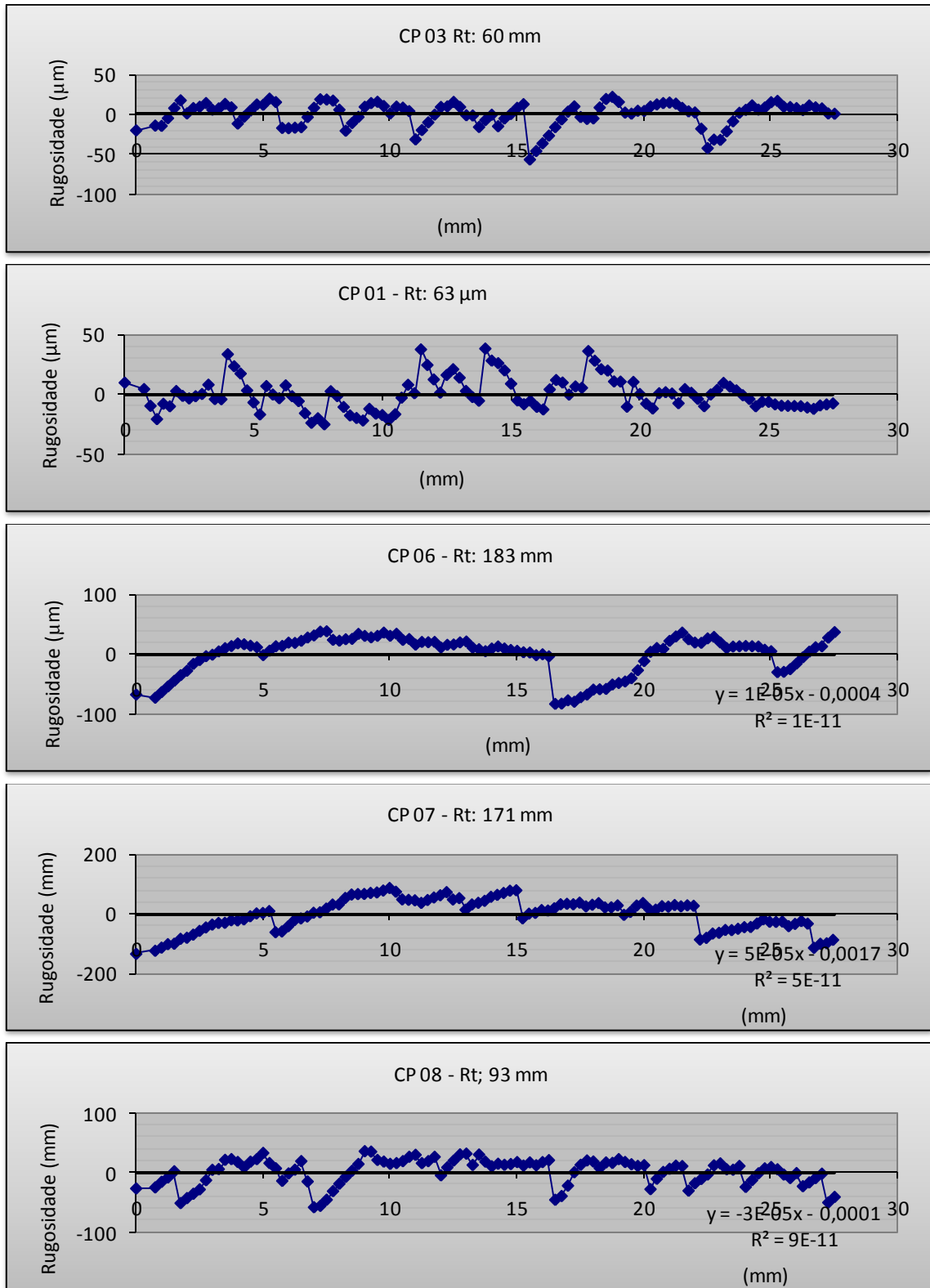
### ▪ PERFIS DE RUGOSIDADE DO *ARENITO*

Apresenta-se nas figuras B.69 e B.70 os perfis de rugosidade dos corpos-de-prova do *arenito* assentados com as argamassas industrializada e resíduo

### ➤ PERFIS DE RUGOSIDADE DO *ARENITO* ASSENTADOS COM A ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA.



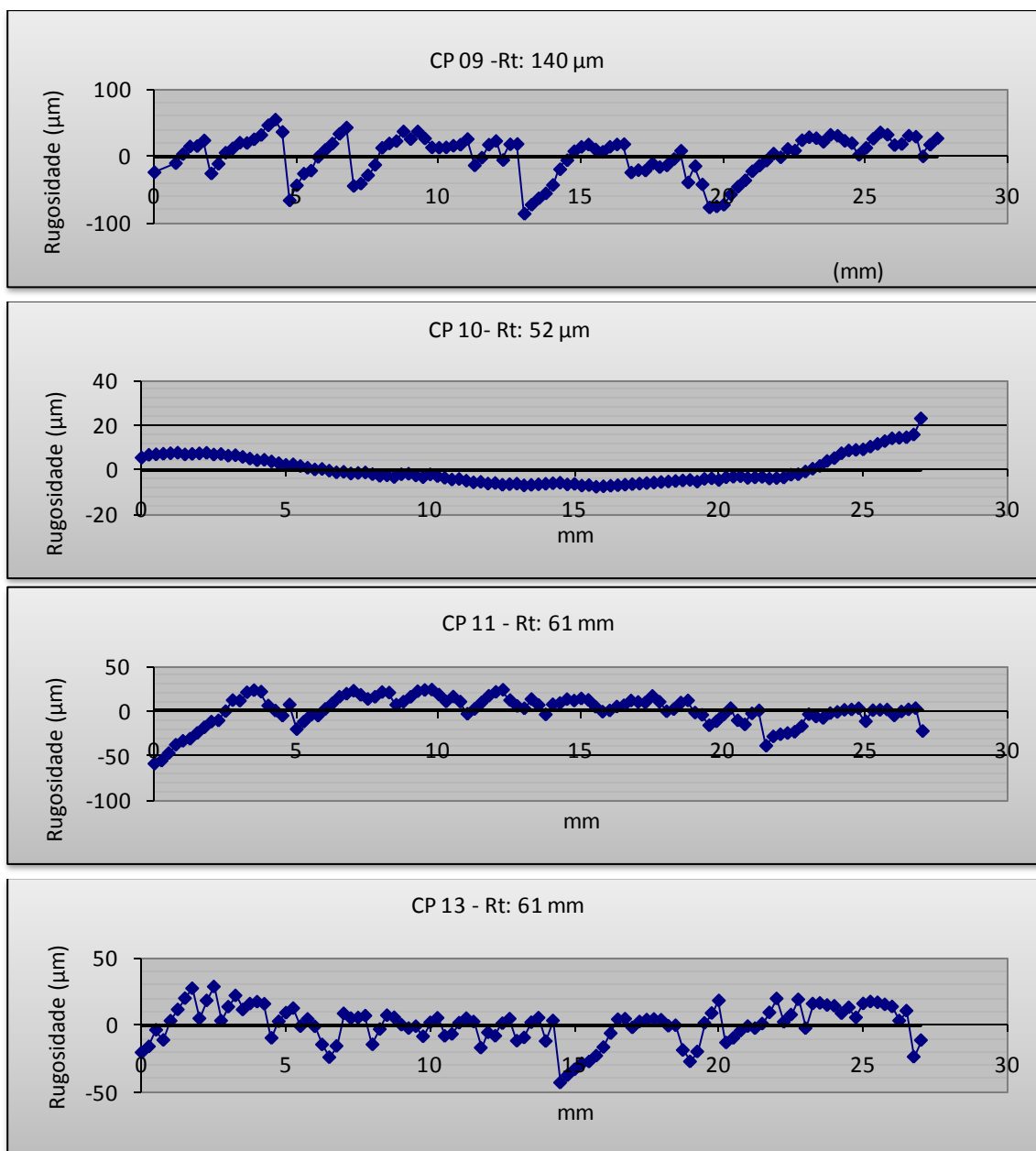
**Figura B.58-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *arenito* assentados com a argamassa industrializada.



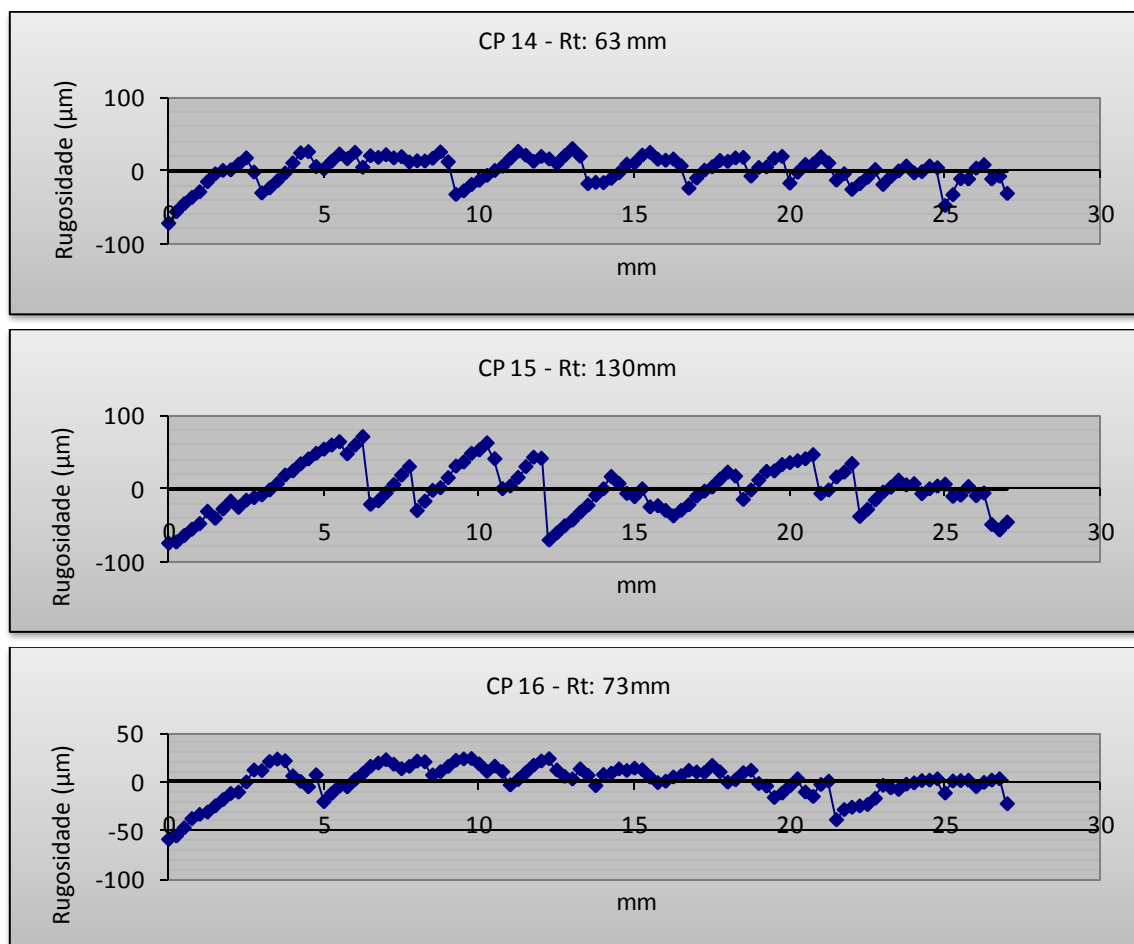
**Figura B.59-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *arenito* assentados com a argamassa industrializada.

## ➤ PERFIS DE RUGOSIDADE DO *ARENITO* ASSENTADOS COM A ARGAMASSA RESÍDUO

Apresenta-se nas figuras B.71 e B.72 os perfis de rugosidade dos corpos-de-prova do *arenito* assentados com a argamassa resíduo.



**Figura B.60-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *arenito* assentados com a argamassa resíduo.



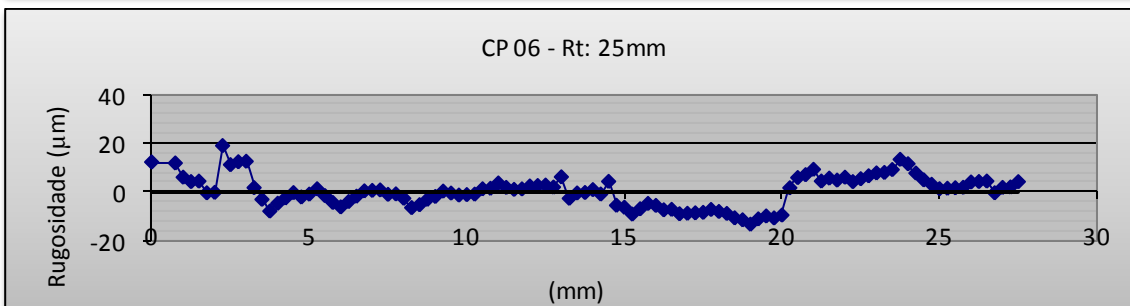
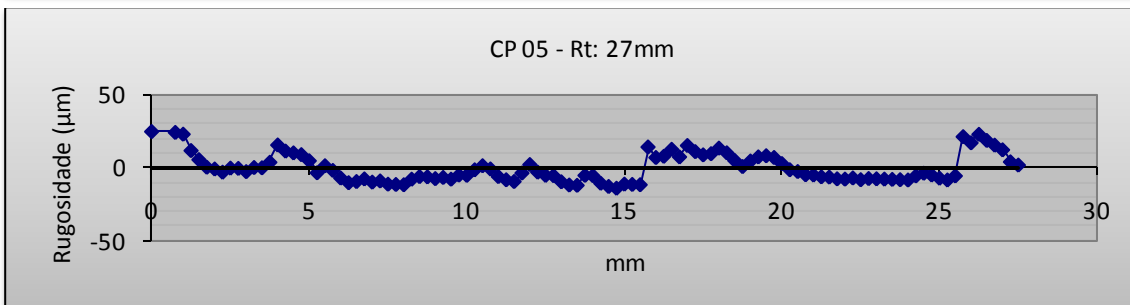
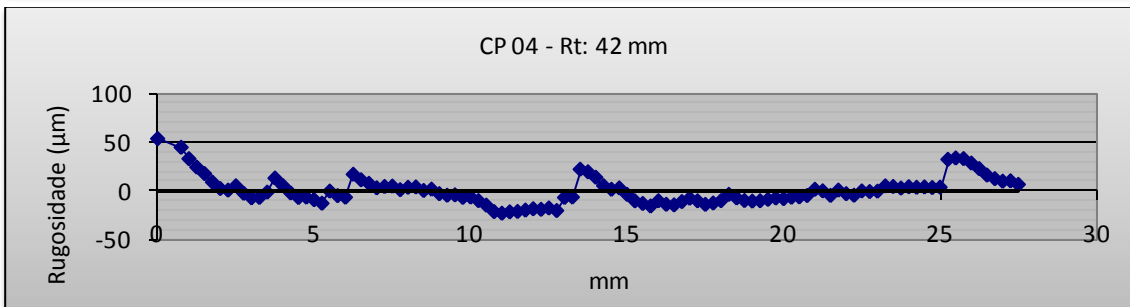
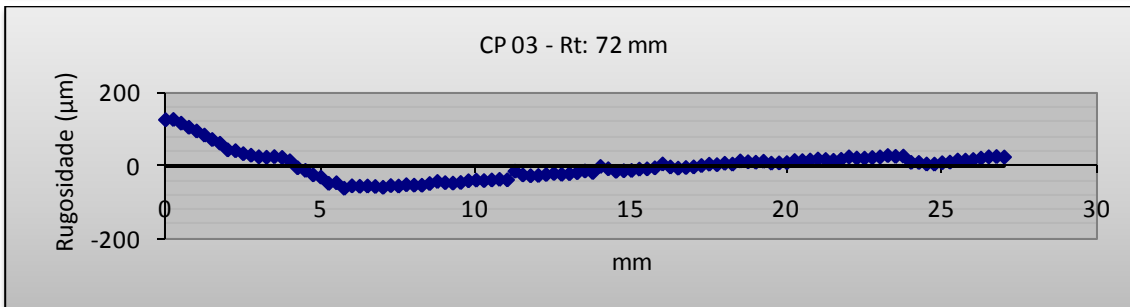
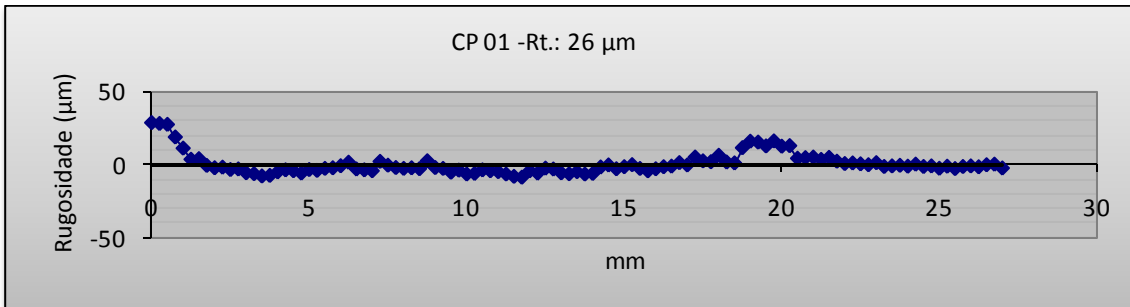
**Figura B.61-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *arenito* assentados com a argamassa resíduo.

▪ **PERFIS DE RUGOSIDADE DO MÁRMORE**

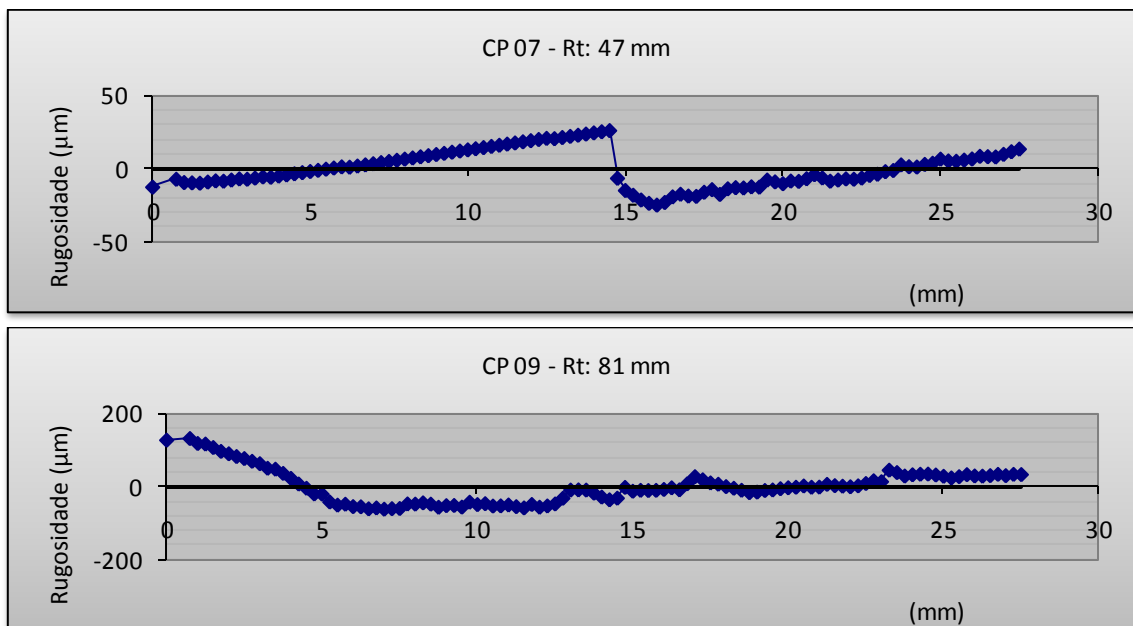
Apresenta-se a seguir os perfis de rugosidade dos corpos-de-prova do *mármore* assentados com a argamassa industrializada e resíduo.

↳ **PERFIS DE RUGOSIDADE DO MÁRMORE ASSENTADOS COM A ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA.**

Nas figuras B.73 e B.74 são apresentados os perfis de rugosidade dos corpos de prova do *mármore*, fixados com a argamassa industrializada.



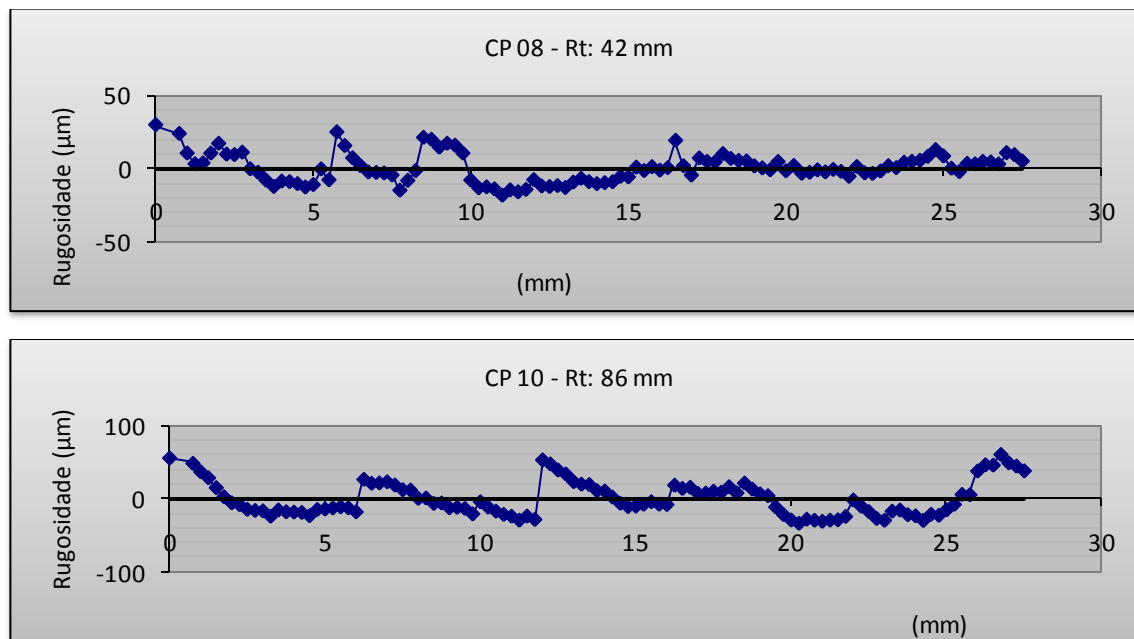
**Figura B.62-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *mármore* assentados com a argamassa industrializada.



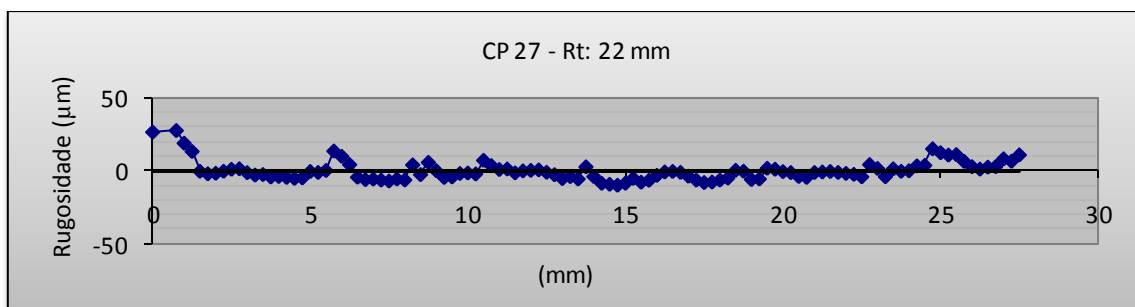
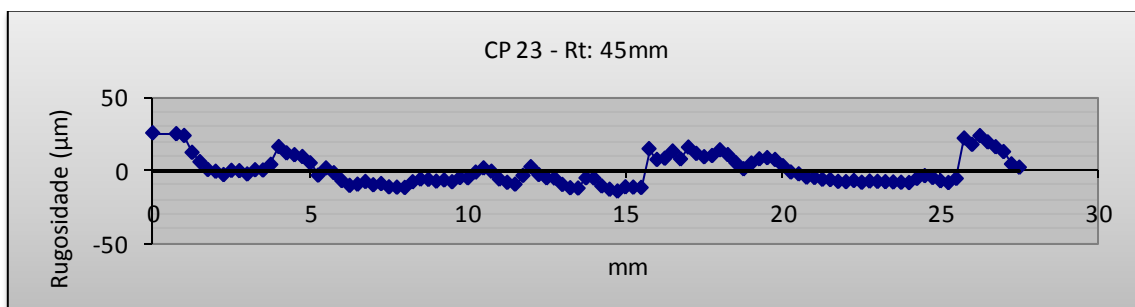
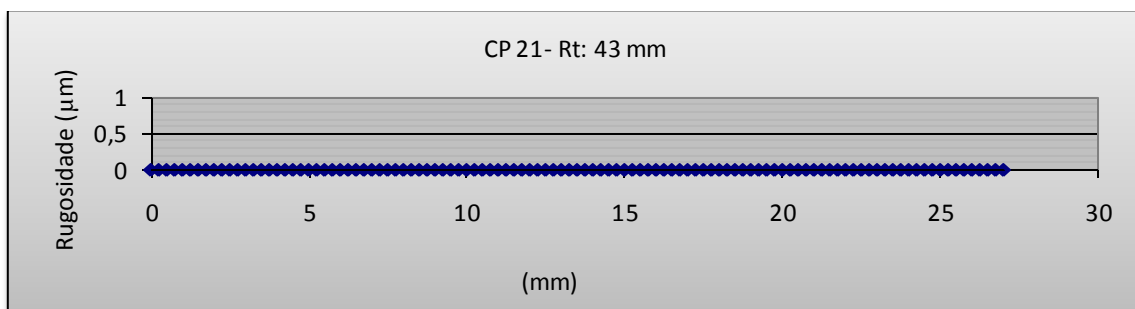
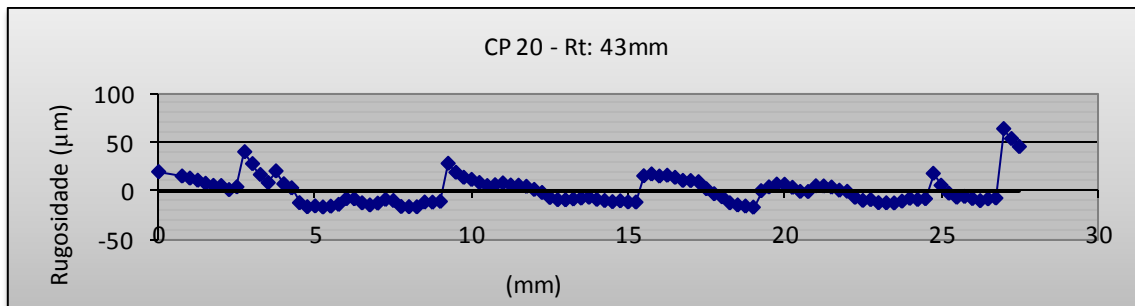
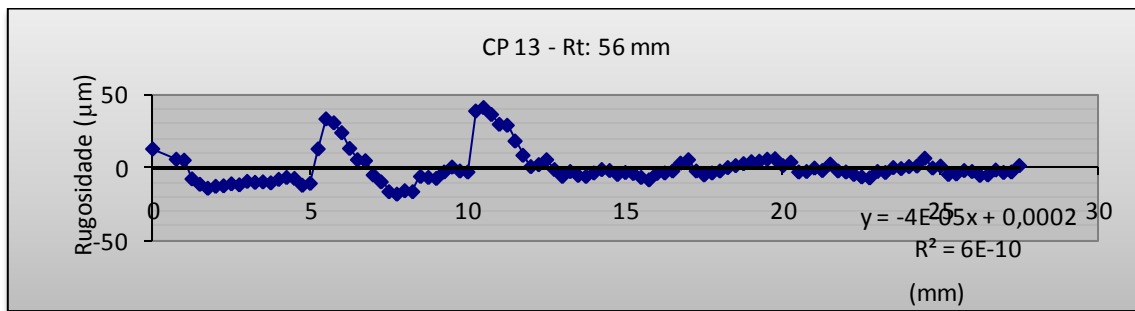
**Figura B.63-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *mármore* assentados com a argamassa industrializada.

➤ **PERFIS DE RUGOSIDADE DO MÁRMORE ASSENTADOS COM ARGAMASSA RESÍDUO**

Nas Figuras B.75 e B.76 são apresentados os perfis de rugosidade dos corpos de prova do *mármore*, fixados com a argamassa resíduo.



**Figura B.64-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *mármore* assentados com a argamassa resíduo.



**Figura B.65-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do *mármore* assentados com a argamassa resíduo.

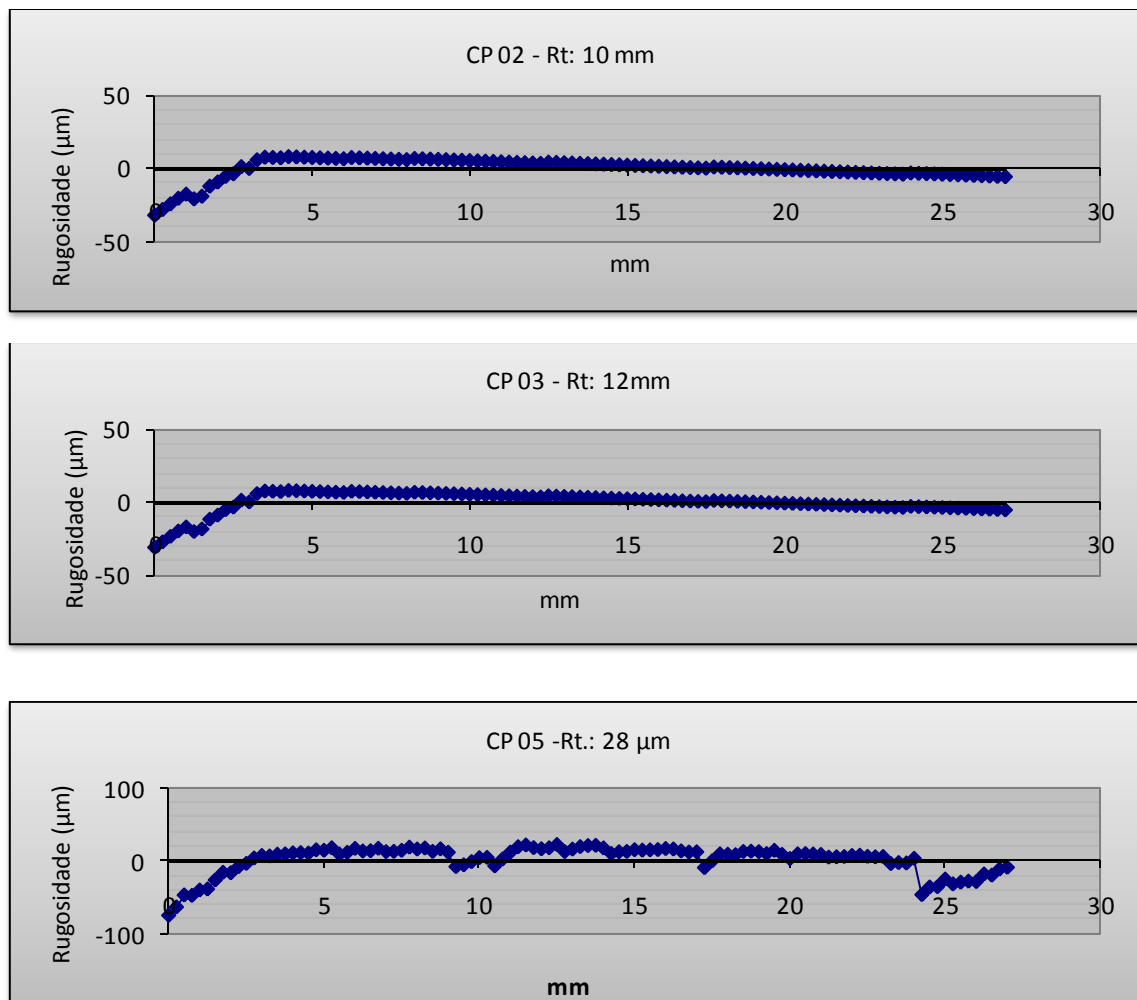


▪ **PERFIS DE RUGOSIDADE DO QUARTZITO**

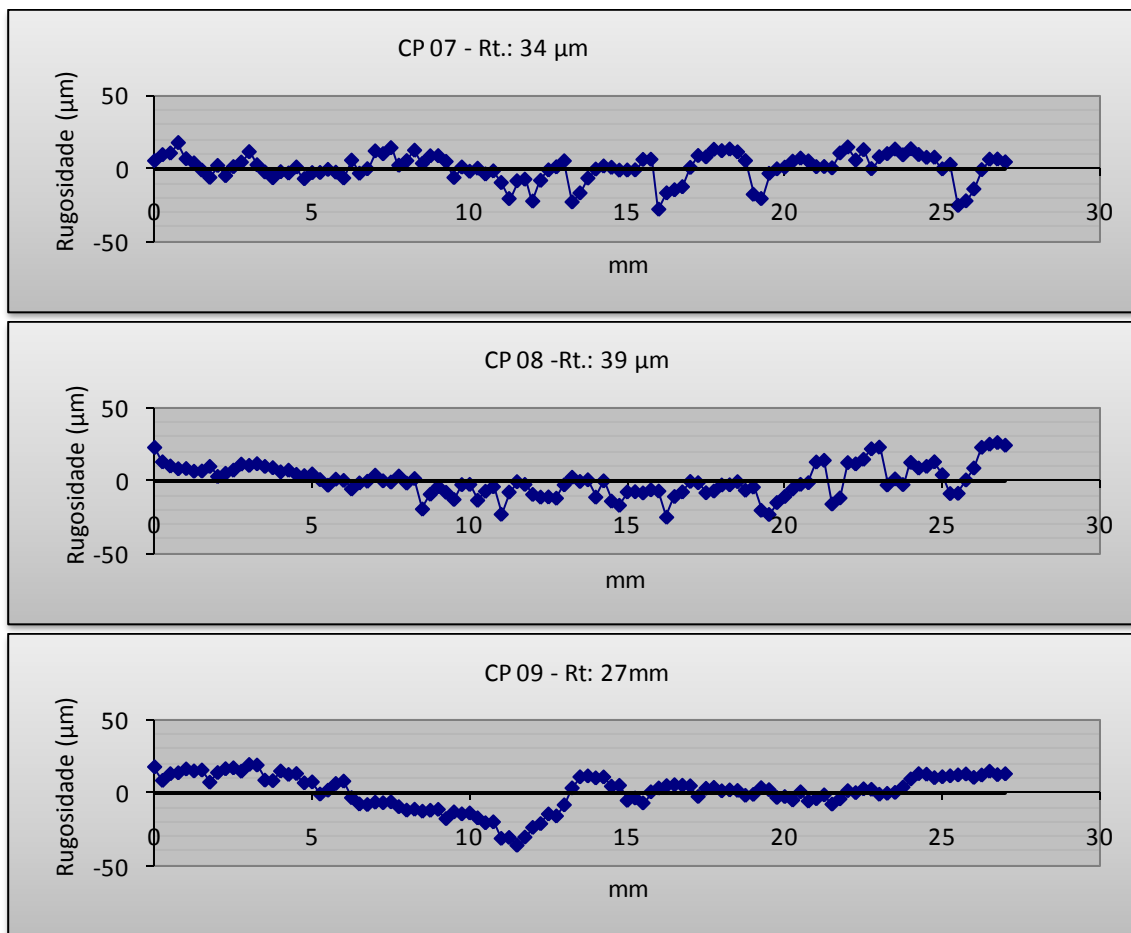
Apresenta-se a seguir os perfis de rugosidade dos corpos-de-prova do quartzito assentados com a argamassa industrializada e resíduo

↳ **PERFIS DE RUGOSIDADE DO QUARTZITO ASSENTADOS COM ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA**

Nas Figuras B.77 e B.78 são apresentados os perfis de rugosidade dos corpos de prova do quartzito, fixados com a argamassa industrializada.



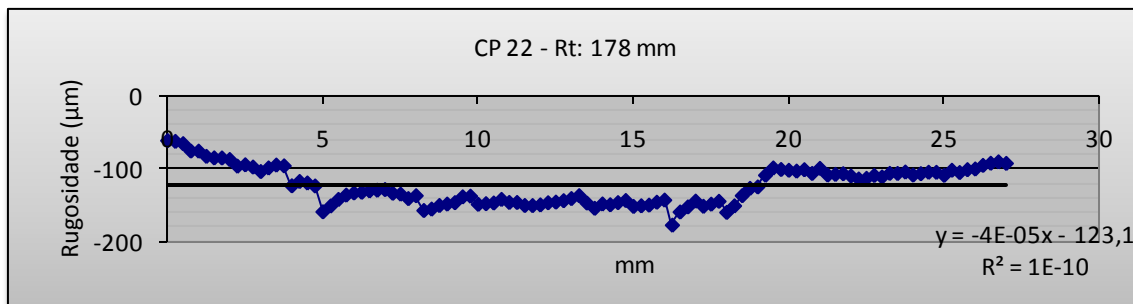
**Figura B.66-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa industrializada.



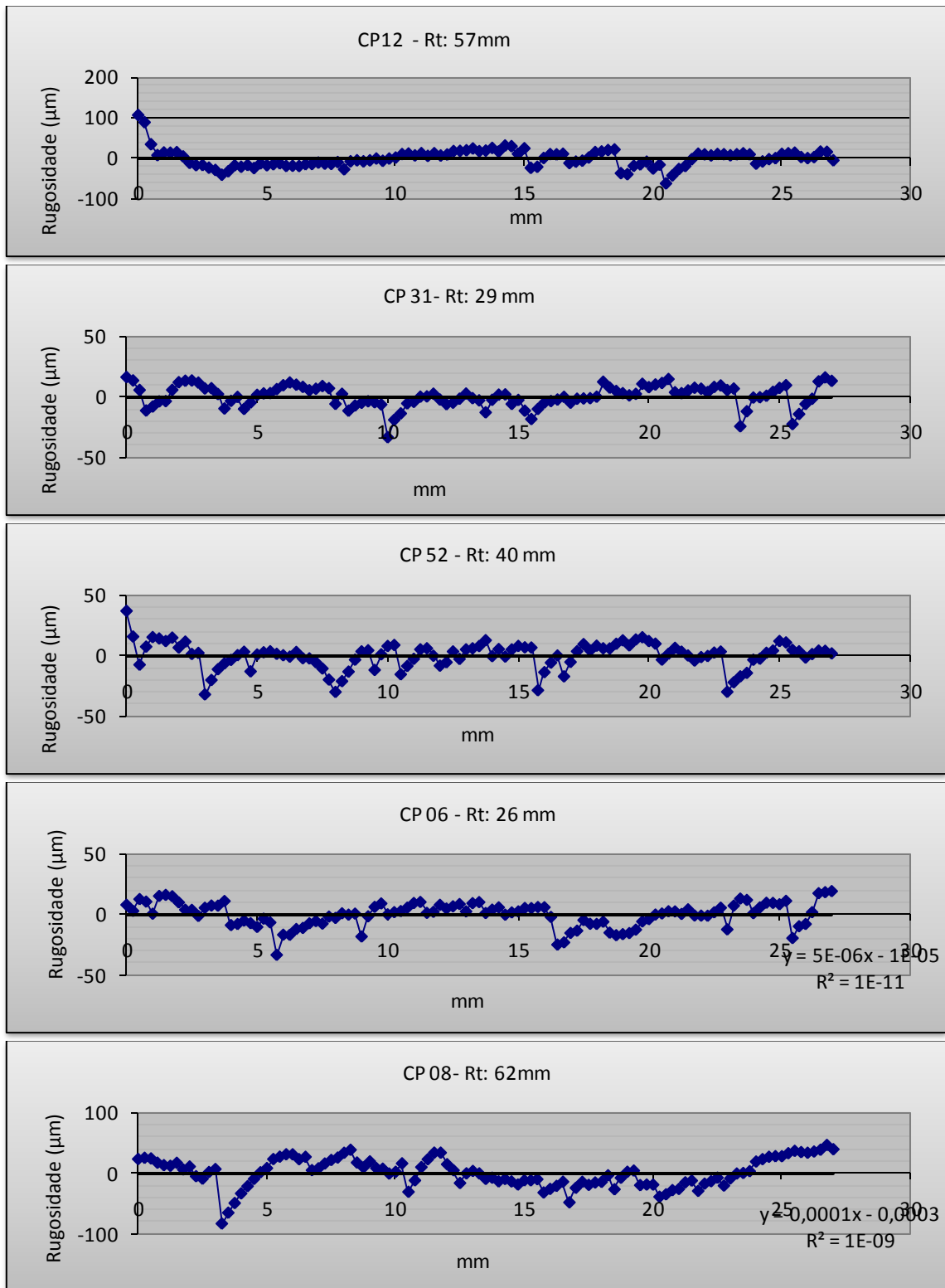
**Figura B.67-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa industrializada.

**➤ PERFIS DE RUGOSIDADE DO QUARTZITO ASSENTADOS COM ARGAMASSA RESÍDUO**

Nas Figuras B.79 e B.80 são apresentados os perfis de rugosidade dos corpos de prova do quartzito, fixados com a argamassa resíduo.



**Figura B.68-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa resíduo.



**Figura B.69-** Perfil de rugosidade. Corpos de prova do quartzito assentados com a argamassa resíduo.