



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



## **TESE DE DOUTORADO**

Revestimentos pétreos: estudo de desempenho  
frente às técnicas e condições de  
assentamento.

**AUTOR:** Luiz Antônio M. N. Branco

**ORIENTAÇÃO:** Prof. Dr. Antônio Gilberto Costa

**CO-ORIENTAÇÃO:** Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Nº 19

**BELO HORIZONTE**  
**DATA (07/05/2010)**

**Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco**

Revestimentos pétreos: estudo de desempenho  
frente às técnicas e condições de  
assentamento.

Tese de Doutorado

Área de Concentração: Geologia Econômica e Aplicada

Linha de Pesquisa: Rochas Ornamentais

**ORIENTAÇÃO:** Prof. Dr. Antônio Gilberto Costa

**CO-ORIENTAÇÃO:** Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Folha de aprovação

Este trabalho é humildemente dedicado a todos  
que semeiam e colhem nas searas do (des)conhecimento.

## **Agradecimentos**

A Deus, simplesmente Alfa e Ômega.

Ao Prof. Antônio Gilberto Costa, muito mais que orientador, verdadeiro companheiro de jornada

Ao Prof. Antônio Neves de Carvalho Júnior, incansável incentivador desta empreitada, pela constante cooperação.

Ao Colegiado, demais Professores e Secretaria do Programa de Pós-graduação em Geologia do IGC-UFMG, pelo irrestrito apoio a todos os pleitos deste autor.

Apresento meu reconhecimento aos Professores Adriano de Paula e Silva, Carlos Maurício Noce e Maria Lourdes Souza Fernandes, componentes da Banca de Qualificação, pelas proíficas discussões.

Ao Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa, vinculado ao IGC-UFMG, nas pessoas dos técnicos Élvio, Wenceslau e Fernando.

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica e Microanálises do consórcio Física, Geologia e Química, em particular ao Luis Garcia.

Agradeço penhoradamente aos Diretores e colegas Professores da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade Fumec pelo constante suporte.

A Marmoraria Ergramar pelo fornecimento das rochas.

A Imar, em particular a Eng<sup>a</sup> Tereza, pelas argamassas e materiais de consulta.

A Consultare, pelos inestimáveis préstimos.

Aos colegas Javier Becerra e Marcela Mourão pela saudável convivência.

Enfim agradeço a minha família pela imensurável paciência e apoio.

*“A natureza para ser comandada, precisa ser obedecida.”*

F. Bacon

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>26</b>
1.1. JUSTIFICATIVA .....	29
1.1.1. Falhas na aderência .....	31
1.1.2. Modificação de coloração.....	37
1.1.3. Manchas por umidade .....	40
1.1.4. Manchas por presença de minerais secundários .....	44
1.1.5. Interferências da argamassa .....	46
1.1.6. Resina de preenchimento.....	49
1.1.7. Fissuração .....	51
1.1.8. Deterioração .....	52
1.1.9. Falha nos selantes.....	55
1.1.10. Eflorescências.....	58
1.1.11. Reforços na ancoragem .....	62
1.1.12. Uso .....	66
1.1.13. Produtos de proteção superficial .....	67
1.1.14. Colônias biológicas.....	69
1.2. OBJETIVOS.....	72
1.3. ORGANIZAÇÃO .....	74
<b>CAPÍTULO 2 – AS ROCHAS E AS FACHADAS .....</b>	<b>76</b>
2.1. CLASSIFICAÇÃO GERAL DAS ROCHAS .....	76
2.2. TIPOS DE FACHADAS .....	78
2.2.1. Fachada Aerada .....	80
2.2.2. Fachada Aderente .....	83
2.2.2.1. Etapas do serviço de revestimento .....	84
2.2.2.2. Elementos auxiliares de fixação .....	90
2.3. REVESTIMENTO DE FACHADA ENTENDIDO COMO “SISTEMA” .....	92
2.3.1. O conceito de sistema aplicado ao conjunto rocha+argamassa.....	92
2.3.2. Alteração das rochas.....	93
2.3.3. Manutenção.....	102
<b>CAPÍTULO 3 – AS ARGAMASSAS.....</b>	<b>105</b>
3.1. ASPECTOS HISTÓRICOS .....	105
3.2. MATERIAIS CONSTITUINTES .....	109
3.2.1 Principais aglomerantes.....	110

3.2.2. Principais agregados.....	116
3.2.3. Aditivos e Adições .....	122
3.2.3.1. Principais aditivos.....	122
3.2.3.2. Principais adições.....	126
3.2.4. Principais características da água de amassamento .....	129
3.2.5. Identificação segundo a forma de preparo ou fornecimento da argamassa.....	130
3.2.5.1. Argamassa preparada na obra.....	130
3.2.5.2. Mistura semi-pronta para argamassa .....	131
3.2.5.3. Argamassa industrializada (ensacada).....	131
3.2.5.4. Argamassa dosada em central.....	132
3.2.6. Preparação da base de revestimento.....	133
3.2.7. Aplicação da argamassa de revestimento .....	136
3.2.8. Técnicas de assentamento das placas .....	139
3.2.9. Rejuntamento .....	141
<b>CAPÍTULO 4 – ESTUDO DA ADERÊNCIA .....</b>	<b>147</b>
4.1. Sistema de aderência mecânico.....	147
4.2. Sistema de aderência químico .....	155
<b>CAPÍTULO 5 – FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DAS ROCHAS E DAS ARGAMASSAS .....</b>	<b>157</b>
5.1. MICROSCOPIA PETROGRÁFICA .....	157
5.2. ÍNDICES FÍSICOS DAS ROCHAS.....	159
5.3. ANÁLISE COM MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV) .....	160
5.4. ANÁLISE UTILIZANDO-SE MICROANALISADOR EDS .....	164
5.5. ANÁLISE UTILIZANDO-SE DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX) .....	166
5.6. ANÁLISE UTILIZANDO-SE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX).....	168
<b>CAPÍTULO 6 – PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>173</b>
6.1. A ARGAMASSA TRADICIONAL .....	175
6.1.1. Cimento.....	175
6.1.2. Areia.....	175
6.2. ESTUDO DA ARGAMASSA COLANTE (AC) .....	176
6.2.1. Granulometria.....	178
6.2.2. Área Superficial Específica / B.E.T. multipontos.....	181
6.2.3. Difração de Raios X (DRX) .....	182
6.2.4. Fluorescência de Raios x (FRX) .....	183
6.3. EXECUÇÃO DOS PAINÉIS DE TESTE .....	184
6.4. SELEÇÃO E ANÁLISE DAS VARIEDADES LITOLÓGICAS.....	188
6.4.1. Caracterização petrográfica .....	189
6.4.2. Índices físicos.....	190



6.4.2.1. Massa Específica Aparente.....	190
6.4.2.2. Absorção.....	190
6.4.2.3. Porosidade.....	191
6.4.2.4. Outros ensaios.....	191
6.5. ENSAIOS DE ARRANCAMENTO.....	203
6.6. ANÁLISES COM MEV E EDS.....	227
6.6.1. Sistema Mármore Carrara e Argamassa Colante .....	229
6.6.2. Sistema Granito Cinza Andorinha e Argamassa Colante .....	235
6.6.3. Análise das interfaces .....	239
<b>CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>242</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>244</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>253</b>

## Lista de Figuras

FIGURA 1-TORRE DE BELÉM, EM LISBOA – PORTUGAL. ....	26
FIGURA 2-EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS ANDARES EM BELO HORIZONTE COM FACHADA REVESTIDA COM GRANITO VERDE. ....	27
FIGURA 3-DETALHE DE ESCULTURA DE MÁRMORE EM ESTAÇÃO DE METRÔ EM LISBOA, DEMONSTRANDO A FACILIDADE EM SE AFEIÇOAR O MÁRMORE. ....	27
FIGURA 4-DESTACAMENTO E POSTERIOR QUEDA DE PLACA DE MÁRMORE EM MOVIMENTADA RUA NO CENTRO DO RIO DE JANEIRO, EVIDENCIANDO RISCO POTENCIAL DE ACIDENTE. ....	29
FIGURA 5-APARECIMENTO DE MOFO E BOLOR DENTRO DE UMA EDIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DE INFILTRAÇÕES QUE OCORRERAM NA FACHADA. ....	31
FIGURA 6-FISSURAÇÃO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO PROVOCANDO DESCOLAMENTO. ....	32
FIGURA 7-ARGAMASSA COM PLASTICIDADE INADEQUADA, O QUE IMPEDE O TOTAL PREENCHIMENTO DO VERSO DA PLACA DE ROCHA. ....	33
FIGURA 8-APLICAÇÃO DEFICIENTE DE ARGAMASSA COLANTE. OBSERVAR OS VAZIOS ENTRE OS CORDÕES DE ARGAMASSA. ....	34
FIGURA 9-UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSA COLANTE BRANCA, APLICADA INADEQUADAMENTE. ....	35
FIGURA 10-DETALHE DA VISTA LATERAL DIREITA DA MESMA EDIFICAÇÃO, EVIDENCIANDO A FALHA DE APLICAÇÃO, O QUE PROPICIOU PEQUENA ÁREA EFETIVA DE CONTATO ENTRE A ARGAMASSA E A PLACA DE ROCHA. ....	35
FIGURA 11-DETALHE DA LATERAL ESQUERDA, MOSTRANDO O MESMO PROBLEMA. ....	36
FIGURA 12-DESTACAMENTO POR DILATAÇÃO TÉRMICA. ....	37
FIGURA 13-GRANITO COR VERDE ESCURO APRESENTANDO PERDA DE COLORAÇÃO NATURAL EM FUNÇÃO DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS DE LIMPEZA AGRESSIVOS, INSOLAÇÃO E OXIDAÇÃO. ....	38
FIGURA 14-DETALHE DA PERDA DE COR POR LIXIVIAÇÃO E/OU EFEITO DE UMIDADE ASCENDENTE NAS PLACAS. AS PEÇAS APLICADAS NA PRIMEIRA FIADA HORIZONTAL APRESENTAM COLORAÇÃO DIFERENTE EM RELAÇÃO ÀS VERTICAIS E ÀS SUPERIORES. ....	39
FIGURA 15-MODIFICAÇÃO GENERALIZADA DE COR. ALGUMAS DIFERENÇAS JÁ VÊM DA PEDREIRA E SÃO REALÇADAS COM A APLICAÇÃO. ....	39
FIGURA 16-GRANITO AMARELO EM ACELERADO PROCESSO DE ALTERAÇÃO COM PERDA DE COR. ....	40
FIGURA 17-REVESTIMENTO MANCHADO POR UMIDADE ADJACENTE. ....	41
FIGURA 18-ASCENSÃO CAPILAR POR INSUFICIENTE IMPERMEABILIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO. ....	42
FIGURA 19-APARECIMENTO DE MANCHAS PROVOCADAS PELA ÁGUA DA CHUVA. ....	42
FIGURA 20-VISTA DO MESMO LOCAL MOSTRADO NA FIGURA ANTERIOR, APÓS SECAGEM. ....	43
FIGURA 21-MATERIAL COM ALTA ABSORÇÃO DE ÁGUA OCASIONANDO MANCHAMENTOS IRREVERSÍVEIS NAS PLACAS DE ROCHAS. ....	43
FIGURA 22-MANCHA DEVIDO À LIBERAÇÃO DE ÓXIDOS E HIDRÓXIDOS DE FERRO. ....	44
FIGURA 23-MANCHA DE FERRUGEM CAUSADA PELA DECOMPOSIÇÃO DE MINERAIS FERRÍFEROS. ....	45
FIGURA 24-MANCHAMENTO GENERALIZADO POR OXIDAÇÃO DE FERRO CONTIDO NA COMPOSIÇÃO DAS ROCHAS DE REVESTIMENTO. ....	45

FIGURA 25-LIBERAÇÃO DE FERRUGEM POR SUPORTE E INFILTRAÇÃO POR MEIO DE SOLUÇÕES. ....	46
FIGURA 26-CONTAMINAÇÃO GENERALIZADA DA ROCHA DEVIDO À PRESENÇA DE ÓXIDO DE FERRO NO CIMENTO PRESENTE NA ARGAMASSA.....	47
FIGURA 27-MANCHAS DEVIDO POSSIVELMENTE AO EXCESSO DE ÁGUA DE AMASSAMENTO.....	47
FIGURA 28-FALHAS NO REJUNTAMENTO PERMITINDO INFILTRAÇÃO DE ÁGUA E CONSEQÜENTE MANCHAMENTO DA ROCHA. .	48
FIGURA 29-UTILIZAÇÃO DE REJUNTAMENTO INADEQUADO (APENAS CIMENTÍCIO), CONDUZINDO À RÁPIDA DETERIORAÇÃO..	49
FIGURA 30-CAVIDADE SURGIDA PELA PERDA DA RESINA DE ESTUCAMENTO. ....	50
FIGURA 31-PREENCHIMENTO DE TRINCA COM MATERIAL INADEQUADO. ....	50
FIGURA 32-FISSURA EM PLACA DE MÁRMORE. ....	51
FIGURA 33-FISSURAS GENERALIZADAS EM REVESTIMENTO DE MÁRMORE E ALGUMAS CALAFETAÇÕES COM MATERIAL NÃO ADEQUADO. ....	52
FIGURA 34-REVESTIMENTO COM VÁRIOS COMPROMETIMENTOS .....	53
FIGURA 35-REVESTIMENTO DEGRADADO E COM PRESENÇA DE MANCHAS NEGRAS EM FUNÇÃO DA ANCORAGEM DE FULIGEM PRESENTE NA ATMOSFERA.....	54
FIGURA 36-DETALHE DA DETERIORAÇÃO DE FACHADA SALIENTANDO ALGUMAS FENDAS. ....	54
FIGURA 37-FACHADA COM COMPROMETIMENTO DE SUA ESTABILIDADE. AS PEÇAS IDENTIFICADAS COM FITA ADESIVA ESTÃO EM IMINENTE RISCO DE QUEDA. ....	55
FIGURA 38-MANCHAMENTO DAS PLACAS POR USO DE SELANTE INADEQUADO.....	56
FIGURA 39-RUPTURA DO SELANTE, QUE PROPICIARÁ ACESSO E PERCOLAÇÃO DA ÁGUA.....	56
FIGURA 40-ALÉM DO USO DE MATERIAL INADEQUADO (APENAS CIMENTÍCIO) PARA REJUNTAMENTO, HOUVE ESPALHAMENTO NA SUPERFÍCIE DAS PLACAS. ....	57
FIGURA 41-DETALHE DE FISSURAÇÕES TRANSVERSAIS E DESCOLAMENTO LONGITUDINAL DO REJUNTAMENTO, POR SE TRATAR DE MATERIAL INADEQUADO.....	57
FIGURA 42-FORMAÇÃO DE EFLORESCÊNCIA EM GRANITO VERMELHO.....	59
FIGURA 43-DESENVOLVIMENTO DE EFLORESCÊNCIAS EM GABRO. ....	59
FIGURA 44-EFLORESCÊNCIA EM REVESTIMENTO DE GRANITO E TAMBÉM GOTEJAMENTO.....	60
FIGURA 45-EFLORESCÊNCIAS GENERALIZADAS.....	61
FIGURA 46-OCORRÊNCIA DE EFLORESCÊNCIAS ENTRE AS PLACAS E TAMBÉM NOS ELEMENTOS DE REFORÇO DE ANCORAGEM. 62	
FIGURA 47-FACHADA FRONTAL COM MANCHAMENTOS PELO USO DE ARAME NO TARDOZ.....	63
FIGURA 48-DETALHE DE DESCOLAMENTO DE PLACAS DE REVESTIMENTO NA FACHADA LATERAL E TAMBÉM DA INADEQUADA PLASTICIDADE DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO. ....	63
FIGURA 49-UTILIZAÇÃO DE PARAFUSO SEXTAVADO SEM ADEQUADA VEDAÇÃO, PROPICIANDO FORMAÇÃO DE EFLORESCÊNCIAS. ....	64
FIGURA 50-UTILIZAÇÃO DE PARAFUSO TIPO “CASTELO” INTERFERINDO NA ESTÉTICA DA FACHADA DE MÁRMORE BRANCO. ....	65
FIGURA 51-USO DE PARAFUSO DE ROSCA SOBERBA, COM ESCORRIMENTO DE OXIDAÇÃO. ....	65
FIGURA 52-PLACAS DE GABRO MANCHADAS PELA COLMATAÇÃO DA CABEÇA DOS PARAFUSOS. ....	66
FIGURA 53-ENCARDIMENTO DE MÁRMORE BRANCO OCORRIDO PELA POLUIÇÃO AMBIENTAL. ....	67

FIGURA 54-DUAS PARTES DE UMA MESMA FACHADA: (A) ÁREA SEM PRODUTO DE TRATAMENTO SUPERFICIAL; (B) REGIÃO ONDE FOI APLICADO HIDRO-ÓLEO REPELENTE.....	68
FIGURA 55-INCOMPATIBILIDADE ENTRE PRODUTO DE PROTEÇÃO SUPERFICIAL E A ROCHA, PROVOCANDO MANCHAMENTO... 68	68
FIGURA 56-FORMAÇÃO DE COLÔNIAS EM PLACAS DE ROCHAS. ....	69
FIGURA 57-DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS EM NICHOS DO REJUNTAMENTO. ....	70
FIGURA 58-USO DA MESMA ROCHA EM CONDIÇÕES DE ASSENTAMENTO DIFERENCIADAS NÃO APRESENTA O MESMO DESEMPENHO.....	71
FIGURA 59-EXEMPLO DE UMA FACHADA CORRETAMENTE ESPECIFICADA E EXECUTADA, DESTACANDO SEU BRILHO. ....	72
FIGURA 60-O PARTIDO DA PAGINAÇÃO QUE PERMITE ELEGANTES E AGRADÁVEIS JOGOS COM A GEOMETRIA EXIBIDA NAS PLACAS DE ROCHA. NESTE CASO, AMOSTRA DE MÁRMORE CARRARA QUE APRESENTA SIMETRIA ESPECULAR A PARTIR DO CORTE DA PLACA. ....	77
FIGURA 61-TRIÁDE VITRUVIANA .....	78
FIGURA 62-ELEMENTOS COMPONENTES DE UM SISTEMA AERADO.....	80
FIGURA 63-DETALHE DO <i>INSERT</i> METÁLICO FIXADO AO SUBSTRATO E APOIANDO AS PLACAS DE ROCHA. ....	81
FIGURA 64-ASPECTO FINAL DE UMA FACHADA AERADA. ....	82
FIGURA 65-ANÁLISE DE UMA PLACA DE ROCHA ATRAVÉS DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS MOSTRANDO AS CONCENTRAÇÕES DE TENSÕES. A COR VERMELHA INDICA A MAIOR CONCENTRAÇÃO QUE OCORRE EXATAMENTE NO FURO QUE DÁ SUSTENTAÇÃO À PLACA. ....	82
FIGURA 66-COMPONENTES DE UMA FACHADA ADERENTE, DESDE O SUBSTRATO ATÉ A PLACA. ....	83
FIGURA 67-OS QUATRO TIPOS DE JUNTAS DE UMA FACHADA. ....	84
FIGURA 68-JUNTA DE MOVIMENTAÇÃO. ....	85
FIGURA 69-JUNTAS DE DESSOLIDARIZAÇÃO.....	85
FIGURA 70-CAMADAS QUE COMPÕEM O REVESTIMENTO ARGAMASSADO:.....	87
FIGURA 71-PLACA DE VIDRO COLOCADA SOBRE CAMADA DE ARGAMASSA COLANTE PARA EVIDENCIAR DIFERENTES ÁREAS COLADAS. A REGIÃO COM FALHAS APRESENTA SULCOS QUE IMPEDEM O CONTATO PERFEITO ENTRE ARGAMASSA E PLACA. OBSERVAR CONTRASTE COM A REGIÃO BEM ASSENTADA ONDE NÃO SE OBSERVAM OS VAZIOS. ....	89
FIGURA 72-COMPROMETIMENTO ESTÉTICO DE FACHADA PELA FURAÇÃO NÃO ALINHADA, PARAFUSOS DIFERENTES E OXIDADOS ALÉM DE MANCHAMENTOS POSSIVELMENTE ORIUNDOS DE PENETRAÇÃO DE ÁGUA PELOS SEUS FUROS. ....	90
FIGURA 73-DETALHE DO AUXILIAR GFIX .....	91
FIGURA 74-PROBLEMAS COM A UTILIZAÇÃO DE GRAMPO DE ARAME: (A) MANCHAMENTO DAS PLACAS POR OXIDAÇÃO DOS ARAMES; (B) DESTACAMENTO DE PLACAS POR FALHAS NA COLAGEM DO ARAME À PLACA DE ROCHA; (C) VISTA DO TARDOZ DA PLACA MOSTRANDO O ARAME.....	100
FIGURA 75-DIAGRAMA DA VIDA ÚTIL DE UMA EDIFICAÇÃO. ....	102
FIGURA 76-MANUTENÇÃO EM FACHADA DE MÁRMORE BRANCO. ....	104
FIGURA 77-EXEMPLO DE CONSTRUÇÃO UTILIZANDO A TÉCNICA DE PAU A PIQUE EM.....	106
FIGURA 78-ALVENARIA CONFECCIONADA COM ARGAMASSA DE BARRO PARA ALVENARIA EM UMA CONSTRUÇÃO EM ITATIAIA-MG. ....	107
FIGURA 79-SILOS DE FORNECIMENTO DE ARGAMASSA NO ESTADO ANIDRO. ....	132

FIGURA 80-TELAMENTO DE ENCONTRO ALVENARIA DE PLATIBANDA COM ESTRUTURA.....	135
FIGURA 81-TELAMENTO DE QUINAS DE JANELA.....	135
FIGURA 82-APLICAÇÃO DE CAMADA DE ARGAMASSA COLANTE.....	140
FIGURA 83-DETALHE DO USO DE ESPAÇADORES PLÁSTICOS ENTRE AS PLACAS.....	141
FIGURA 84-CONDIÇÕES DE REJUNTAMENTO.....	144
FIGURA 85-APLICAÇÃO DO REJUNTAMENTO.....	145
FIGURA 86-APLICAÇÃO DE SELANTE COM USO DE BISNAGA.....	146
FIGURA 87-PROCESSOS DE DESENVOLVIMENTO DE ADERÊNCIA MECÂNICA.....	153
FIGURA 88-MICROSCÓPIO PETROGRÁFICO UTILIZADO PARA ANALISAR LÂMINAS DELGADAS.....	158
FIGURA 89-LÂMINA DELGADA PREPARADA PARA ANÁLISE AO MICROSCÓPIO PETROGRÁFICO.....	159
FIGURA 90-PROCESSOS DE INTERAÇÃO POSSÍVEIS.....	161
FIGURA 91-EQUIPAMENTO DESK II.....	163
FIGURA 92-MEV JEOL 5410 COM EDS ACOPLADO.....	164
FIGURA 93-PRINCIPAIS CONSTITUINTES DO EDS.....	165
FIGURA 94-DIFRAÇÃO DE RAIOS-X POR UM CRISTAL.....	167
FIGURA 95-EQUIPAMENTO PHILLIPS PW-3710.....	168
FIGURA 96-UM ELÉTRON NO ORBITAL K É LANÇADO PARA FORA DO ÁTOMO PELA AÇÃO EXTERNA DE UMA EXCITAÇÃO DE RAIOS-X PRIMÁRIOS CRIANDO UMA VACÂNCIA.....	170
FIGURA 97-UM ELÉTRON DO ORBITAL L OU M “SALTA” PARA PREENCHER A VACÂNCIA. NESTE PROCESSO SÃO EMITIDOS RAIOS-X CARACTERÍSTICOS ORIGINAIS PARA ESTE ELEMENTO, QUE POR SUA VEZ PRODUZ A VACÂNCIA NO ORBITAL L OU M.....	171
FIGURA 98-QUANDO A VACÂNCIA É CRIADA NO ORBITAL L, SEJA PELA EXCITAÇÃO PRIMÁRIA DOS RAIOS-X, SEJA PELO EVENTO PRECEDENTE, UM ELÉTRON DO ORBITAL M OU N “SALTA” PARA OCUPAR A VACÂNCIA. NESTE PROCESSO SÃO EMITIDOS RAIOS-X CARACTERÍSTICOS ORIGINAIS PARA ESTE ELEMENTO, QUE POR SUA VEZ PRODUZ A VACÂNCIA NO ORBITAL M OU N.....	171
FIGURA 99-ELÉTRON AUGER: OCORRE QUANDO A ENERGIA DE EXCITAÇÃO DE UM ÁTOMO INTERNO É TRANSFERIDA PARA UM DOS ELÉTRONS EXTERIORES FAZENDO COM QUE ESTE ELÉTRON SEJA EMITIDO PARA FORA DO ÁTOMO.....	172
FIGURA 100-ESPECTRO TÍPICO DA ANÁLISE PELA FRX DE UMA AMOSTRA DE AREIA.....	172
FIGURA 101-VISTA GERAL DOS PAINÉIS.....	174
FIGURA 102-PESAGEM DA AMOSTRA NO ESTADO ANIDRO.....	178
FIGURA 103-PENEIRAMENTO E SEPARAÇÃO DE PARTÍCULAS VIA ÚMIDA.....	179
FIGURA 104-FASES APÓS A SEPARAÇÃO POR PENEIRA.....	180
FIGURA 105-AMOSTRA POSICIONADA PARA ANÁLISE POR DRX.....	182
FIGURA 106-COLOCAÇÃO DA AMOSTRA NO ESPECTRÔMETRO.....	184
FIGURA 107-EXECUÇÃO DAS CINTAS DE CONCRETO PARA SUPORTE AOS PAINÉIS DE ALVENARIA.....	185
FIGURA 108-EXECUÇÃO DOS PAINÉIS DE TESTE.....	185
FIGURA 109-ARGAMASSADEIRA UTILIZADA NO PREPARO DA ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA.....	186
FIGURA 110-PENEIRAMENTO DA AREIA PARA ARGAMASSA TRADICIONAL.....	187

FIGURA 111-DESEMPENAMENTO DO EMBOÇO. ....	187
FIGURA 112-VISTA DOS PAINÉIS.....	188
FIGURA 113-IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ROCHAS USADAS NOS PAINÉIS DE TESTE. ....	189
FIGURA 114-PLACA DE AÇO COLADA AO CORPO-DE-PROVA DE ROCHA.....	204
FIGURA 115-EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE ARRANCAMENTO. ....	204
FIGURA 116-PRIMEIRA ETAPA DE ARRANCAMENTOS: CORPOS-DE-PROVA DE ROCHA ARRANCADOS COM IDADE DE 28 DIAS. .....	205
FIGURA 117-DEMONSTRAÇÃO DO CORTE A SECO DE UMA FATIA TRANSVERSAL DO CORPO-DE-PROVA DE ROCHA + ARGAMASSA.....	227
FIGURA 118-A SEÇÃO TRANSVERSAL DA FIGURA ANTERIOR.....	228
FIGURA 119-CORPO-DE-PROVA PREPARADO A PARTIR DA AMOSTRA EXTRAÍDA DO PAINEL. ....	228
FIGURA 120-FOTOMICROGRAFIA DA REGIÃO DA INTERFACE MÁRMORE CARRARA+ARGAMASSA COLANTE. (AUMENTO 400X). .....	229
FIGURA 121-ESPECTRO DA ROCHA – MÁRMORE CARRARA. ....	230
FIGURA 122-ESPECTRO AINDA NA ROCHA, A 5 MICROMETROS DA REGIÃO DA INTERFACE. ....	231
FIGURA 123-SENTIDO DA VARREDURA COM A MICROSONDA EDS. ....	231
FIGURA 124-VARREDURA PERPENDICULAR À INTERFACE MÁRMORE CARRARA+ARGAMASSA COLANTE. A INDICAÇÃO DE 0,010MM CORRESPONDE À POSSÍVEL REGIÃO DA INTERFACE. ....	232
FIGURA 125-MICROFOTOGRAFIA MÁRMORE CARRARA. (AUMENTO 100X). ....	233
FIGURA 126- INTERFACE MÁRMORE CARRARA+ARGAMASSA COLANTE. OBSERVAR QUE A INTERFACE PERMANECE ADERIDA. (AUMENTO 75X). ....	234
FIGURA 127- INTERFACE MÁRMORE CARRARA+ARGAMASSA COLANTE. MESMA IMAGEM ANTERIOR, PORÉM EM MAIOR AUMENTO. (AUMENTO 200X).....	234
FIGURA 128- INTERFACE MÁRMORE CARRARA+ARGAMASSA COLANTE. (AUMENTO 5000X). ....	235
FIGURA 129- FOTOMICROGRAFIA DA REGIÃO DA INTERFACE GRANITO CINZA ANDORINHA+ARGAMASSA. (AUMENTO 400X). .....	235
FIGURA 130- ESPECTRO DA ROCHA – GRANITO.....	236
FIGURA 131- ESPECTRO AINDA NA ROCHA, A 5 MICROMETROS DA REGIÃO DA INTERFACE.....	236
FIGURA 132- VARREDURA PERPENDICULAR À INTERFACE GRANITO CINZA ANDORINHA+ARGAMASSA COLANTE. A POSIÇÃO RELATIVA DE 0,010MM CORRESPONDE APROXIMADAMENTE À POSIÇÃO DA INTERFACE.....	237
FIGURA 133-ANÁLISE EDS NO GRANITO.....	238
FIGURA 134-MICROFOTOGRAFIA DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO. ....	240
FIGURA 135-INTERFACE GRANITO CINZA ANDORINHA+ARGAMASSA TRADICIONAL, MOSTRANDO FALHA NA CONTINUIDADE DA INTERFACE. ....	241
FIGURA 136- INTERFACE GRANITO CINZA ANDORINHA+ARGAMASSA COLANTE. ....	241

## Lista de Tabelas

TABELA 1-PRINCIPAIS COMPOSTOS DO CLÍNQUER .....	112
TABELA 2-TIPOS DE CIMENTO PORTLAND EM FUNÇÃO DA COMPOSIÇÃO.....	113
TABELA 3-EXIGÊNCIAS FÍSICAS E MECÂNICAS PARA O CIMENTO PORTLAND .....	114
TABELA 4-EXIGÊNCIAS QUÍMICAS PARA O CIMENTO PORTLAND.....	115
TABELA 5-COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA .....	118
TABELA 6-CLASSIFICAÇÃO PELA GRANULOMETRIA .....	118
TABELA 7-INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DA AREIA .....	119
TABELA 8-TIPOS DE ADIÇÕES .....	127
TABELA 9-CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS INDUSTRIALIZADAS.....	131
TABELA 10-RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DO CHAPISCO .....	136
TABELA 11-ESPESSURAS ADMISSÍVEIS DOS REVESTIMENTOS INTERNOS E EXTERNOS .....	137
TABELA 12-LIMITES DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	138
TABELA 13-RECOMENDAÇÕES DAS ARGAMASSAS COLANTES .....	177
TABELA 14-MATERIAL RETIDO .....	180
TABELA 15-CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DAS AMOSTRAS ANALISADAS.....	201
TABELA 16-ESPECIFICAÇÕES PARA ALGUMAS ROCHAS.....	202
TABELA 17-RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ARRANCAMENTO .....	207
TABELA 18-MÉDIAS DOS RESULTADOS DE ARRANCAMENTO .....	208
TABELA 19-INDICADORES ESTATÍSTICOS POR VARIEDADE DE ROCHA.....	208

## Lista de Fichas Petrográficas

Ficha 1 .....	193
Ficha 2 .....	194
Ficha 3 .....	195
Ficha 4 .....	196
Ficha 5 .....	197
Ficha 6 .....	198
Ficha 7 .....	199
Ficha 8 .....	200



## ANEXOS

Anexo 1 - Distribuição granulométrica a laser .....	254
Anexo 2 - Resultados granulometria a laser.....	255
Anexo 3 - Resultados ASE / BET .....	256
Anexo 4 - Resultados Difração de Raios x .....	257
Anexo 5 - Índices Físicos dos corpos-de-prova de rocha.....	258
Anexo 6 - EDS interface Mármore Carrara+Argamassa .....	262
Anexo 7 - EDS Argamassa.....	263

**LISTA DE NOTAÇÕES:**

## ALFABETO LATINO

- . a: absorção de água
- . C: comprimento
- .  $C_1$ : constante dependente diretamente da tensão superficial e da densidade da água e inversamente proporcional à sua viscosidade dinâmica
- . d: distância interplanar em difração de raios-X
- . D: desvio em relação ao esquadro
- . D: diâmetro do CP
- . e: espessura
- . E: módulo de elasticidade
- . f: flecha
- . F: frequência de ressonância
- . g: aceleração da gravidade
- . H: altura
- . H: altura da parede
- . H: altura do CP
- . h: dimensão do corpo-de-prova
- . L: comprimento do CP
- . L: largura
- . N: número de poros capilares na superfície analisada
- . P: carga de ruptura do CP
- . R: raio médio do conjunto de poros capilares
- . T: temperatura
- . t: tempo

## ALFABETO GREGO

- .  $\frac{\Delta l}{l}$ : retração
- .  $\gamma_{arg}$ : massa específica da argamassa
- .  $\gamma_i$ : densidade de massa de cada componente da argamassa
- .  $\gamma_s$ : densidade da argamassa anidra
- .  $\epsilon$ : expansão (se +) ou retração (se -) por secagem
- .  $\lambda$ : lambda
- .  $v$ : velocidade de propagação do som
- .  $\rho$ : massa específica
- .  $\Sigma$ : somatório
- .  $\theta$ : teta

## ABREVIATURAS

- . ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland
- . ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
- . ACR: acrílico
- . ASTM: American Society for Testing and Materials
- . BS: British Standards
- . CH-I: cal hidratada tipo um
- . CH-II: cal hidratada tipo dois
- . CH-III: cal hidratada tipo três
- . CP: corpo-de-prova
- . CP I: cimento Portland comum
- . CP I – S: cimento Portland com adição

- . CP II: cimento Portland composto
- . CP II – E: cimento Portland com escória
- . CP II-E-32: cimento Portland com escória e classe de resistência de 32 MPa
- . CP II – Z: cimento Portland com pozolana
- . CP II – F: cimento Portland com filler
- . CP III: cimento Portland de Alto-Forno
- . CP IV: cimento Portland Pozolânico
- . CP V: cimento Portland de Alta Resistência Inicial
- . CP V ARI–RS: cimento Portland de alta resistência inicial e resistente a sulfatos
- . CPMTC: Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa
- . CSH: silicato de cálcio hidratado
- . CSTB: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
- . CSTC: Centre Scientifique et Technique de la Construction
- . DIN: Deutsches Institut für Normung
- . Dm ou DMK: dimensão máxima característica
- . DRX: difração de raios-X
- .  $E_d$ : módulo de elasticidade dinâmico
- . EDS: energy dispersive spectrometer (espectrômetro dispersivo em energia)
- . EDX: energy-dispersive X-ray spectroscopy (detector de energia dispersiva)
- . EE-UFMG: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais
- . FRX: x-ray fluorescence (espectrometria de fluorescência de raios-X)
- . HOR: hidro-óleo-repelente
- . IGC-UFMG: Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais
- . IMAR: Indústria Mineira de Argamassa
- . INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
- . IRA: initial rate of absorption – ensaio de absorção inicial
- . LNEC: Laboratório Nacional de Engenharia Civil

- . M: massa da argamassa industrializada ou soma das massas dos componentes anidros no caso da argamassa de obra
- .  $ME_{sat}$ : massa específica do CP saturado
- .  $ME_{seca}$ : massa específica do CP seco em estufa
- . MO: microscopia ótica
- . MET: microscopia eletrônica de transmissão
- . MEV: microscópio eletrônico de varredura (ou microscopia eletrônica de varredura)
- . MF: módulo de finura
- . NBR: Norma Brasileira Registrada
- . PVA: acetato de polivinila
- . PVC: cloreto de polivinila
- . relação a/c: relação água/cimento
- . relação h/d: relação altura/diâmetro
- . RILEM: Réunion International des Laboratoires d'Essais et Materiaux
- . SBR: estireno-butadieno
- . EDXRF: energy dispersive X-ray fluorescence

## UNIDADES

- . Å: angstrom
- .  $cm^2$ : centímetro quadrado
- .  $cm^3$ : centímetro cúbico
- .  $dm^3$ : decímetro cúbico
- . eV: elétron-volt
- . g: grama
- .  $g/cm^2$ : grama por centímetro quadrado

- . g/dm<sup>3</sup>: grama por decímetro cúbico
- . keV: quiloelétron-Volt
- . kgf/cm<sup>2</sup>: quilograma força por centímetro quadrado
- . kg/m<sup>3</sup>: quilograma por metro cúbico
- . km/h: quilômetro por hora
- . m: metro
- . m<sup>2</sup>: metro quadrado
- . m/s: metro por segundo
- . m/s<sup>2</sup>: metro por segundo ao quadrado
- . m<sup>3</sup>/s: metro cúbico por segundo
- . mg/L: miligrama por litro
- . mm: milímetro
- . mm/m: milímetro por metro
- . mm/s: milímetro por segundo
- . MPa: megapascal
- . N: Newton
- . N/m: Newton por metro
- . nm: nanometro
- . N/mm<sup>2</sup>: Newton por milímetro quadrado
- . N/m<sup>3</sup>: Newton por metro cúbico
- . N/s: Newton por segundo
- . Pa: Pascal
- . psi: pound square inch (libra por polegada quadrada)
- . torr: unidade de vácuo
- . μm: micrometro
- . #: mesh (malha de peneira)

## SÍMBOLOS E COMPOSTOS QUÍMICOS

- .  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : alumina
- .  $\text{AlO}_4^-$ : íon aluminato
- .  $\text{Ca}^{2+}$ : íon cálcio
- .  $\text{CaCO}_3$ : carbonato de cálcio (calcita)
- .  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ : carbonato de cálcio e magnésio (dolomita)
- .  $\text{CaO}$ : óxido de cálcio
- .  $\text{CaO}$  (ou C): cal livre
- .  $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$  (ou  $\text{C}_2\text{S}$ ): silicato dicálcico
- .  $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$  (ou  $\text{C}_3\text{S}$ ): silicato tricálcico
- .  $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$  (ou  $\text{C}_3\text{A}$ ): aluminato tricálcico
- .  $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{CaSO}_4.32\text{H}_2\text{O}$ : trissulfo-aluminato de cálcio hidratado (ou etringita)
- .  $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$  (ou  $\text{C}_4\text{AF}$ ): ferro-aluminato tetracálcico
- .  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ : hidróxido de cálcio (portlandita)
- .  $\text{CO}_2$ : gás carbônico
- . CSH: silicato de cálcio hidratado
- .  $\text{FeO}$ : óxido de ferro
- .  $\text{H}_2\text{O}$ : água
- .  $\text{K}_2\text{O}$ : óxido de potássio
- .  $\text{MgO}$ : óxido de magnésio
- .  $\text{SiO}_2$ : sílica
- .  $\text{SO}_3$ : anidrido sulfúrico
- .  $\text{SO}_4^{2-}$ : íon sulfato
- .  $\text{TiO}_2$ : óxido de titânio

## RESUMO

Este trabalho analisa algumas rochas para revestimento e o desempenho da fachada em função das condições de assentamento através de medidas de aderência do revestimento por ensaios de resistência de aderência à tração. Foram utilizadas quatro argamassas (sendo uma tradicional e três colantes) para assentamentos e realizados ensaios de arrancamento nos períodos de 28 dias, 6 meses e 1 ano. Utilizou-se a técnica de microscopia eletrônica de varredura associada à espectrografia por dispersão de energia para analisar a microestrutura da zona de interface da rocha e substrato. Os resultados do programa experimental evidenciaram que, quando se utiliza qualquer das argamassas colantes, há aumentos de resistência de aderência do revestimento comparados com a tradicional nas idades de 28 dias, 6 meses e 1 ano.

Palavras chave: rochas ornamentais, fachadas, aderência, argamassas, caracterização tecnológica.



## ABSTRACT

This work examines some dimension rocks and the performance of the facade according to the setting conditions by measures of adherence of the coating by testing tensile bond strength. Four mortars were used (one traditional and three adhesives) for setting and pull out tests conducted during periods of 28 days, 6 months and 1 year. It was used the technique of scanning electron microscopy associated with dispersive spectroscopy energy to analyze the microstructure of the interface area of the rock and substrate. The experimental results showed that when using any adhesive mortars, it increases the tensile bond strength compared to the traditional in ages of 28 days, 6 months and 1 year.

**Key words:** dimension stones; facades; adhesion, mortar, technological characterization.

# CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

---

Desde tempos imemoriais, as rochas possuem amplo espectro de utilização e não é por acaso que existe a denominada “Idade da Pedra”, dado à sua versatilidade e importância na história da humanidade. Além das edificações, foram utilizadas na produção de ferramentas e artefatos. Nas construções, resistem ao tempo e são marcos das diversas civilizações, como por exemplo, os calcários da Torre de Belém, magnífica obra em estilo manuelino, finalizada em 1520, localizada no estuário do Rio Tejo, em Lisboa e mostrada na Figura 1 e que hoje é Patrimônio da Humanidade.



**Figura 1-Torre de Belém, em Lisboa – Portugal.**

Com o passar do tempo, novas utilizações, para além de elementos de estruturas, foram desenvolvidas e as rochas passaram a ser utilizadas na forma granulada com uso indispensável nas argamassas (e posteriormente nos concretos), enrocamentos, lastro de ferrovias, dentre outras.

No campo das aplicações, o que mais se desenvolveu foi o dos acabamentos das edificações. Nesses casos, a rocha é considerada como um material nobre capaz de transmitir a idéia de solidez do empreendimento. Quando aplicadas nos projetos arquitetônicos, podem receber as seguintes denominações:

- *rochas para revestimento*, quando aplicadas em revestimentos horizontais (pisos) e verticais (paredes ou fachadas), por exemplo, a Figura 2;



**Figura 2-Edifício de múltiplos andares em Belo Horizonte com fachada revestida com granito verde.**

- *rochas ornamentais*, quando utilizadas como elementos decorativos, na arte escultória, dentre outros, exemplificados na Figura 3.



**Figura 3-Detalhe de escultura de mármore em estação de metrô em Lisboa, demonstrando a facilidade em se afeioar o mármore.**

Para Perez & Sánchez (2001) embora a utilização de rochas ornamentais na construção civil seja uma tradição milenar, no Brasil esta atividade teve um crescimento significativo somente nos últimos trinta anos. Entretanto, para Frascá (2007), comercialmente confunde-se esta separação, sendo que a denominação Rochas Ornamentais engloba todas as variações litológicas utilizadas com as finalidades supracitadas.

Não obstante a durabilidade dos revestimentos pétreos, muito se tem falado sobre *patologias das rochas*, numa alusão à terminologia própria das áreas biológicas, como sendo defeitos visíveis e/ou invisíveis que podem acometer o empreendimento, ou seja, quando uma parte, em algum momento de sua vida útil, deixa de apresentar o desempenho previsto. No caso específico das fachadas, convém lembrar que as solicitações são várias (tais como: esforços estáticos e/ou mecânicos e os processos de alteração da rocha em si), o que exige muita atenção na escolha dos materiais bem como corretas especificações de suas características.

Genericamente as patologias nos revestimentos podem ter origem na fase de projeto - quando são escolhidos e/ou especificados materiais incompatíveis com as condições de uso, ou quando os projetistas desconsideram as interações do revestimento com outras partes do edifício (esquadrias, por exemplo), ou na fase de execução, quando os assentadores não dominam a tecnologia de execução, ou quando os responsáveis pela obra não controlam corretamente o processo de produção. Cabe destacar que os materiais em si também podem ser fonte de patologias, ou por especificação inadequada como também por sua utilização sem os devidos ensaios de recebimento para verificação das propriedades exigidas em projeto.

Assim, apesar das reconhecidas vantagens, os revestimentos com rochas podem apresentar muitas vezes anomalias, quer ao nível estético (anulando algumas das vantagens que lhes estão associadas), quer ao nível funcional (não apresentando o desempenho esperado). As anomalias mais graves são as que afetam a segurança no uso, incidindo sobre os sistemas de fixação usados e sobre as próprias placas de pedra, sendo que os destacamentos de placas representam um sério risco de acidente envolvendo pessoas e também patrimônio, pois assentadas em plano vertical, têm a força da gravidade trabalhando contrariamente à estabilidade, ou seja, após a perda da

aderência (e se não houver um elemento auxiliar mecânico de reforço), a queda torna-se inevitável, conforme pode ser visto na Figura 4.



**Figura 4-Destacamento e posterior queda de placa de mármore em movimentada rua no centro do Rio de Janeiro, evidenciando risco potencial de acidente.**

Fonte: Jornal "O Globo" de 03/09/2008

## 1.1. Justificativa

Dado que se verifica um considerável número de patologias envolvendo revestimentos pétreos utilizados na construção civil, que podem comprometer a utilização das edificações, torna-se importante conhecer e analisar as especificações e técnicas de execução do sistema de revestimento, pois muitas destas manifestações patológicas ocorrem em função de falhas, como, por exemplo, na aderência. Sobre este ponto, cabe esclarecer que não são muitos os estudos específicos sobre o comportamento do sistema rocha e argamassa, sendo esta a **justificativa** deste estudo.

De um modo geral, as patologias não têm sua origem em fatores isolados, mas sofrem influência de um conjunto de variáveis, que podem ser classificadas de acordo com o processo patológico, com os sintomas, com a causa que gerou o problema ou ainda a

etapa do processo produtivo em que ocorrem. Quando se fala em alterações nas rochas e patologias dos revestimentos, podem transcorrer anos, décadas, ou muito mais, para haver alguma manifestação nas fachadas, tornando-se impraticável reproduzir em laboratório estas condições nesta escala de tempo<sup>1</sup>. À guisa de ampliar o horizonte de observação, foram prospectadas algumas edificações nas quais algum tipo de manifestação patológica já tenha ocorrido, acompanhado de um levantamento de suas possíveis causas. Este estudo tenciona mostrar que apesar da resistência de aderência poder ser atendida no prazo de 28 dias, modificações nas rochas com o passar do tempo podem ocorrer e afetar as fachadas nos quesitos segurança, estética e funcionalidade (não necessariamente nesta ordem), reforçando a justificativa deste trabalho.

Quando da ocorrência de patologias, percebe-se que os revestimentos das fachadas em muitas ocasiões não são devidamente planejados, quer pela elaboração de um projeto específico, com o detalhamento das interferências, propriedades dos materiais, normalizações pertinentes, juntas de dilatação, tolerâncias e controles, metodologia de execução, conciliação com outros elementos integrantes da fachada, bem como da execução deficiente e sem atender e respeitar as características reológicas dos materiais componentes da edificação e dos elementos constituintes da fachada. Aliado a isto, observam-se falhas devido ao controle deficiente, na seleção e recebimento de materiais, na preparação da argamassa de assentamento, na execução dos serviços de assentamento e acabamento final (CARVALHO JR et al., 1999). Como resultado final, obtém-se um revestimento de desempenho insatisfatório, que leva a crer não ter condições de atender à elevada durabilidade e impermeabilidade, que é inerente a este tipo de revestimento, por isso, a compatibilidade de todos os elementos do sistema é fator preponderante desta durabilidade.

Para ilustrar como uma falha na fachada afeta uma edificação, na Figura 5 tem-se a ocorrência de algum tipo de infiltração de água pelo lado externo (por exemplo, em função de alta absorção de água por parte da rocha escolhida para o revestimento) e suas conseqüências no lado interno.

---

<sup>1</sup> Existem os chamados ensaios de envelhecimento acelerado, mas são utilizados para simular a ação do tempo sobre a rocha propriamente dita, não sendo possível uma análise no conjunto de uma fachada.



**Figura 5-Aparecimento de mofo e bolor dentro de uma edificação em função de infiltrações que ocorreram na fachada.**

Apresentam-se, a seguir, as principais patologias que acometem as fachadas e reiterando que a correta utilização das rochas e demais materiais componentes do sistema de revestimento requer o conhecimento prévio de suas características.

### *1.1.1. Falhas na aderência*

Quando a aderência não é suficiente para suportar as solicitações impostas às placas da fachada, diz-se que houve ruptura do sistema de ancoragem do revestimento. São várias as possíveis causas: técnica de aplicação, temperatura, dilatação, argamassas inadequadas, dentre outras.

O assentamento das placas de rocha (de elevado peso e baixa porosidade) solicita o material de assentamento (argamassa de cimento e areia ou argamassas colantes) com altas exigências de desempenho, pois submete o elemento de aderência a altos esforços cortantes e cargas de arrancamento. Por outro lado, as argamassas de cimento utilizadas no assentamento do revestimento têm sua resistência intimamente ligada ao teor de aglomerante, que por ser necessariamente rico para as condições impostas pelo peso do revestimento, provoca tensões de retração elevadas, cujo alívio é restringido pela

aderência ao substrato e às placas de revestimento. Pela baixa deformabilidade das argamassas ricas, as tensões tendem a provocar sua fissuração e/ou seu desprendimento do substrato ou da placa de rocha (vide Figura 6).



**Figura 6-Fissuração da argamassa de assentamento provocando descolamento.**

Aqui está se falando no módulo de elasticidade da argamassa no estado endurecido que é a relação de proporcionalidade entre os esforços axiais (compressão ou tração) solicitantes sobre a argamassa no estado endurecido e as deformações por eles causadas.

Não se pode esquecer do módulo de elasticidade transversal (G) da argamassa no estado endurecido, que é a relação de proporcionalidade entre os esforços transversais (torção ou cisalhamento) solicitantes sobre a argamassa no estado endurecido e que está relacionado com o módulo de elasticidade (E) pela relação:

$$G = \frac{E}{2(1 + m)}$$



onde  $m$  é o coeficiente de Poisson que expressa a relação entre a deformação transversal e a correspondente deformação axial resultante de um esforço axial uniformemente distribuído e abaixo do limite de proporcionalidade do material. O valor do coeficiente de Poisson aproxima-se de 0,2 para materiais cimentícios. Assim, as argamassas muito ricas, de elevado módulo de elasticidade, deformam-se menos e as tensões de tração permanecem elevadas e são da ordem de 9 a 12 vezes mais elevadas que aquelas de traço mais fraco e portanto mais elásticas. Na medida em que a argamassa de assentamento seca, retrai-se, irão aparecendo tensões crescentes nelas e nas camadas subjacentes. Tais tensões, de tração na argamassa, farão com que ela sofra deformações de sentido contrário ao da retração durante a secagem, bem maiores do que quando endurecida, uma vez que o módulo de elasticidade é inferior ao valor final.

Outra situação muito comum é a utilização de argamassa com plasticidade inadequada ao assentamento como mostrado na Figura 7.



**Figura 7-Argamassa com plasticidade inadequada, o que impede o total preenchimento do verso da placa de rocha.**

Neste caso, as falhas (ou vazios) têm, obviamente, resistência nula, o que ajuda a diminuir a chamada extensão da aderência, que é definida como a área de efetivo contato entre uma camada de argamassa no estado endurecido e a base sobre e sob a

qual ela foi aplicada, normalmente expressa na forma de um percentual de efetivo contato em relação à área potencial de contato.

Para incrementar a plasticidade das argamassas, ou seja, sua capacidade de resistir à deformação e sua facilidade de moldagem, a indústria introduz em suas formulações os aditivos plastificantes. Mas a incorreta aplicação das argamassas industrializadas podem também diminuir a extensão da aderência conforme mostrado na Figura 8.



**Figura 8- Aplicação deficiente de argamassa colante. Observar os vazios entre os cordões de argamassa.**

Problema semelhante, e até mesmo irônico, pois a argamassa utilizada é branca, normalmente mais cara que a comum que é cinza, é mostrado nas Figura 9 a 11 . Como não foi aplicada corretamente, contribuiu para o destacamento das placas. É importante esclarecer que neste caso a falha pode ser creditada à mão-de-obra que não aplicou a argamassa como se deve, ou seja, distribuir uma camada uniforme com a parte lisa da desempenadeira de aço e, posteriormente, frisar com o lado denteado.



**Figura 9-Utilização de argamassa colante branca, aplicada inadequadamente.**



**Figura 10-Detalhe da vista lateral direita da mesma edificação, evidenciando a falha de aplicação, o que propiciou pequena área efetiva de contato entre a argamassa e a placa de rocha.**



**Figura 11-Detalhe da lateral esquerda, mostrando o mesmo problema.**

Os destacamentos por variações térmicas ocorrem porque os materiais estão sujeitos a variações térmicas diárias e sazonais, que provocam sua variação dimensional. Estes movimentos de dilatação e contração são restringidos pelos diversos vínculos que envolvem os materiais, gerando tensões que podem provocar descolamentos, trincas ou fissuras.

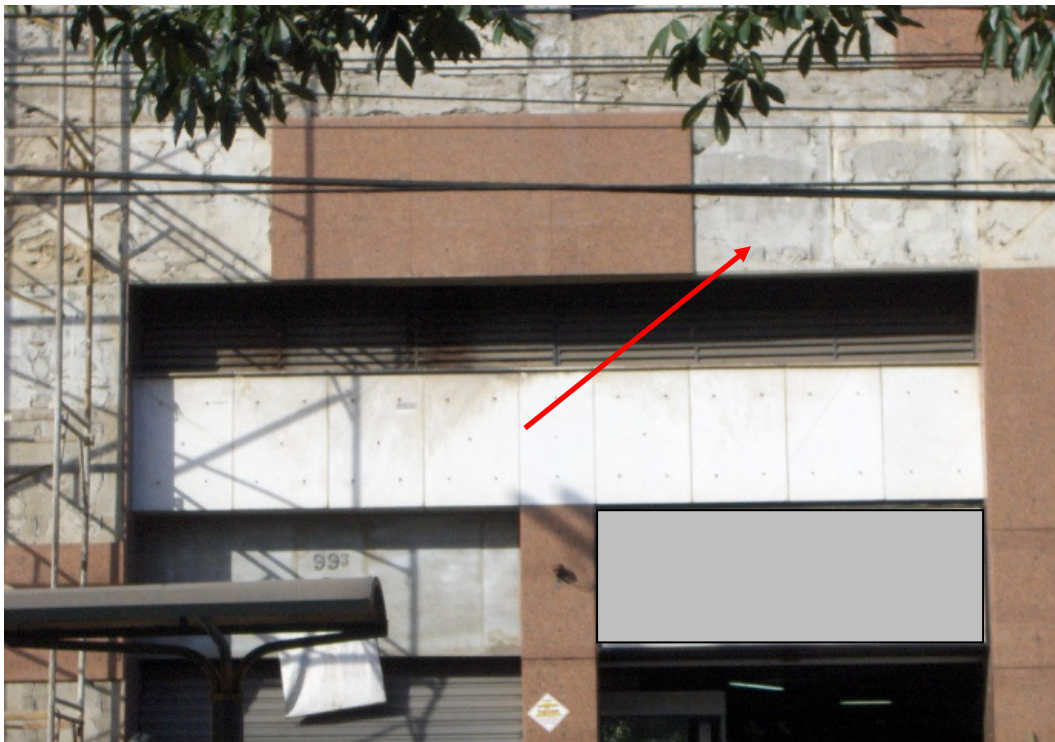
A dilatação térmica pode ser determinada pela equação:

$$\Delta l = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

onde:  $\Delta l$  é o incremento dimensional,  $\alpha$  é o coeficiente de dilatação do material,  $L_0$  é o comprimento inicial da peça em estudo e  $\Delta T$  é o gradiente térmico.

As movimentações térmicas de um material estão relacionadas com as suas propriedades físicas (lembrando que os materiais quanto mais escuros, mais absorvem calor) e com a intensidade das variações da temperatura (em países tropicais, é possível amplitudes térmicas elevadas em função das chuvas de verão).

Considerando que a restrição imposta ao revestimento pelas juntas inadequadas ou ineficientes é elevada e está relacionada à variação térmica, as deformações térmicas em função da amplitude de temperatura das placas de revestimento podem ocasionar destacamentos como o mostrado na Figura 12.



**Figura 12-Destacamento por dilatação térmica.**

### *1.1.2. Modificação de coloração*

São várias as razões que podem explicar modificações na coloração original de placas de rochas:

- a) Desgaste e/ou lixiviação de minerais pela ação das intempéries (chuva ácida, rajadas de vento com partículas de areia em suspensão, etc.) e, principalmente, por agentes de limpeza agressivos (ácido muriático) como mostrado nas Figura 13 a 15.
- b) Deposição de sujeira na superfície que pode produzir aspecto encardido.
- c) Amarelecimento em função de aplicação de produtos impermeabilizantes.



**Figura 13-Granito cor verde escuro apresentando perda de coloração natural em função de aplicação de produtos de limpeza agressivos, insolação e oxidação.**



**Figura 14-Detalhe da perda de cor por lixiviação e/ou efeito de umidade ascendente nas placas. As peças aplicadas na primeira fiada horizontal apresentam coloração diferente em relação às verticais e às superiores.**



**Figura 15-Modificação generalizada de cor. Algumas diferenças já vêm da pedra e são realçadas com a aplicação.**

Sabe-se que não existe espontaneamente na natureza rocha amarela *per si*, porquanto esta coloração é indicativa de alto grau de alteração. Então os revestimentos com estes materiais devem receber redobrada atenção pois em contato com as intempéries terão este processo mais acelerado, como visto na Figura 16.



**Figura 16-Granito amarelo em acelerado processo de alteração com perda de cor.**

### *1.1.3. Manchas por umidade*

A água transitando pela rocha, tanto pela superfície quanto pelos canais internos, pode provocar manchas e, com o passar do tempo, alterações dos minerais constituintes da rocha. A alteração da umidade no substrato de argamassa de assentamento, que é porosa, acarreta variações dimensionais. Este efeito é conhecido como dilatação higroscópica. O aumento da umidade da argamassa de assentamento provoca expansão; inversamente, a diminuição da umidade provoca a contração do material. Havendo vínculos que restringem a movimentação, aliado à intensidade da movimentação e do módulo de deformação do material, são desenvolvidas tensões que podem, além do comprometimento estético, provocar o descolamento do revestimento ou a ocorrência de fissuras, de forma semelhante às provocadas pela variação térmica.



As variações do teor de umidade provocam movimentações de dois tipos:

- Irreversíveis: ocorrem geralmente logo após a confecção das placas e são originadas devido à perda ou ganho de umidade até que o material atinja a umidade higroscópica de equilíbrio.
- Reversíveis: ocorrem por variação de umidade do material ao longo do tempo, limitado a certo período em que a placa estiver entre os limites seco ou saturado.

Esta umidade relaciona-se com:

- a) Presença de água adjacente à construção, como muros de arrimo (vide Figura 17) e elementos de fundação com impermeabilização ineficiente (vide Figura 18).
- b) Presença de um caminho preferencial para água de chuva, promovendo manchas temporárias, mas que comprometem a estética (vide Figura 19 e Figura 20).
- c) Características tecnológicas da rocha incompatíveis com o uso. Por exemplo: elevada porosidade e permeabilidade, presença de minerais impróprios, etc. (vide Figura 21).



**Figura 17-Revestimento manchado por umidade adjacente.**



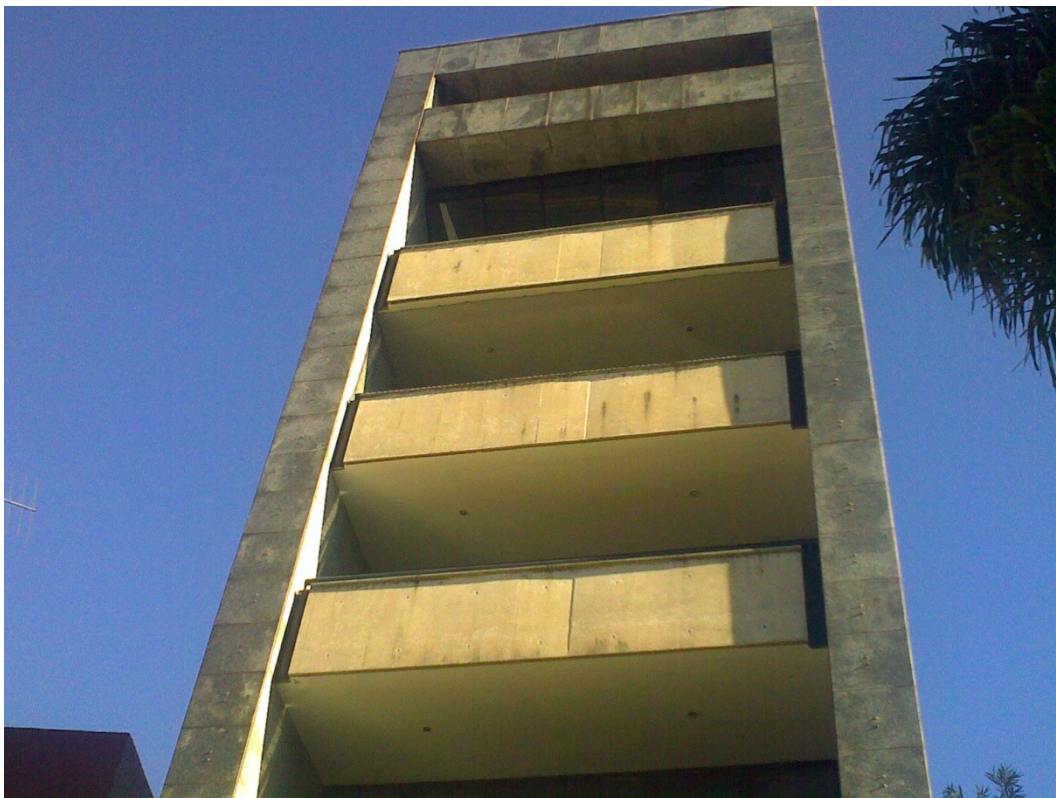
**Figura 18-Ascensão capilar por insuficiente impermeabilização da fundação.**



**Figura 19-Aparecimento de manchas provocadas pela água da chuva.**



**Figura 20-Vista do mesmo local mostrado na figura anterior, após secagem.**



**Figura 21-Material com alta absorção de água ocasionando manchamentos irreversíveis nas placas de rochas.**

#### *1.1.4. Manchas por presença de minerais secundários*

As rochas são compostas por diferentes minerais, com diferentes resistências ao intemperismo e demais agentes agressivos. Há presença de minerais que quando alterados perdem características originais podendo comprometer a estética do revestimento. Por decomposição, o mineral transforma-se em outro e pode haver a liberação de certos elementos químicos.

Entre os minerais mais susceptíveis à alteração, podem ser citados: sulfetos de ferro amarelos (por exemplo, a pirita) presente em vários granitos e que vão se transformando em avermelhados, cor de ferrugem, vistos nas Figura 22 e também na Figura 23; granadas ferríferas e magnetitas que também liberam ferrugem como na Figura 24.

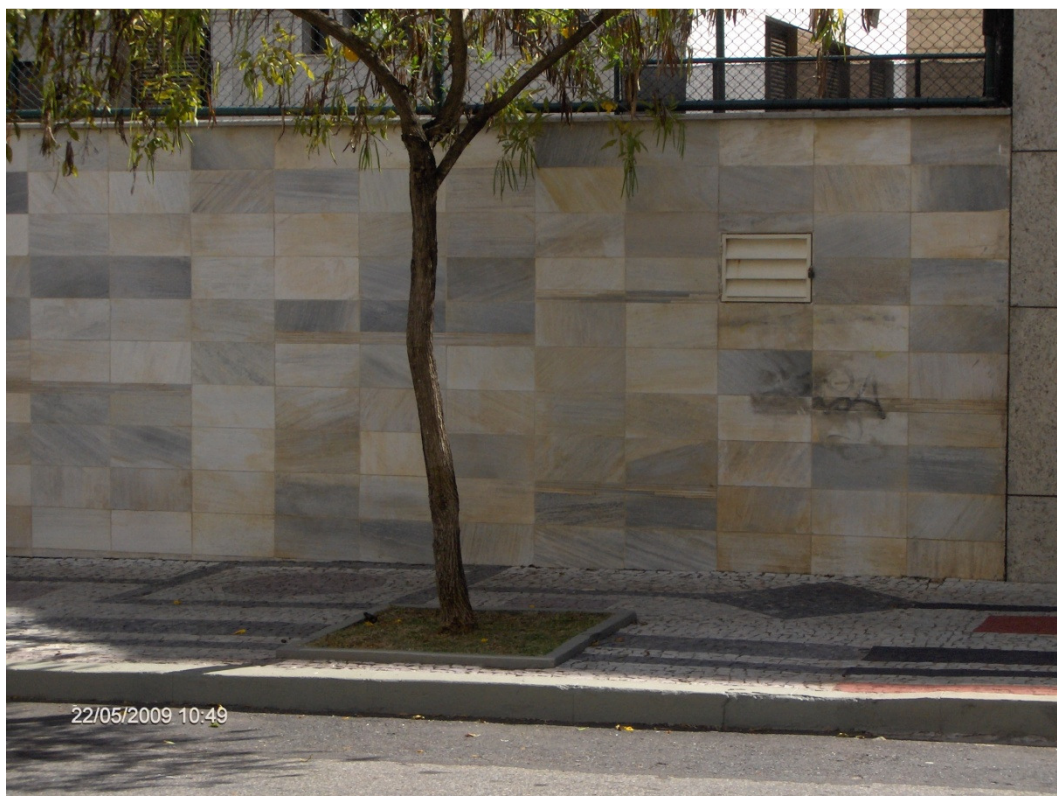
A instalação de peças, sobre as placas de rocha, feitas com materiais passíveis de sofrer corrosão metálica podem comprometer as rochas, pois pode haver infiltração dos produtos hidratados, com posterior manchamento (vide Figura 25).



**Figura 22-Mancha devido à liberação de óxidos e hidróxidos de ferro.**



**Figura 23-Mancha de ferrugem causada pela decomposição de minerais ferríferos.**



**Figura 24-Manchamento generalizado por oxidação de ferro contido na composição das rochas de revestimento.**



**Figura 25-Liberação de ferrugem por suporte e infiltração por meio de soluções.**

### *1.1.5. Interferências da argamassa*

Em função do excesso de água de amassamento, que por exsudação penetra nos poros no sentido da argamassa para o meio externo, podem ocorrer manchas escuras com aspecto molhado. Esta água por não estar quimicamente associada ao cimento está naturalmente livre para ocupar os poros da rocha. Entretanto, se não houver comunicação entre os canais, ela ficará retida nos poros sem possibilidade de alcançar o meio externo como mostra a Figura 26, promovendo um efeito de sombreamento.

Este efeito é mais visível nas rochas com as tonalidades mais claras. Por isso, as fábricas de argamassas colantes já disponibilizam produtos confeccionados com cimento branco, exatamente para minimizar este efeito.

Outro aspecto que merece atenção é a contaminação da argamassa com materiais argilosos, que acarretam uma maior expansão, característica intrínseca desses. Argilas expansivas, como as do tipo montmorilonita, apresentam forte expansão por umidade.



**Figura 26-Contaminação generalizada da rocha devido à presença de óxido de ferro no cimento presente na argamassa.**

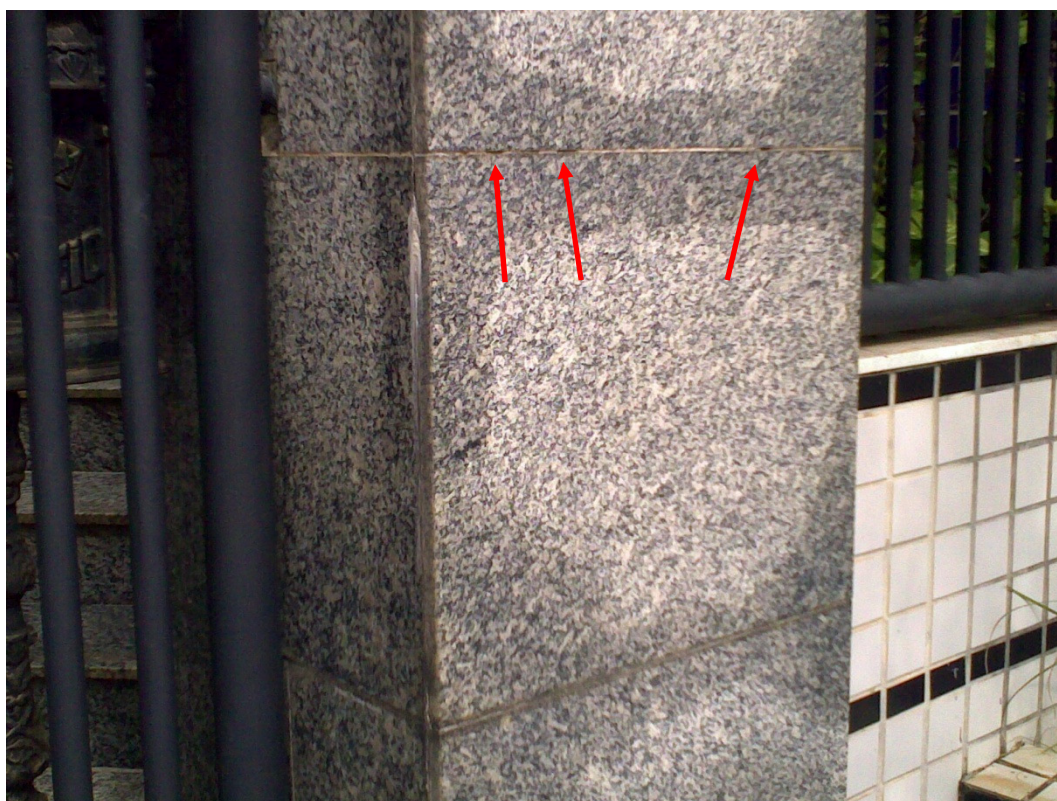


**Figura 27-Manchas devidas possivelmente ao excesso de água de amassamento.**

Muitas vezes não recebendo a atenção que requer, o rejuntamento também é uma argamassa e alguns defeitos estão relacionados a este, que é relegado a um plano de

menor importância do que o assentamento das placas e é executado sem preocupação como os aspectos técnicos. A habilidade do aplicador, representada muitas vezes pela experiência prática obtida sem qualquer treinamento, acaba prevalecendo sobre a técnica correta de aplicação. Então uma anomalia neste elemento do sistema de revestimento pode permitir uma entrada pontual de água na camada de assentamento (a qual pode ocorrer em qualquer altura no revestimento), dando início à degradação do elemento de solidarização do revestimento, ficando a durabilidade restante do sistema de revestimento dependendo apenas do grau de agressividade do ambiente em que está aplicado.

As origens das patologias ocorridas em áreas próximas aos rejuntas podem ser variadas, tais como erros de projeto, especificações inadequadas, falhas na execução do sistema do revestimento, ações de origens mecânicas externas ao sistema, ações ambientais e falhas de manutenção, como por exemplo o caso da Figura 28.



**Figura 28-Falhas no rejuntamento permitindo infiltração de água e conseqüente manchamento da rocha.**





**Figura 29-Utilização de rejuntamento inadequado (apenas cimentício), conduzindo à rápida deterioração**

### *1.1.6. Resina de preenchimento*

As resinas são usualmente utilizadas para a calafetação de fendas na superfície, principalmente dos mármore, por se tratar de material muito poroso. Apesar deste produto ser específico para tal uso, pode ocorrer ressecamento e destacamento da rocha, como visto na Figura 30.

Muito cuidado deve ser tomado quando do uso de materiais carbonáticos em situações em que sabidamente ocorrerão agressões químicas, como em cozinhas e banheiros, tanto em pisos quanto em bancadas.

Ocorre que estes materiais, por sua própria composição mineralógica, são susceptíveis de dissolução em ácidos, lembrando que naqueles locais é muito comum a presença de sabões, detergentes e mesmo frutas cítricas que atacam não só a matriz da rocha, mas também as resinas de preenchimento.



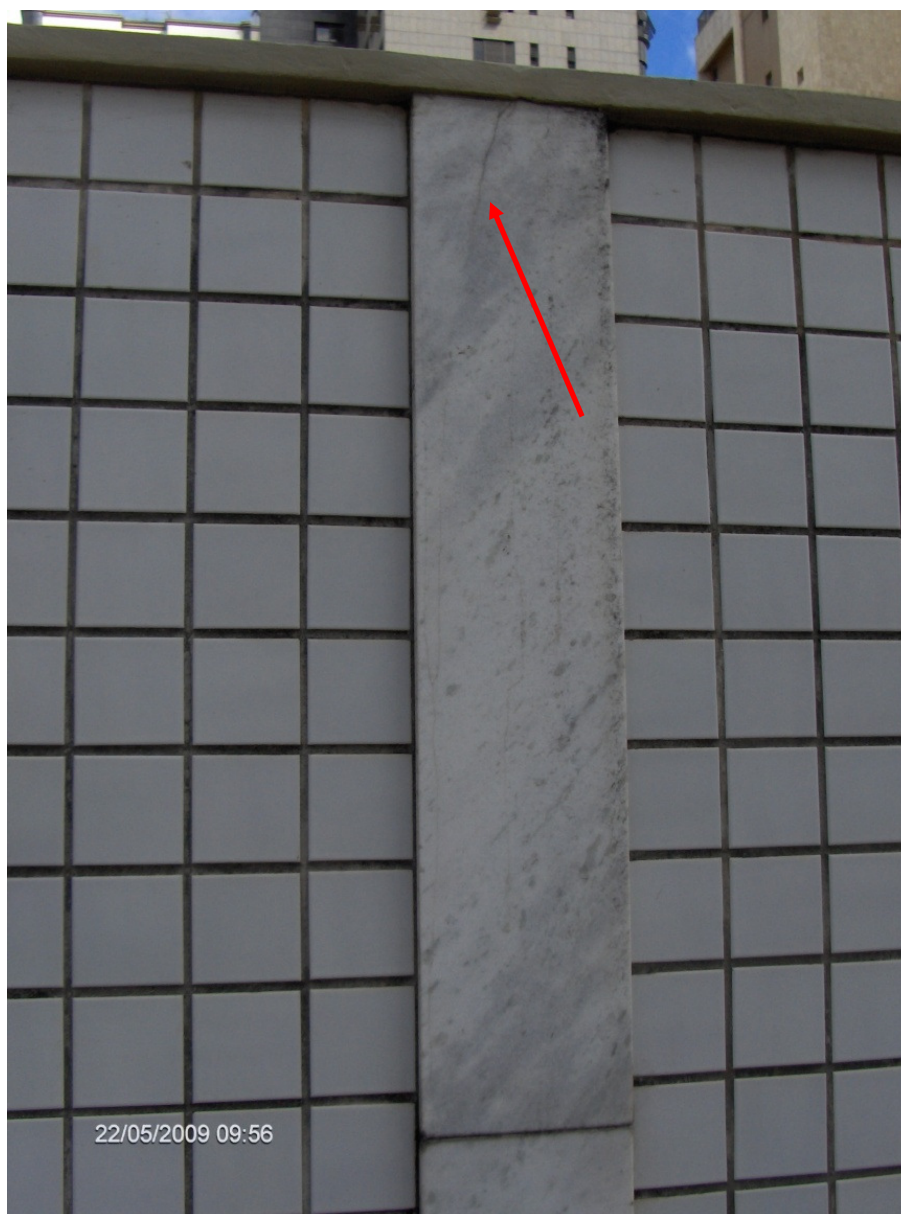
**Figura 30-Cavidade surgida pela perda da resina de estucamento.**



**Figura 31-Preenchimento de trinca com material inadequado.**

### 1.1.7. Fissuração

As trincas podem ocorrer em função de descontinuidade entre a camada de revestimento e o substrato e elevado coeficiente de dilatação térmica das placas que são expostas a amplitudes térmicas consideráveis e restritas por juntas indeformáveis (Figura 32).



**Figura 32-Fissura em placa de mármore.**

No caso da Figura 33, percebe-se que a fissuração estende-se por toda superfície das placas. Neste caso houve uma tentativa de preenchimento, porém o material não apresentou o desempenho adequado. Vale destacar também a calafetação dos elementos de ancoragem que ficaram muito evidentes.



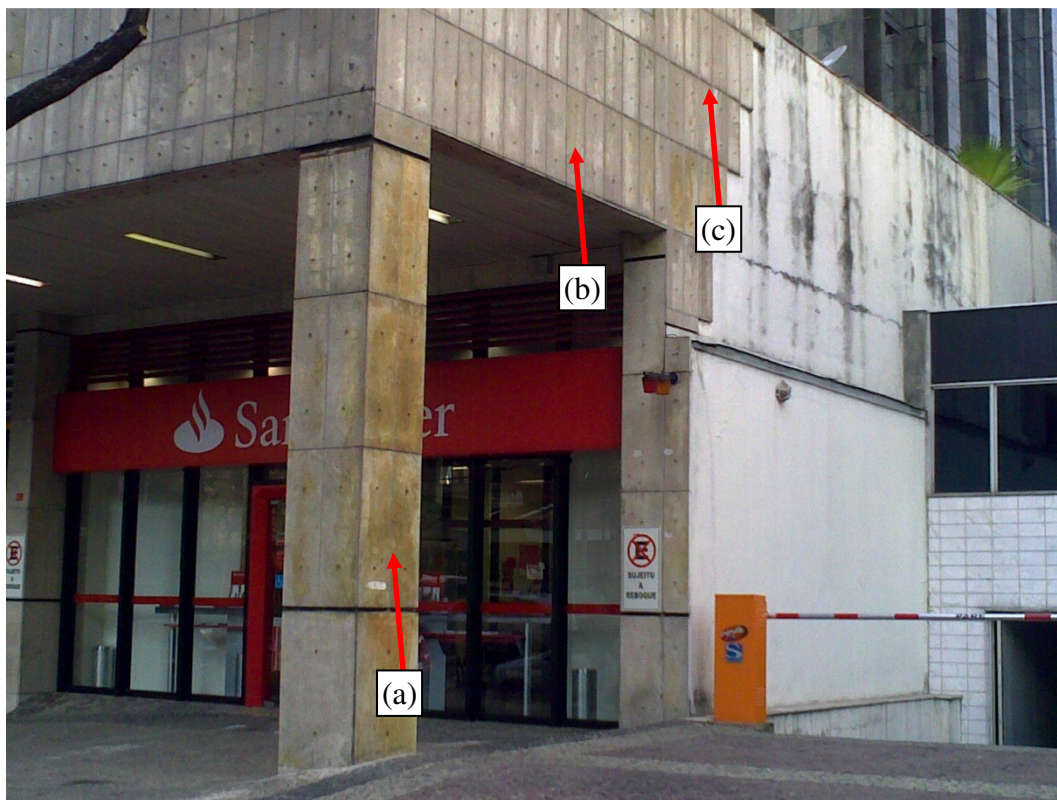
**Figura 33-Fissuras generalizadas em revestimento de mármore e algumas calafetações com material não adequado.**

### *1.1.8. Deterioração*

Numa definição simples, deterioração é o conjunto de mudanças nas propriedades dos materiais no decorrer do tempo, quando em contato com o ambiente no qual está aplicado. Isto inclui mudanças que implicam na sua degradação estética, chegando a determinados patamares que podem ser considerados intoleráveis. Claro que se trata de uma abordagem subjetiva, mas com o avanço destas alterações, o comprometimento que até então é apenas estético pode se traduzir em perda de resistência.

Então, quando se tem a ocorrência de várias patologias, pode-se dizer que o revestimento está deteriorado. Em função das características físico-mecânicas, em maior ou menor grau em função de sua composição mineralógica, por sua solubilidade em ácidos, a ação intempérica conduz a uma degradação tanto funcional quanto estética das rochas.

A Figura 34 ilustra um caso de granito com presença de umidade propiciando desenvolvimento de evidentes alterações.



**Figura 34-Revestimento com vários comprometimentos**  
**(a)Amarelecimento, indicativo de forte alteração**  
**(b)Umidade, denotando material com alta absorção de água**  
**(c)Falha nos rejuntamentos, permitindo infiltrações.**

Outra possível origem de problemas generalizados é a utilização de materiais compostos por minerais de fácil decomposição ou em avançado estado de decomposição por falta de uma correta especificação, como é o caso mostrado na Figura 35. Trata-se de mármore “Bege Bahia” usado em fachada (não é recomendado por ser colmatado com resina), que pode se decompor, mostrado na Figura 36.

Neste caso, tem-se perda de resina de preenchimento e também a formação de crostas negras pela fuligem e também chuva ácida, que aumenta a velocidade de degradação da fachada. O meio ambiente urbano, rico em poluentes de variadas fontes e composições, acelera e modifica a degradação da rocha, ou seja, pode potencializar as alterações que seriam provocadas por processos apenas naturais.



**Figura 35-Revestimento degradado e com presença de manchas negras em função da ancoragem de fuligem presente na atmosfera.**



**Figura 36-Detalhe da deterioração de fachada salientando algumas fendas.**

A deterioração também pode acontecer de forma não visível, ou seja, apesar de não detectável ao observador comum, através de ensaios de percussão, percebeu-se perda de aderência das placas que estão marcadas com fitas adesivas (vide Figura 37).



**Figura 37-Fachada com comprometimento de sua estabilidade. As peças identificadas com fita adesiva estão em iminente risco de queda.**

### *1.1.9. Falha nos selantes*

Sabidamente os selantes são fundamentais para, ao mesmo tempo, vedar as juntas contra infiltrações mas também permitir alívio das tensões térmicas experimentadas pelas fachadas em função do gradiente térmico. Entretanto, se houver excesso de produto utilizado haverá manchamento ao seu redor. Porém a aplicação incorreta ou insuficiente propicia a entrada de água e demais agentes agressivos, com conseqüente ocorrência de infiltrações e manchamentos. Atualmente, os principais selantes são os poliuretanos e silicones, entretanto devem ser rigorosamente especificados em função da aplicação. Posto que o selante deve preencher as juntas do revestimento, ele deve ser capaz de manter-se íntegro e ter capacidade de absorver deformações ao longo de sua vida útil. Caso isso não ocorra, poderá acontecer manchamento das placas (Figura 38), abertura para passagem de água (Figura 39) e comprometimentos estéticos (Figura 40) e funcionais (Figura 41).



**Figura 38-Manchamento das placas por uso de selante inadequado.**



**Figura 39-Ruptura do selante, que propiciará acesso e percolação da água.**





**Figura 40-Além do uso de material inadequado (apenas cimentício) para rejuntamento, houve espalhamento na superfície das placas.**



**Figura 41-Detalhe de fissurações transversais e descolamento longitudinal do rejuntamento, por se tratar de material inadequado.**

### *1.1.10. Eflorescências*

Um dos problemas observados com muita frequência nas fachadas é o aparecimento de manchas e eflorescências. Estas manchas e eflorescências podem estar relacionadas aos seguintes problemas:

- infiltração de água através das falhas ou da porosidade do rejuntamento, promovendo a lixiviação de sais presentes na argamassa;
- lavagem da fachada com solução de ácido muriático;
- excesso de água de amassamento da argamassa;
- presença de impurezas nas areias, tais como óxidos e hidróxidos de ferro.

A eflorescência é a formação de depósitos salinos na superfície dos revestimentos, alvenarias, concreto, argamassas, etc., como resultado da sua exposição à água de infiltrações ou intempéries. É considerado um dano, por alterar a aparência do elemento onde se deposita. Há casos em que seus sais constituintes podem ser agressivos e causar degradação profunda. A modificação no aspecto visual pode ser intensa, onde há um contraste de cor entre os sais e o substrato sobre os quais se deposita, por exemplo, a formação branca do carbonato de cálcio sobre granito escuro.

Quimicamente a eflorescência é constituída principalmente de sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-terrosos (cálcio e magnésio, solúveis ou parcialmente solúveis em água). Pela ação da água de chuva ou do solo estes sais são dissolvidos e migram para a superfície e a evaporação da água resulta na formação de depósitos salinos.

Fatores que contribuem para a formação de eflorescências:

- teor de sais solúveis;
- pressão hidrostática para proporcionar a migração para a superfície;
- presença de água.

Convém lembrar que os sais provenientes das eflorescências são de difícil remoção e a tentativa de limpeza pode provocar mais danos à rocha. Na Figura 42 o processo está ainda incipiente, mas na Figura 43 já está mais avançado.



**Figura 42-Formação de eflorescência em granito vermelho.**



**Figura 43-Desenvolvimento de eflorescências em gabro.**

Entretanto a eflorescência pode se difundir como mostrado na Figura 44 onde existe inclusive a formação de uma espécie de estalactite. Seu gotejamento provoca os manchamentos horizontais imediatamente abaixo.



**Figura 44-Eflorescência em revestimento de granito e também gotejamento.**

É freqüente a ocorrência de eflorescências em revestimentos de pedras porosas ou no rejuntamento de revestimentos em contato com água de chuva, molhagem ou umidade, e este fato ocorre devido ao elevado teor de hidróxidos, principalmente de cálcio, encontrados no tipo de cimento utilizado na argamassa da execução do assentamento dos próprios revestimentos.

A água, ao permear pelos revestimentos e/ou seus rejuntas e trincas, dissolve os hidróxidos do cimento, tornando-se alcalina. Ao encontrar condições de aflorar por percolação ou evaporação, ocorre a formação das eflorescências, conforme mostra a Figura 45.



**Figura 45-Eflorescências generalizadas.**

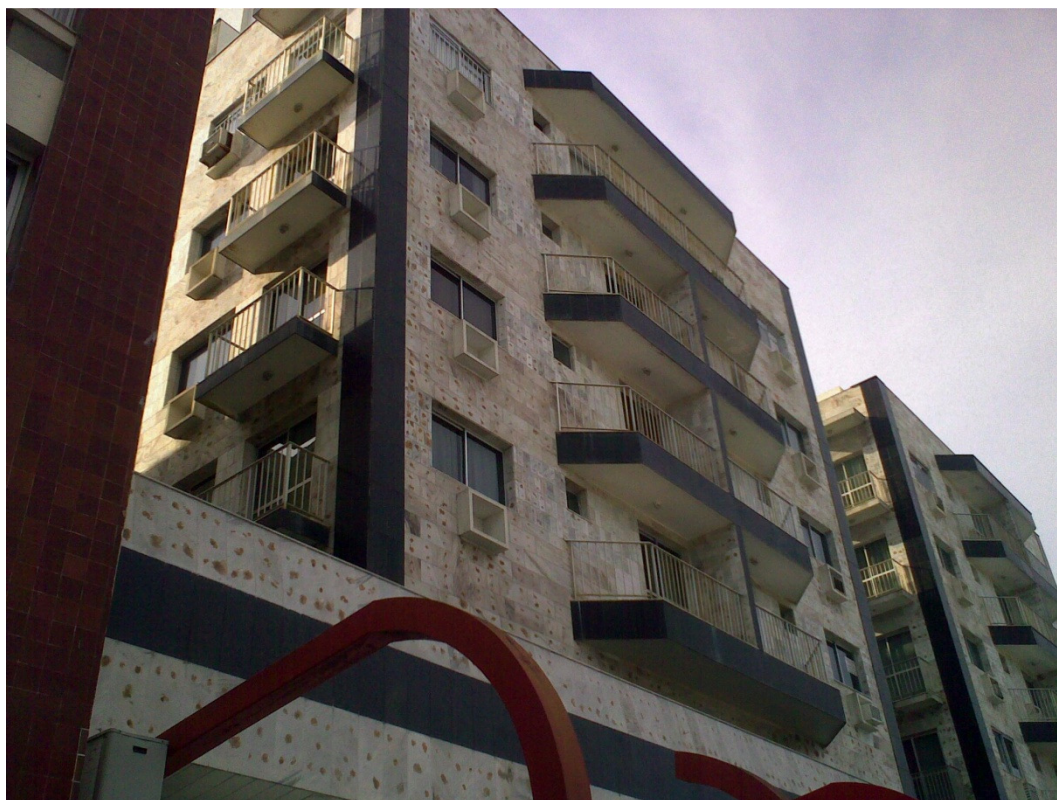
Além da água percolar pelos revestimentos e rejuntas, este trânsito também pode ocorrer pelos elementos de reforço de ancoragem como mostra a Figura 49, onde foi utilizado parafuso sextavado com calafetação inadequada.



**Figura 46-Ocorrência de eflorescências entre as placas e também nos elementos de reforço de ancoragem.**

### *1.1.11. Reforços na ancoragem*

Muitas vezes, no afã de se aumentar a aderência das placas ao substrato, são utilizadas soluções inadequadas que podem trazer danos ao revestimento. A primeira tentativa de incorporar um reforço foi com a utilização de arame no verso das placas. Os problemas deste método são: a baixa segurança, pois cada placa, trabalhada manualmente, não é passível de verificação com relação ao seu desempenho; o uso do arame, às vezes não galvanizado, pode apresentar corrosão e conseqüente perda de resistência. Um caso emblemático está na Figura 47. Na fachada lateral da mesma edificação, tem-se o descolamento de algumas placas (vide Figura 48).



**Figura 47-Fachada frontal com manchamentos pelo uso de arame no tardoz.**



**Figura 48-Detalhe de descolamento de placas de revestimento na fachada lateral e também da inadequada plasticidade da argamassa de assentamento.**

De todo modo a intenção é incrementar a ligação da placa através de elementos de reforço. Com os avanços da tecnologia, passou-se a utilizar parafuso galvanizado, que é imune à corrosão, ancorado em bucha plástica. Entretanto, tem-se a possibilidade de funcionamento comprometido deste esquema, pois a bucha prende-se apenas por atrito lateral e, dependendo de seu comprimento, não alcança o substrato, ficando fixada apenas nas camadas argamassadas. Pode também apresentar eflorescência em função de existir um espaço vazio entre a cabeça do parafuso e a placa de rocha por onde a água irá penetrar, como visto na Figura 49.



**Figura 49-Utilização de parafuso sextavado sem adequada vedação, propiciando formação de eflorescências.**

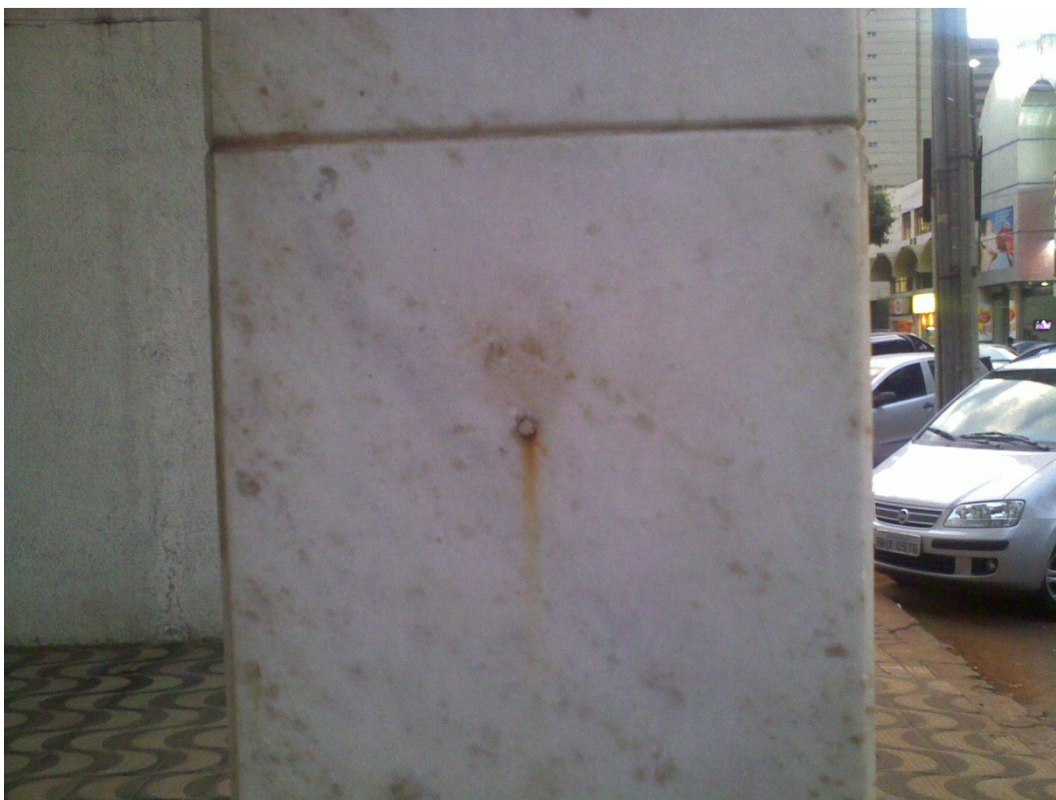
Outra forma utilizada é o parafuso com rosca tipo “castelo” que permite um melhor ajuste às placas evitando com isso o aparecimento de eflorescências mas, para alguns observadores, compromete a estética do revestimento, mostrado na Figura 50

Menos agressivo visualmente, pois fica embutido, é o parafuso de rosca soberba mostrado na Figura 51. Apresenta, entretanto, um grave problema que é a aplicação de colmatação no furo que nem sempre terá funcionamento adequado.





**Figura 50-Utilização de parafuso tipo “castelo” interferindo na estética da fachada de mármore branco.**



**Figura 51-Uso de parafuso de rosca soberba, com escorrimento de oxidação.**

Diante do problema de colmatar o vazio entre os parafusos e as placas de rochas, pode acontecer o uso de materiais que irão cumprir esta função, mas poderão afetar o aspecto estético da fachada, como mostrado na Figura 52.



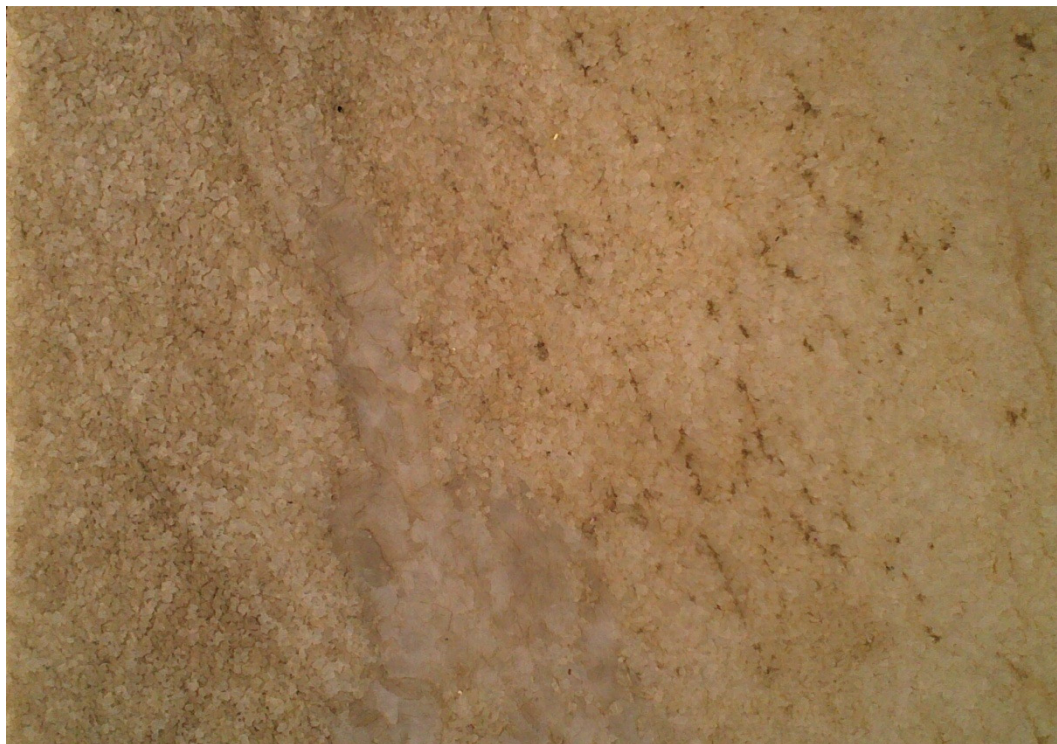
**Figura 52-Placas de gabro manchadas pela colmatação da cabeça dos parafusos.**

### *1.1.12. Uso*

O contato prolongado da rocha com produtos quimicamente agressivos e/ou manchantes e mesmo a exposição dos materiais às intempéries pode provocar encardimento, principalmente nos calcários que, por sua elevada porosidade, são mais susceptíveis ao encardimento como mostra a Figura 53.

Vale lembrar que também existe um agente agressor aparentemente inofensivo que é a madeira. Entretanto, se houver contato de umidade com a madeira (principalmente se estiver na forma de serragem), poderá ocorrer a formação do ácido húmico que irá atacar a rocha.

Este fato pode acontecer, por exemplo, em uma edificação que recebeu madeira para confeccionar armários e ficando estocada sem os devidos cuidados poderá manchar as rochas de revestimento.

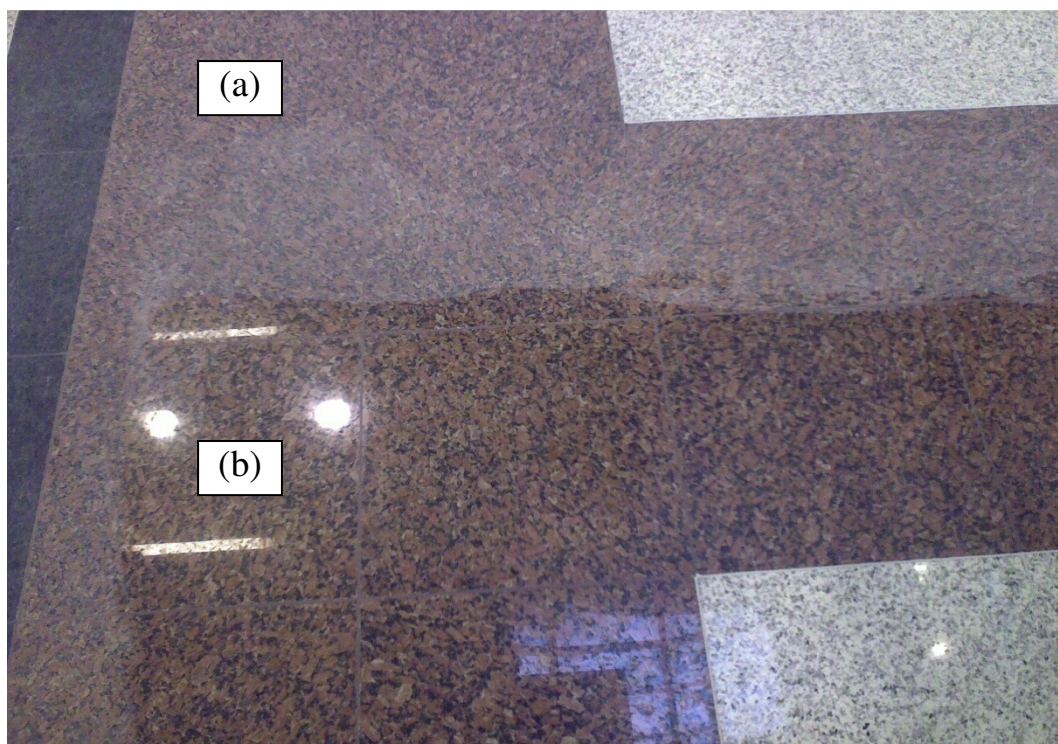


**Figura 53-Encardimento de mármore branco ocorrido pela poluição ambiental.**

### *1.1.13. Produtos de proteção superficial*

Por vezes pode ser interessante a aplicação de produtos tidos como impermeabilizantes para prevenir a infiltração de água e suas conhecidas e danosas conseqüências. Mas se o produto não for corretamente especificado, poderá funcionar bem em locais abrigados da insolação, mas em fachadas poderá apresentar fotodegradação como visto na Figura 54.

Outra situação que pode ocorrer é a incompatibilidade entre o produto de proteção e algum dos componentes mineralógicos da rocha. Neste caso ocorre uma reação deletéria, como vista na Figura 55.



**Figura 54-Duas partes de uma mesma fachada: (a) área sem produto de tratamento superficial; (b) região onde foi aplicado hidro-óleo repelente.**



**Figura 55-Incompatibilidade entre produto de proteção superficial e a rocha, provocando manchamento.**

### *1.1.14. Colônias biológicas*

Nas fachadas, o crescimento de fungos, bem como de outros organismos como algas e líquens, causam o aparecimento das manchas com tonalidades de acordo com a espécie e conseqüente deterioração do substrato. A reprodução geralmente ocorre por formação de esporos que se dispersam pelo ar. Os esporos, ao encontrarem condições adequadas de nutrição, umidade e sombreamento em um substrato, germinam e dão origem a colônias biológicas que podem comprometer as placas, como mostrado na Figura 56.



**Figura 56-Formação de colônias em placas de rochas.**

Pelo fato das fachadas receberem água de chuva e se o material do rejuntamento se desagregar, pode acontecer a instalação de plantas neste fendilhamento. Um exemplo desta situação encontra-se na Figura 57. Com o crescimento da planta haverá um esforço de expansão das raízes que comprometerá a estabilidade da fachada.



**Figura 57-Desenvolvimento de plantas em nichos do rejuntamento.**

Por fim, para uma correta especificação das rochas, o empreendimento deve ser avaliado por todo o seu ciclo de vida e não se pode levar em consideração apenas uma fase de sua vida útil, pois esta pode induzir a uma avaliação errônea do material. É preciso analisar desde a fonte de matéria-prima, sua produção, utilização e manutenção.

Para a definição desses e de outros parâmetros igualmente relevantes, recomenda-se que os materiais rochosos de revestimento sejam submetidos a ensaios de *caracterização tecnológica*. Os ensaios objetivam balizar os campos de aplicação dos materiais e o seu comportamento diante das solicitações. Isto porque pode ocorrer uma situação semelhante à mostrada na Figura 58, onde a fachada principal do edifício é aerada e não existe nenhum comprometimento estético e/ou funcional, mas o mesmo material foi utilizado no pórtico adjacente e pelo fato de ter sido aplicado com argamassa inadequada, apresenta sinais de manchamentos.

No entanto, o importante é compreender a necessidade de se estudar as manifestações patológicas no sentido de evitar a sua ocorrência no presente, bem como problemas futuros.



**Figura 58-Uso da mesma rocha em condições de assentamento diferenciadas não apresenta o mesmo desempenho.**

Os revestimentos das fachadas em muitas ocasiões não são devidamente planejados observando-se as premissas da NBR 13707 - Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rochas, quer pela elaboração de um projeto específico (com o detalhamento das interferências, propriedades dos materiais, normalizações pertinentes, juntas, tolerâncias e controles, metodologia de execução, conciliação com outros elementos integrantes da fachada), bem como da execução deficiente e sem atender e respeitar as características reológicas dos materiais componentes da edificação e dos elementos constituintes da fachada. Aliado a isto, observam-se comprometimentos devido ao controle deficiente na seleção, recebimento e estocagem de materiais; na seleção, preparação e aplicação da argamassa de assentamento; na execução dos serviços de assentamento e acabamento.

Como resultado final, obtém-se um revestimento de estética comprometida e de desempenho insatisfatório, que leva a crer não ter condições de atender à elevada durabilidade e impermeabilidade, que é inerente a este tipo de revestimento. Todos estes procedimentos (denominados de *caracterização tecnológica*) aliados sinergicamente a uma técnica de assentamento coerente com as condições de exposição e uso, produzirão uma edificação com adequadas estética e higidez, como exemplificado na Figura 59.



**Figura 59-Exemplo de uma fachada corretamente especificada e executada, destacando seu brilho.**

De modo geral, observou-se que os granitos e granitóides têm sua coloração afetada principalmente pela presença de sulfetos (pirita, pirrotita e calcopirita) e também de granadas ferríferas que por alteração destes minerais vão manchar as placas. Os feldspatóides, assim como outros minerais, podem se degradar em contato com poluentes presentes na atmosfera, tais como monóxido e dióxido de carbono, óxido de enxofre e outros mais, principalmente nos locais fortemente urbanizados.

Vale lembrar que esta estratégia de conhecer e tentar uma previsão do comportamento das placas em fachada é preconizada pela norma ASTM C-1242 (2003) que recomenda a análise de obras já existentes (quanto mais antiga, melhor) que possuam o mesmo tipo de rocha e o ambiente de exposição semelhante.

## 1.2. Objetivos

Dado que grande parte das aplicações de rochas ornamentais utiliza as argamassas de assentamento e que é necessário um maior conhecimento dos mecanismos de aderência,



posto que esta característica é possivelmente a mais preocupante pelo fato de poder se constituir em fonte de graves acidentes, este trabalho tem os seguintes **objetivos**:

- Correlacionar as principais características das rochas ornamentais com as técnicas de fixação, com vistas ao seu melhor desempenho no sistema de revestimento;
- Caracterizar tecnologicamente as amostras selecionadas e mostrar a importância desta rotina para uma correta aplicação;
- Propor uma abordagem sistêmica dos revestimentos pétreos, mostrando que o revestimento deve ser entendido como parte de um sistema maior (o edifício, neste caso) e que funciona de forma solidária às outras partes.

Comercialmente as rochas utilizadas em revestimentos englobam os mármore e os granitos como sendo os tipos mais comuns, seguidos pelos quartzitos e inúmeros outros materiais. Genericamente os “mármore” englobam as rochas calcárias e os mármore propriamente ditos. São rochas sedimentares ou metamórficas, e podem ser utilizados sem ou com algum desdobramento, seguido de polimento. Já os “granitos”, englobam quaisquer rochas de origem ígnea, que apresentem boas condições de desdobramento, também seguidos de polimento, apicoamento ou flameamento.

Outros materiais utilizados como revestimento ou como material ornamental na construção civil às vezes não estão sujeitos a processo industrial de desdobramento de blocos. São: ardósias, arenitos, quartzitos, esteatitos, serpentinitos.

Conforme COSTA et al (2002), as rochas podem ser classificadas com base no conteúdo mineralógico e em critérios composicionais, de modo que as variedades anteriormente elencadas podem também ser agrupadas da seguinte forma, em função da composição:

- I - Calcárias: (1)Mármore Branco (nacional); (2)Mármore Branco Carrara (italiano) – compostos principalmente por calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e secundariamente por dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ];

- II - Quartzo-feldspáticas: (3)Granito Amarelo Vitória; (4)Granito Cinza Andorinha – compostos pela forma cristalina da sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e silicatos de alumínio com algum tipo de metal alcalino ou alcalino-terroso;
- III - Feldspáticas: (5)Gabro; (6)Sienito – semelhantes às anteriores porém com menor conteúdo de quartzo;
- IV - Serpentiníticas: (7)Granito Verde Alpe; (8)Pedra Sabão – compostos predominantemente por óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ), sílica ( $\text{SiO}_2$ ).

Neste trabalho, levando-se em conta os tipos mais utilizados, foram selecionadas oito variedades litológicas: (1) Mármore Branco (nacional); (2) Mármore Branco Carrara (italiano); (3) Granito Amarelo Vitória; (4) Granito Cinza Andorinha; (5) Gabro; (6) Sienito; (7) Granito Verde Alpe; (8) Pedra Sabão. A escolha destes tipos se deu em função de consultas feitas em construtoras de grande porte e que os utilizam na maioria dos empreendimentos e para garantir uma homogeneidade das amostras, todos os corpos-de-prova provêm de apenas um fornecedor.

Convém asseverar, contudo, que mesmo após décadas de estudos sobre a utilização das rochas como elementos de revestimento, ainda existe certo desconhecimento por parte do mercado com relação aos parâmetros descritores dos diversos tipos litológicos, ocasionando confusão pois, conforme já dito, persiste a tendência em se classificar as rochas tão somente como mármore ou granitos.

### 1.3. Organização

Pretendendo-se uma forma estruturada para tratar do tema da tese, o presente trabalho se desenvolve em sete capítulos.

Como apresentado até aqui, o *Capítulo 1 – Introdução* mostra uma visão panorâmica do tema da tese e como as patologias não podem ser simuladas em laboratório, pois o tempo para tais manifestações ocorrerem é relativamente longo (anos ou mais), o horizonte de estudo foi ampliado com observação de fachadas com algum comprometimento, corroborando a justificativa do trabalho.

Na seqüência a este, o *Capítulo 2 – As rochas e as fachadas*, traz os principais aspectos relacionados ao uso das rochas como elementos de fachadas, mostrando as formas atuais de assentamento e também as possíveis patologias que podem surgir nas fachadas.

O *Capítulo 3 – As argamassas* passa em revista ao material que faz a ligação entre a placa de rocha e o substrato. São estudadas as suas classificações em termos de funções e composições e são indicadas as melhores práticas executivas. O conjunto destes dois capítulos (2 e 3) consiste naquilo que se denomina “revisão de literatura”.

No *Capítulo 4 – Estudo da aderência* são analisados os mecanismos de aderência entre a rocha e o substrato, clarificando este que é possivelmente o mais importante parâmetro de desempenho de uma fachada de rocha.

Já o *Capítulo 5 – Ferramentas de avaliação das rochas e das argamassas* mostra as técnicas de análise empregadas para avaliação dos materiais.

O *Capítulo 6 – Programa experimental* trata de mencionar a metodologia, ou seja, mostrar o caminho percorrido para obtenção dos resultados como a confecção dos painéis de análise. Os dados obtidos são então apresentados, tanto os valores numéricos dos ensaios mecânicos (avaliação ao nível macro) bem como as observações ao MEV (avaliação ao nível micro) procurando-se, então, compreender melhor o mecanismo de aderência entre as placas e substrato.

Finalizando, são tecidas as considerações finais no *Capítulo 7*; a bibliografia e anexos compõem o fechamento.

# CAPÍTULO 2 – AS ROCHAS E AS FACHADAS

---

De acordo com Frazão (2002) rocha pode ser definido como “todo corpo sólido constituído por um ou mais tipos de minerais (rocha monominerálica ou poliminerálica)”. São diversos os usos das rochas, como já aventado, e nos dias atuais continuam sendo utilizadas como material de construção, tendo ampla utilização destacadamente: como um agregado graúdo para a fabricação do concreto (denominada pedra britada ou simplesmente brita); como agregado miúdo (areia) para confecção de argamassas e concretos; e também em placas ou ladrilhos como material de revestimento.

## 2.1. Classificação geral das rochas

As rochas apresentam características próprias, que dependem da história geológica pela qual passou desde sua formação e se dividem em três grandes grupos:

- **Ígneas** - de modo geral, caracterizam-se pela altíssima resistência mecânica e são apropriadas para suportar grandes esforços mecânicos e tráfego, destacando-se os granitos, que são compostos por feldspatos e quartzo, podendo conter micas, piroxênios, anfibólios e outros minerais máficos. A cor dessas rochas é fortemente dependente do tipo e variedade dos feldspatos presentes, que podem ser rosa, vermelho, cinza, verde, dentre outros. Vale destacar que pela ação do intemperismo, a presença de hidróxidos de ferro pode conferir tonalidades amarelo-ferruginosas a essas rochas. Os gabros e dioritos exibem coloração escura em função de minerais máficos como anfibólios, piroxênios e biotita e opacos como óxidos e sulfetos e são rochas comercialmente denominadas de granitos pretos. Ainda no grupo das ígneas, rochas feldspáticas com ausência de quartzo e presença de feldspatóides, petrograficamente denominadas sienitos, são comercializadas como granitos. Podem apresentar grande variedade de coloração. Alguns são brancos como o Ás-de-Paus e outros escuros, como o Marrom Caldas.

- **Sedimentares** - apesar de menos resistentes à abrasão, são também muito utilizadas como elemento de revestimento. São formadas pela deposição ou sedimentação ou precipitação de materiais derivados da desagregação e decomposição de rochas na superfície. A calcita, hidróxidos de ferro (limonita), sílica e sais são os cimentos mais comuns que, auxiliados pela percolação de água entre os vazios, permitem a cristalização de material inorgânico. Fazem parte deste grupo, dentre outros, arenitos, quartzitos, travertinos, calcários, dolomitas (sendo estes dois últimos rochas carbonáticas compostas por mais de 50% de calcita ou dolomita, respectivamente) .
- **Metamórficas** - são derivadas de outras rochas já existentes, que com o passar do tempo geológico, exibem mudanças mineralógicas, químicas e mesmo estruturais. Neste grupo incluem-se vários tipos de rochas como gnaisses, migmatitos, ardósias, filitos, xistos e os mármore, que têm uma composição carbonática.

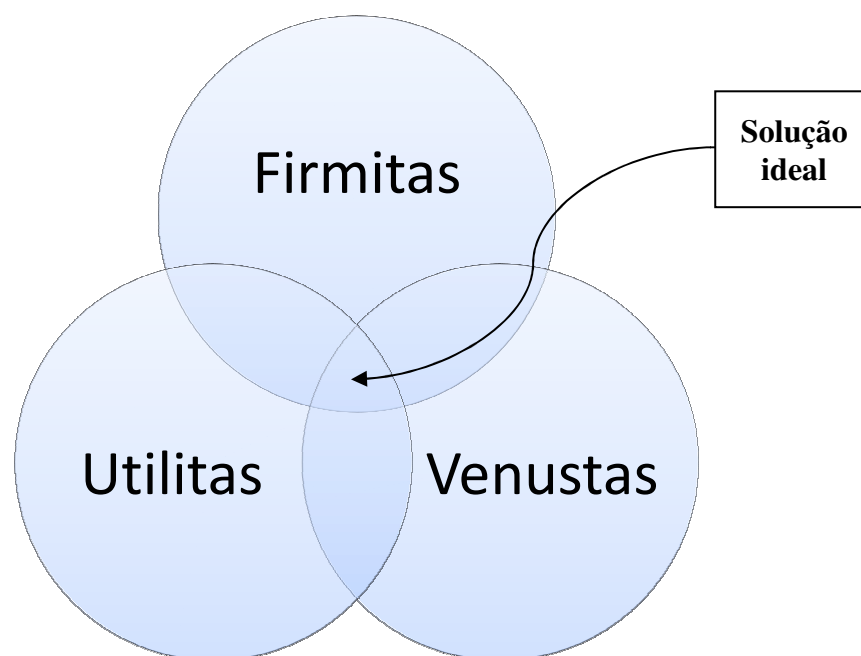
Pode-se dizer que, independentemente do tipo de rocha utilizada, sua aplicação irá sempre enobrecer e valorizar a construção. A rocha se impõe como um material de construção tanto tradicional como moderno, graças às suas propriedades de resistência, suas tonalidades e aos inigualáveis arranjos multiformes de sua textura. Um exemplo destes possíveis efeitos surpreendentes é a paginação, como visto na Figura 60.



**Figura 60-O partido da paginação que permite elegantes e agradáveis jogos com a geometria exibida nas placas de rocha. Neste caso, amostra de Mármore Carrara que apresenta simetria especular a partir do corte da placa.**

## 2.2. Tipos de fachadas

Em se tratando de fachada, que é um dos subsistemas mais importantes de uma edificação, é importante lembrar a Tríade Vitruviana, proposta por Marcus Vitruvius Pollio<sup>2</sup> em sua obra composta por 10 volumes, aos quais nomeou *De Architectura* em aprox. 40 a.C.. Neste tratado são apresentados como três os elementos ou funções fundamentais da arquitetura: *firmitas* (que se refere à estabilidade, ao caráter construtivo), *utilitas* (que originalmente se refere à comodidade e ao longo da história foi associada à função e ao utilitarismo) e *venustas* (associada à beleza e à apreciação estética). Esta abordagem generalista das funções da Arquitetura pode ser aplicada, conforme visto, ao caso particular das fachadas e esquematizada na Figura 61.



**Figura 61-Tríade Vitruviana**

As fachadas são responsáveis por alguns dos aspectos mais importantes das construções. Nesta abordagem suas funções poderiam ser assim agrupadas: garantir a durabilidade da edificação ou *firmitas*; funcionar como invólucro do edifício e desempenhar satisfatoriamente funções de fechamento, conforto interno e proteção contra intempéries ou *utilitas*; definir a linguagem estética de um edifício mesmo apesar do caráter subjetivo desta percepção ou *venustas*.

---

<sup>2</sup> Arquiteto e engenheiro romano que viveu no séc. I a.C.

Deste modo a solução ideal para a fachada é aquela obtida pela interseção das três funções: durabilidade, funcionalidade e estética. O problema agora é encontrar dentre as opções de materiais e técnicas que o mercado disponibiliza, aquela que melhor atenda à relação custo/benefício.

Então, a fachada, além de importante subsistema de uma edificação, também é um dos pontos mais sujeitos a patologias numa construção e isso merece mais atenção na medida em que os edifícios estão cada vez mais altos e esbeltos. Em grandes cidades, prédios residenciais hoje têm 30 andares ou mais e os comerciais passam de 40 pavimentos. Com isso, as estruturas são mais flexíveis e trabalham mais. Logo, estão mais sujeitas a tensões decorrentes de deformações estruturais, o que precisa ser levado em consideração no projeto.

As fachadas, segundo a sua confecção, podem ser classificadas em dois tipos:

- Pré-fabricadas (com painéis de concreto armado, de GFRC<sup>3</sup> ou metálicos com vidro ou pedra) são interessantes para edifícios de escritórios, “flats”, “shopping centers”, hotéis e edifícios residenciais de alto padrão, além de edificações com estrutura em aço. Entre as vantagens oferecidas pelo sistema, tem-se alta produtividade e elevada capacidade de dissipar deformações estruturais, além de grande flexibilidade arquitetônica e de acabamento
- Moldadas *in loco*, os tipos mais comuns no Brasil ainda é o de alvenaria e argamassa com assentamento de rocha ornamental ou cerâmica ou reboco.

Atualmente, a norma brasileira admite dois padrões executivos para as Fachadas Moldadas *in loco*: Aerada e Aderente. Suscita-se então a análise de cada uma delas, apesar de que se observa, na prática corrente, uma opção bem mais preponderante pelo sistema com uso de argamassa em função de o custo ser mais baixo em relação ao sistema aerado (sem uso de argamassa).

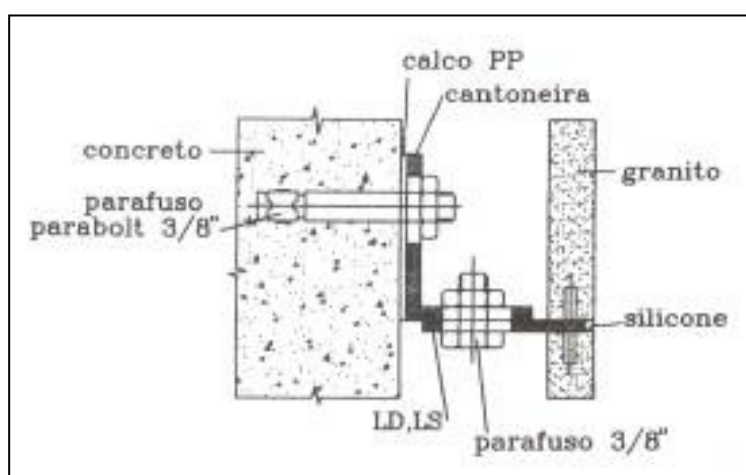
---

<sup>3</sup> *Glass Fiber Reinforced Concrete* ou Cimento Reforçado com Fibra de Vidro.

### 2.2.1. Fachada Aerada

Trata-se de um sistema sem utilização de argamassa. As placas são colocadas com auxílio de um elemento denominado *insert*, detalhado na Figura 62, sendo que ficarão deslocadas do substrato, por isso este sistema por vezes é também referenciado como Fachada Afastada ou Respirante.

No hemisfério Norte, onde essas fachadas foram desenvolvidas, como o inverno é rigoroso e a manutenção do calor nos ambientes internos é fundamental, parte dessa cavidade é preenchida por uma camada de material isolante, geralmente painéis de lã de vidro ou de rocha.



**Figura 62-Elementos componentes de um sistema aerado.**

Fonte: CARVALHO JÚNIOR (1999)

Diferentemente dos revestimentos tradicionais aderidos, em que as peças são fixadas ao substrato com argamassa, as fachadas ventiladas oferecem melhor isolamento térmico ao edifício, graças à circulação de ar na camada formada entre o revestimento e as paredes, ou pelas juntas abertas, conhecido como efeito chaminé, com isso reduzindo a carga térmica da edificação.

Além de melhorar o isolamento térmico, as fachadas ventiladas podem trazer vantagens com relação ao outro sistema. Uma delas é a possibilidade de uso de peças de grandes dimensões, o que não poderia ser feito com a fixação pelo sistema colante, principalmente com as argamassas mais comumente utilizadas. Outras vantagens são: a



facilidade na troca de peças com problemas (basta desparafusar ou desencaixar) e o fim do problema das infiltrações.

De acordo com Flain (1995), os furos, ou devem se localizar a uma distância mínima entre o seu eixo e o canto correspondente de  $1/4$  a  $1/5$  do comprimento da placa, ou devem respeitar uma distância mínima do canto igual a três vezes a espessura da placa.

O diâmetro dos furos deve ser da ordem de 2 mm maior que o diâmetro do corpo metálico e também que a distância entre o furo e a face posterior interna da placa deve ser no mínimo de 10 mm. O elemento metálico deve ser limpo para facilitar sua aderência com o selante no interior do furo. O preenchimento dos furos da placa com selante traz duas vantagens: evita o contato metálico com a placa e inibe possíveis vibrações durante a vida útil da placa. O *insert* já instalado pode ser visto em destaque na Figura 63.



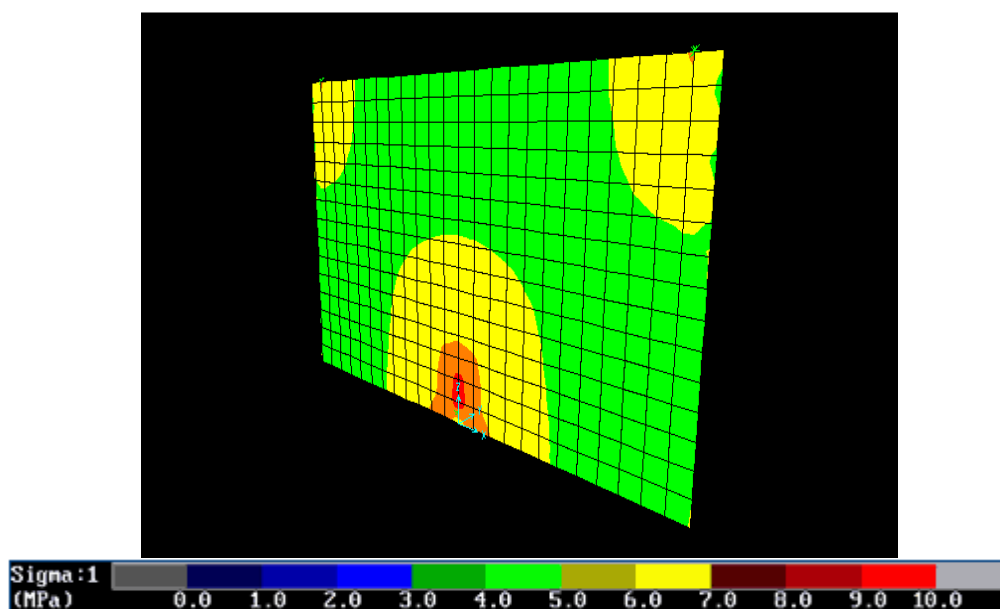
**Figura 63-Detalhe do *insert* metálico fixado ao substrato e apoiando as placas de rocha.**

Logo após o término dos serviços, a fachada pronta tem um aspecto final semelhante ao mostrado na Figura 64, com o rejuntamento entre as placas já executado e as esquadrias instaladas.



**Figura 64-Aspecto final de uma fachada aerada.**

Vale lembrar que para este tipo de fachada o vento, deformação da estrutura e possíveis impactos devem ser considerados para seu correto dimensionamento. Neste caso, além da análise petrográfica, também devem ser avaliadas as resistências à flexão e ao impacto de corpo duro. Para se ter noção das solicitações às quais a placa de rocha fica submetida, a Figura 65 mostra uma análise através do Método dos Elementos Finitos indicando a concentração de tensões nos pinos.



**Figura 65-Análise de uma placa de rocha através do Método dos Elementos Finitos mostrando as concentrações de tensões. A cor vermelha indica a maior concentração que ocorre exatamente no furo que dá sustentação à placa.**

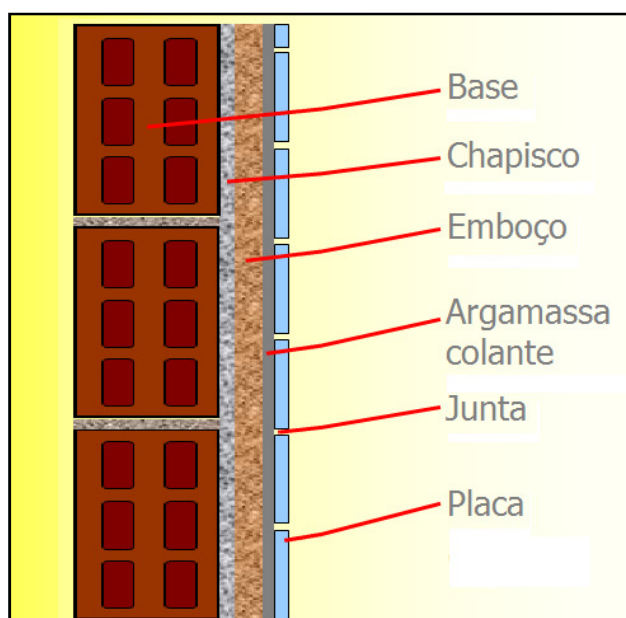
Fonte: MEDEIROS (2006)

Pela concentração de tensões ao redor do pino (evidenciada pela cor vermelha no reticulado da placa), percebe-se a importância de uma correta inspeção e qualificação das rochas no sentido de evitar colapso localizado nas placas.

### 2.2.2. Fachada Aderente

Em contraste com o método anterior, quando existe ligação direta entre as placas de rocha e o substrato diz-se que as fachadas são aderentes, pois existe contato direto entre as partes através do uso de argamassas.

Neste caso o revestimento tem uma seqüência de etapas (vide Figura 66), a saber: confecção da alvenaria, também denominada base; aplicação da camada de chapisco, utilizando-se uma argamassa fluida e que pode ser aplicado de forma convencional ou com rolo texturizado; aplicação da camada de emboço, formando o plano vertical; utilização de argamassa para assentamento, que pode ser a tradicional de cimento + areia ou as colantes<sup>4</sup>; assentamento propriamente dito das placas de rocha; preenchimento das juntas de assentamento com o rejunte; execução das demais juntas.



**Figura 66-Componentes de uma fachada aderente, desde o substrato até a placa.**

<sup>4</sup> Também conhecidas como Cimento-cola.

### 2.2.2.1. Etapas do serviço de revestimento

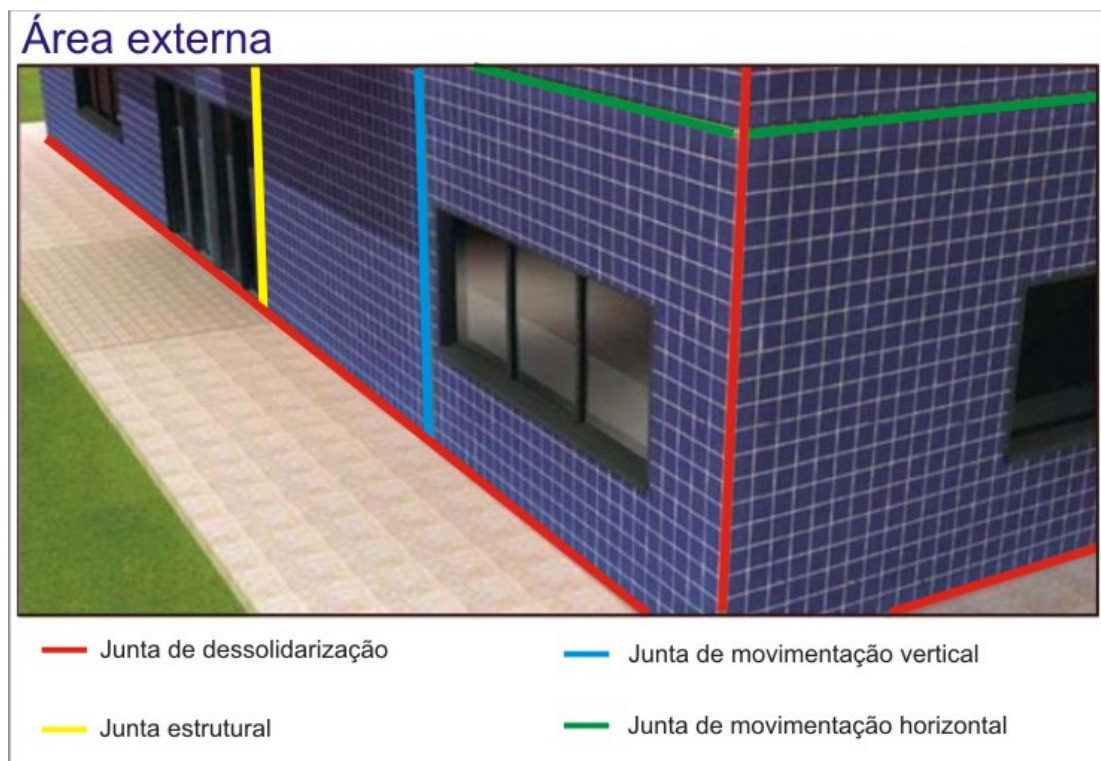
O uso da argamassa colante para assentamento das placas deve observar alguns detalhes, levando-se em consideração o exposto por Carvalho Júnior (1999).

#### a – Etapa de elaboração do projeto executivo

Dentre os vários detalhes que merecem atenção, é de suma importância que o projeto executivo das fachadas detalhe as várias juntas do revestimento Beltrame (2009):

- de assentamento (que existem entre as placas);
- de movimentação (destinadas a absorver as variações dimensionais em função de gradientes termo-higrométricos);
- de dessolidarização (recomendadas quando existe mudança de planos ou de material);
- estruturais (se existirem, acompanham as da própria estrutura).

A ausência ou mal dimensionamento destas juntas, que são mostradas na Figura 67, significam falhas no projeto, pois podem certamente originar o descolamento dos revestimentos das fachadas.

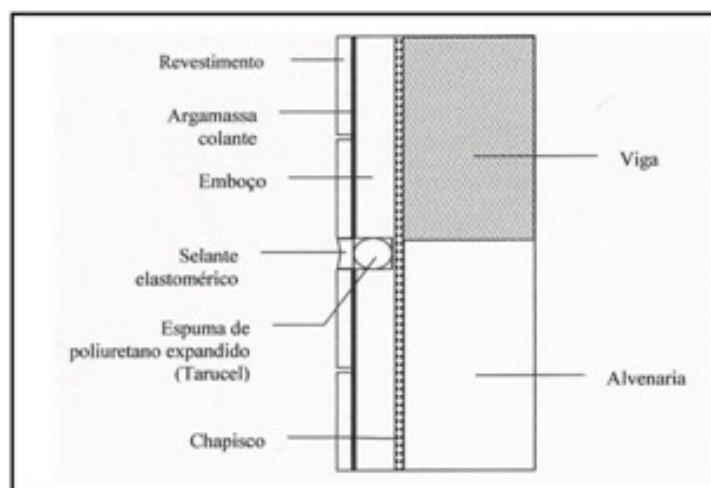


**Figura 67-Os quatro tipos de juntas de uma fachada.**

Fonte: QUARTZOLIT (2008)

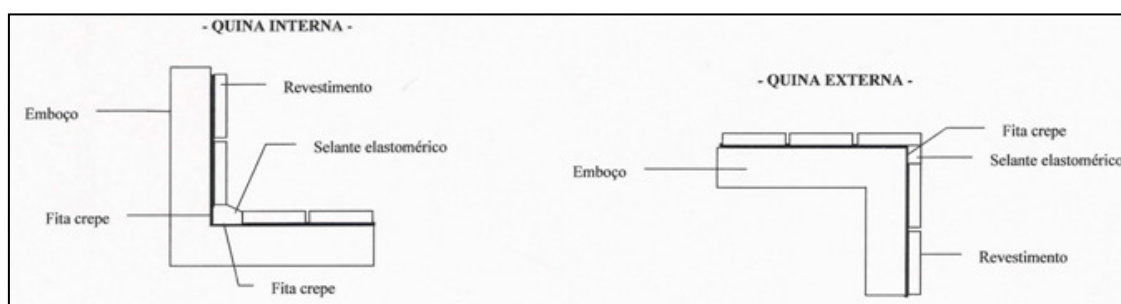
As juntas de assentamento deverão apresentar largura suficiente para que sejam absorvidas de forma resiliente (ou seja, no regime elástico) as movimentações termo-higroscópicas deste revestimento.

As juntas de movimentação apresentam posicionamento escalonado ao longo do revestimento (preferencialmente localizadas na região de transição estrutura/alvenaria) e são aprofundadas desde a superfície até a base, preenchidas com materiais resilientes, tendo a função de dividir o pano extenso em panos menores e absorver as tensões geradas por movimentações da estrutura e das camadas de revestimento que estas juntas delimitam. A Figura 68 exemplifica este tipo de junta.



**Figura 68-Junta de movimentação.**

Já as juntas de dessolidarização exemplificadas na Figura 69 são utilizadas em mudanças de direção (como quinas reentrantes e salientes), bem como na transição de diferentes materiais de revestimentos, para absorver as tensões que surgem nestes locais.



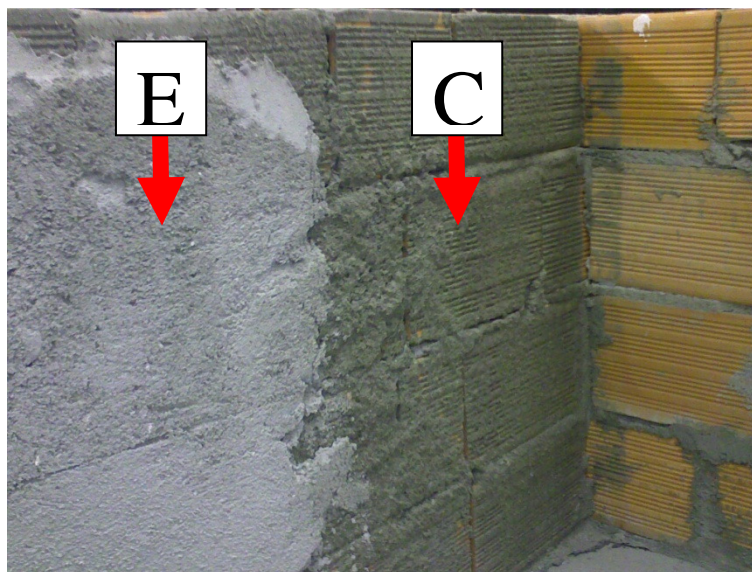
**Figura 69-Juntas de dessolidarização**

No caso de existirem juntas estruturais, estas deverão ser preenchidas com material compressível e não receber nenhuma placa de rocha por cima pois estaria restringindo o funcionamento normal da estrutura, bem como poderia também fissurar ou descolar.

### **b – Etapa de especificação de materiais**

A correta especificação dos materiais, que pode ainda ser considerada como uma etapa de projeto, tem vital importância no desempenho do sistema de revestimento utilizado na fachada. Falhas na especificação dos diversos materiais que formam o sistema de revestimento podem ser capitais no aparecimento de patologias. A indicação de uma correta aplicação das rochas de revestimento em função do uso será determinante para a durabilidade do sistema de revestimento (COSTA et al, 2002), principalmente porque a rocha estará sujeita diretamente às intempéries, e este é exatamente o determinante da durabilidade do conjunto rocha/argamassa em função do fator tempo.

A fachada deve ser entendida como um *sistema*, ou seja, apesar do comportamento monolítico, é composta por várias etapas que devem receber a mesma atenção. Então, logo após o substrato, o chapisco é a camada de argamassa destinada a garantir maior ancoragem do emboço à alvenaria/estrutura. O chapisco utilizado sobre a alvenaria normalmente é composto por cimento e areia lavada no traço 1:3, com consistência fluida. Já sobre a superfície de concreto deve ser utilizado chapisco industrializado ou a adição de uma resina (preferencialmente de base acrílica) ao chapisco convencional citado anteriormente para uso sobre a alvenaria. De acordo com Candia (1998) o emboço é a camada de regularização, aplicada diretamente sobre a base, com a função de definir o plano vertical e dar sustentação à camada seguinte, o revestimento com rocha propriamente dito. Deve ser tal que atenda as recomendações de resistência de aderência preconizadas na norma ABNT NBR 13.749 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas Especificação (1996): no ensaio de arrancamento, para determinação da resistência de aderência à tração, pelo menos 04 valores dos 06 cps ensaiados devem apresentar resultados iguais ou superiores a 0,30 MPa. As etapas que compõem o revestimento argamassado estão ilustradas na Figura 70 .



**Figura 70-Camadas que compõem o revestimento argamassado:  
(C)Chapisco e (E)Emboço.**

As argamassas colantes (também conhecidas como argamassas colantes flexíveis ou com adição polimérica) devem atender às recomendações de resistência de aderência preconizadas na norma ABNT NBR 13.755 - Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante.Procedimento - (1996), que para placas assentadas em fachada utilizando-se argamassa colante define também que no ensaio de arrancamento, para determinação da resistência de aderência à tração, pelo menos 4 valores dos 6 cps ensaiados devem apresentar resultados iguais ou superiores a 0,30 MPa.

Por fim, porém não menos importante, no que diz respeito às argamassas de rejuntamento, a norma ABNT NBR 14.992 - Argamassa a base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios (2003) recomenda, para uso em fachadas, o rejuntamento tipo II, que pode ser aplicado em superfícies cujas extensões demandem a utilização de juntas de movimentação.

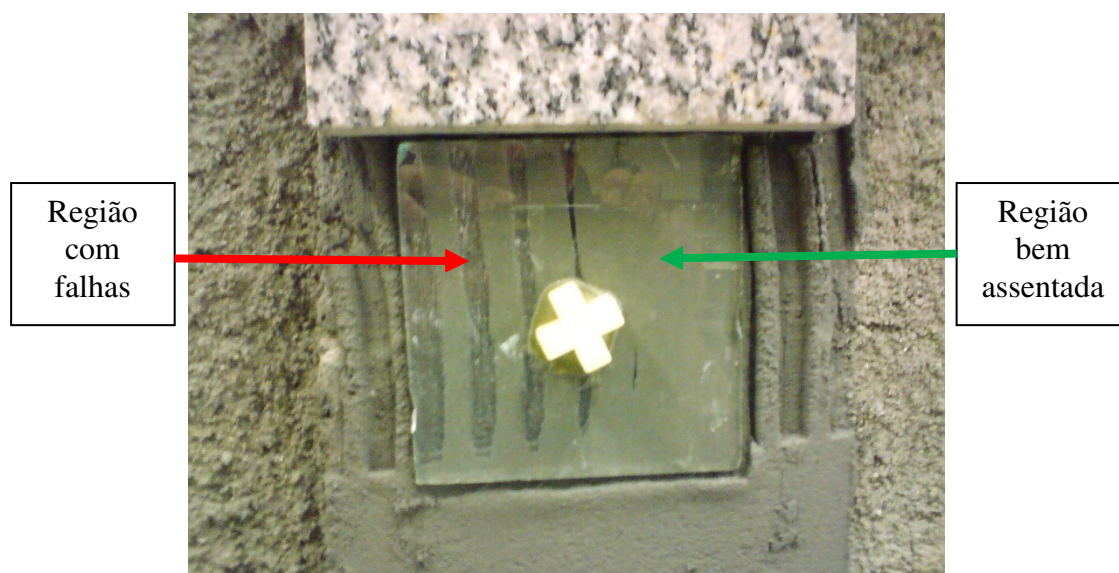
### **c – Etapa de execução**

O assentamento das placas de rocha propriamente dito também deve ser objeto de uma série de cuidados, pois falhas nesta etapa muito provavelmente conduzirão ao surgimento de patologias. Sugerem-se as recomendações de Carvalho Júnior (1999):

- Deve-se respeitar a espessura recomendada pelo fabricante da argamassa que estiver sendo usada. Neste sentido, deve-se controlar o desgaste dos dentes da desempenadeira, pois a quantidade de argamassa colante que permanece após o frisamento é função da sua dimensão.
- O assentamento do revestimento com a utilização de argamassa colante exige que as placas não estejam molhadas para que não ocorra prejuízo de aderência, a não ser que haja recomendações contrárias do fabricante da argamassa. Caso as placas estejam sujas de poeira ou partículas soltas, estas deverão ser removidas com a utilização de um pano seco. Em situações em que se faça necessário a molhagem das placas para a sua limpeza, estas não deverão ser assentadas antes de sua completa secagem.
- A placa de rocha ornamental limpa e seca será aplicada sobre os cordões de argamassa colante ligeiramente fora de posição, sendo, em seguida, pressionada e arrastada até a sua posição final, de modo a romper os filetes da argamassa. Atingida a posição final, a placa deverá ser suficientemente percutida com os dedos ou com um martelo de borracha, para não danificar sua face polida ou provocar a quebra da mesma. Uma percussão adequada é fundamental, pois aumenta a área de contato da argamassa com a placa, aumentando, assim, a sua resistência ao arrancamento. A percussão deverá ser feita até o extravasamento da argamassa colante pelas laterais da placa.
- O preparo e a utilização da argamassa colante demandam alguns cuidados como relatados em Votorantim Cimentos (2009). As argamassas colantes requerem um tempo de espera mínimo a partir da mistura do produto com água (geralmente, da ordem de 15 minutos), sendo fundamental a observação do tempo em aberto, que corresponde ao intervalo de tempo em que a argamassa colante pode ficar estendida sobre o emboço sem que haja perda de seu poder adesivo. A verificação das seguintes situações indica tempo em aberto excedido: i) observação de película esbranquiçada brilhante na superfície da argamassa; ii) toque da argamassa colante com as pontas dos dedos e não ocorrência de sujeira



nos mesmos e iii) arrancamento de uma placa recém-assentada e a não verificação de grande impregnação da área do tardo por argamassa colante. É importante também que após sua mistura a argamassa seja totalmente utilizada num período inferior a 2 horas e 30 minutos. No assentamento de peças com dimensões superiores a 20 x 20 cm recomenda-se a aplicação da argamassa também em seu tardo (além da já aplicada no emboço com a utilização da desempenadeira denteada metálica). O arraste da placa proporcionando o rompimento dos cordões da argamassa colante e a posterior percussão eficiente da peça garantem maior estabilidade do assentamento, uma vez que aumenta a área colada, conforme Figura 71.



**Figura 71-Placa de vidro colocada sobre camada de argamassa colante para evidenciar diferentes áreas coladas. A região com falhas apresenta sulcos que impedem o contato perfeito entre argamassa e placa. Observar contraste com a região bem assentada onde não se observam os vazios.**

- Uma etapa que às vezes não recebe a atenção devida e fica negligenciada, é a de rejuntamento. Deve ser utilizado material industrializado cuja finalidade é preencher as juntas de assentamento entre placas e dar acabamento ao sistema de revestimento. As principais características requeridas são: Baixa permeabilidade; Estabilidade de cor; Capacidade de absorver deformações; Limpabilidade.

- Após o assentamento, recomenda-se a limpeza da placa num prazo inferior a 1 hora que deverá ser feita com esponja de espuma de poliuretano limpa e úmida, seguida de secagem com estopa limpa. Preferencialmente, nunca devem ser utilizados ácidos para a limpeza, devido a possibilidade dos mesmos provocarem manchas indesejáveis nas placas (os ácidos, tais como o muriático, podem atacar quimicamente materiais como os mármore e em granitos podem provocar manchas avermelhadas devido a remoção de íons de ferro originados da biotita e da granada).

#### ***2.2.2.2. Elementos auxiliares de fixação***

Posto que em função de seu peso próprio, a placa poderá ter peso bastante considerável, surge a necessidade de um elemento auxiliar mecânico de ancoragem. Alguns elementos, tais como, parafusos comuns ou do tipo “castelo” conduzem a certo comprometimento da estética, como visto na Figura 72. Além disso, poderá haver perda de segurança, pois o parafuso sofrendo corrosão irá perder resistência.



**Figura 72-Comprometimento estético de fachada pela furação não alinhada, parafusos diferentes e oxidados além de manchamentos possivelmente oriundos de penetração de água pelos seus furos.**

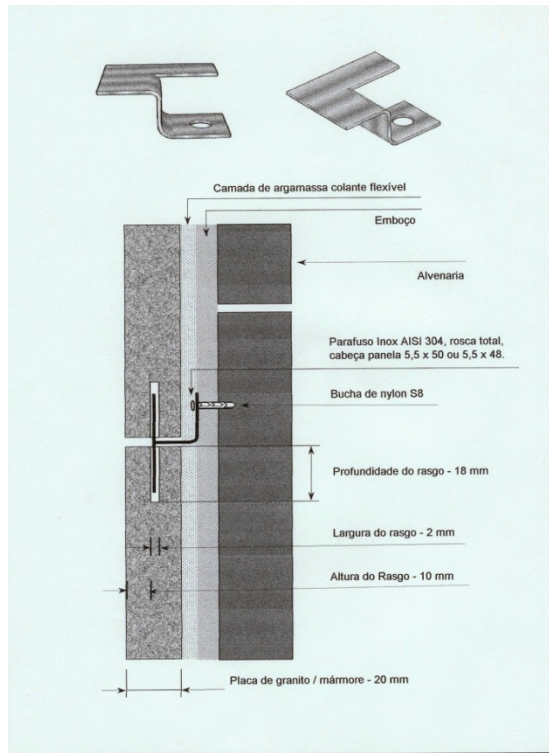
Para evitar este tipo de situação, existe um elemento auxiliar que fica oculto, pois ele é inserido nas laterais de placas adjacentes, não comprometendo a estética e funcionando de forma eficiente.

As placas de rocha deverão ser previamente preparadas para receber o elemento auxiliar, bastando para tal que seja feito um rasgo lateral na placa o suficiente para acomodar a aba lateral, utilizando-se uma serra corta-mármore. A partir da colocação das placas, os elementos auxiliares são fixados à base através de buchas plásticas e parafusos galvanizados e espaçados convenientemente, o que confere à fachada:

- Alta resistência à tração, corrosão e cisalhamento;
- Manutenção da aparência original do revestimento, proporcionando um perfeito acabamento;
- Superfície lisa, sem parafusos ou porcas aparentes.

Além disto, não gera as trincas ou micro fissuras causadas pela perfuração nas pedras e não causa infiltrações, uma vez que os parafusos de fixação são embutidos atrás das pedras com a própria argamassa.

Tal elemento, patenteado como G-Fix, é detalhado na Figura 73.



**Figura 73-Detalhe do auxiliar GFix**

Fonte: GFix (2008)

Assim, verifica-se a importância inequívoca de três etapas no desenvolvimento específico do projeto de revestimento das fachadas: projeto executivo, especificação de materiais e execução. Evidentemente, ao projetista caberão as duas primeiras etapas.

Entretanto, ele poderá contribuir significativamente para a etapa de execução gerando o chamado projeto para produção, que deve apontar os detalhes executivos para uso no âmbito das atividades de produção.

## 2.3. Revestimento de fachada entendido como “sistema”

A década de 1940 marcou a transição para a era dos sistemas, que pode ser entendido como um conjunto de elementos interconectados, de modo a formar um todo organizado. O grande contraste com o modelo cartesiano é uma mudança de direção de observação. Não se nega a existências das partes, mas a preocupação é com o sistema maior do qual o particular objeto ou fenômeno faz parte. Assim, não faz sentido analisarem-se os elementos componentes separadamente na expectativa de ter uma idéia do sistema de fachada como um todo.

### *2.3.1. O conceito de sistema aplicado ao conjunto rocha+argamassa*

Genericamente, as propriedades dos elementos que formam um sistema qualquer, podem ser assim relacionadas:

- i. As propriedades ou o comportamento de cada elemento tem algum efeito nas propriedades ou no comportamento do conjunto.
- ii. Nenhuma parte tem um efeito independente sobre o todo e cada parte afeta o funcionamento de pelo menos mais uma parte.
- iii. Qualquer subgrupo de elementos tem um efeito sobre o todo, que é afetado pelo menos por outro subgrupo. Assim, as partes de um sistema não podem ser agrupadas em subgrupos independentes.

Como consequência imediata, tem-se que um sistema é mais que a soma de suas partes, sendo que estruturalmente pode-se falar em partes de um sistema, mas funcionalmente o sistema forma um todo indivisível.

Ao se considerar o funcionamento das partes tendo em vista seus impactos no todo, verifica-se que o entrosamento delas é tão importante quanto o funcionamento de cada uma. Além disso, o funcionamento deste sistema depende de seu relacionamento e/ou influências do ambiente (considerado como um sistema maior).

Então, as camadas que compõem o sistema de fachada aderente são: substrato, chapisco, emboço, argamassa colante, placa de rocha e rejunte. Não se pode esquecer das juntas, que também fazem parte do sistema e podem ser de quatro tipos: assentamento, movimentação, dessolidarização e estrutural.

Apesar das rochas ornamentais serem duráveis, se não especificadas e instaladas de forma correta e com os cuidados requeridos, várias patologias poderão se manifestar, diminuindo a vida útil do empreendimento. Vale ressaltar que um dos objetivos a serem alcançados é a durabilidade que segundo Sabattini (1981), é “a capacidade de um produto manter seu desempenho acima de níveis aceitáveis pré-estabelecidos”. Uma etapa que é requerida é a manutenção, que compreende todas as atividades que se realizam nos componentes, elementos e sistemas com a finalidade de manter o desempenho funcional ou de suas partes dentro dos níveis aceitáveis.

### *2.3.2. Alteração das rochas*

As rochas, enquanto elementos de construção, foram geradas, grosso modo, há milhões de anos em ambientes completamente distintos daqueles onde hoje são extraídas ou estão aplicadas. Por isso é importante saber como irão se comportar, aqui e agora. E mais importante ainda é poder prever seu futuro durante a vida útil da obra. Tais conhecimentos deverão ser empregados justamente na etapa de especificações e projeto.

São muito diferentes as condições dos ambientes onde hoje se exploram as rochas em relação àquelas em que se formaram, no que respeita às condições termodinâmicas (pressão e temperatura) ambientes (LÓPEZ JIMENO, 1996) por isso esse desequilíbrio

termodinâmico em relação às condições de formação versus as condições de uso às quais estão sujeitas significa alteração. Nas palavras de Aires-Barros (1991), “Interessa considerar antes a vida da rocha que usamos na nossa obra de construção à escala da vida humana, à escala da vida da própria obra de arquitetura ou de engenharia – são várias décadas, alguns séculos”. Daí decorrente, tem-se o conceito de alterabilidade de uma rocha, que é sua alteração medida em função de um tempo humano. É uma taxa de decaimento durante a vida atribuível à obra, ou vida útil. Para bem compreender a dinâmica dos fenômenos de alteração e as alterabilidades previsíveis, há que averiguar: primeiro, a natureza destes fenômenos ocorrentes na pedreira onde a rocha é explorada; depois, nas oficinas de transformação onde sofre operações de desdobramento, corte e polimento; e, por fim, o que ocorre na aplicação da rocha na obra e seu consequente uso.

Antes de tudo, haverá que ter presente que qualquer rocha é um conjunto policristalino de um ou vários minerais. O interesse em conhecer as texturas das rochas é relevante porque esta se repercute em suas propriedades geomecânicas, dentre elas a porosidade e a permeabilidade.

O espaço (ou volume total) ocupado por uma dada rocha é constituído por macro, micro e nano partículas, por vazios (poros, fissuras, fraturas) e por uma fase fluida, contínua e móvel, gasosa e/ou líquida, que preenche aqueles vazios. Dentro desta intrincada rede de poros, a água pode atuar por ela própria ou como agente transportador de outros componentes ativos. Ela pode ascender à superfície de um edifício por capilaridade ou é uma água corrente que escorre pelas paredes ou é uma água batente quando proveniente da precipitação atmosférica. Ela não permanece e não se fixa às paredes. Pode arrastar produtos eventualmente produzidos durante o seu impacto. Trata-se de uma água livre.

Por outro lado, a água pode introduzir-se no interior da pedra beneficiando-se da sua porosidade e permeabilidade. Esta água que alcança o íntimo das rochas é uma água ligada ou associada. As águas pluviais, bem como a água que ascende por capilaridade nas rochas, estão carregadas de compostos químicos presentes nas atmosferas mais ou menos contaminadas, existentes no solo ou no subsolo. Podem ser produtos que dão origem a uma cadeia de reações químicas que podem conduzir à degradação da rocha.

Então a alteração dos revestimentos pétreos está diretamente ligada à interação dos agentes ambientais com a rocha utilizada. Por exemplo, rochas carbonáticas como os mármore e calcários são atacadas por ácidos e resistem pouco à abrasão. Por outro lado, os granitos são rochas bem mais resistentes aos agentes agressores, tanto físicos quanto químicos.

Aires-Barros (2001) define alterabilidade de rochas como um conceito dinâmico, que se refere à aptidão de uma rocha em se alterar, em função do tempo. Esse tempo, considerado na alteração intempérica como geológico, na alterabilidade é considerado um tempo humano, ou seja, os fenômenos ocorrem concomitantemente ao uso, à escala do homem e das suas obras de engenharia.

Desta forma, a alterabilidade  $M = f(i, e, t)$ , ou seja, Alterabilidade (M) é função de:

i = fatores intrínsecos, dependentes do tipo de rocha (natureza do material, grau de fissuramento ou porosidade, ou seja, da superfície exposta a alteração); e = fatores extrínsecos, função do meio em que se processa a alteração (temperatura, pH, quantidade de água, forças bióticas); t = tempo.

O estudo da alterabilidade, tomando este conceito na sua característica fundamental que é a dinâmica temporal, serve-se de técnicas e princípios do estudo da alteração (processo estático, na medida em que avalia um dado estado e não a sua evolução no tempo), adaptados à introdução da variável tempo. Para a avaliação da alterabilidade, podem ser utilizadas várias técnicas, que permitem medir a variação, no tempo, de uma grandeza intrínseca ou com ela intimamente correlacionada por meio de métodos indiretos, comparativos e experimentais (AIRES-BARROS, 2001).

A durabilidade também está condicionada a certas propriedades físicas, entre as quais a porosidade e a configuração do sistema poroso, a superfície específica e as propriedades hídricas, relacionadas com o movimento dos fluidos no material rochoso (AIRES-BARROS, *op.cit.*). Do ponto de vista da alteração, o sistema poroso é considerado, como a principal característica física das rochas, pois é determinante nas demais propriedades físicas e mecânicas.

A alteração apresentada pelas rochas estará condicionada às propriedades físicas e químicas inerentes à sua mineralogia e alterações preexistentes; os defeitos gerados no processo de beneficiamento (corte e polimento); e, à interação destes com as intempéries e as condições de fixação, manutenção e uso.

Os processos de alteração ocorrentes nas rochas ornamentais incidem diretamente na durabilidade das mesmas. Dessa forma, a *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2001), define durabilidade como a medida da capacidade da rocha ornamental de suportar e manter as características essenciais e distintivas de estabilidade, resistência à degradação e à aparência. A durabilidade é baseada no período de tempo em que a rocha pode manter suas características intactas em uso. Este tempo dependerá do meio ambiente e do uso da rocha em questão (p.ex., em exteriores ou interiores).

Aires-Barros (1991) aponta três tipos principais de degradação de rochas ornamentais e de revestimento:

- químico: considera as reações químicas que se processam na superfície e nas discontinuidades das rochas, com a formação de minerais secundários;
- físico: resulta de fenômenos de expansão e/ou retração diferencial dos minerais, provocados por variações térmicas, abalos físicos de várias origens, e ainda por expansões decorrentes da geração de minerais secundários (hidratação de minerais argilosos expansivos, ação da tensão superficial da água no decurso de processos naturais de saturação e secagem e ação das forças de cristalização de sais);
- biológico: provocado pelo crescimento de microorganismos sobre as rochas.

Além dessas, podem ser atribuídas à deterioração das edificações e de seus materiais, causas relacionadas a fatores humanos, incluindo a poluição ambiental, vibrações, vandalismo e outros.

As causas da deterioração estão ligadas tanto aos fatores ambientais como arquitetônicos, que compreendem o posicionamento e o modo de colocação da rocha, o



projeto e as técnicas inadequadas de manutenção, além de propriedades intrínsecas das rochas.

O tipo litológico (mineralogia, alteração, textura e estrutura), a presença de fraturas e/ou fissuras e o clima (temperatura e intensidade e qualidade de chuvas, entre outros) podem ser considerados os fatores que mais influenciam a susceptibilidade e a taxa do intemperismo físico e químico em rochas para revestimento. Adicionalmente, há a ação dos poluentes atmosféricos, nos ambientes urbanos, e o emprego de processos inadequados para o assentamento e manutenção de rochas. Modificações físicas das rochas para revestimento, atribuídas às técnicas empregadas na extração e de beneficiamento, podem levar ao aumento do fissuramento, porosidade e outros, que irão contribuir para a acentuação dos efeitos deletérios dos agentes intempéricos ou da ação antrópica (manutenção e limpeza inadequadas, entre outras).

Apesar dos processos intempéricos serem divididos em dois tipos - físico e químico - na realidade, ocorrem concomitantemente e sinergicamente, dependendo das condições atmosféricas.

O intemperismo físico é dado principalmente pelas mudanças de temperatura (p.ex. dilatação térmica diferencial dos minerais das rochas), por tensões mecânicas (descompressão e deformações tectônicas), pelas pressões internas causadas por agentes degradadores especiais (congelamento de água em poros ou fissuras, cristalização de sais na superfície da rocha e expansão de minerais por absorção de água) e agentes externos (antrópicos, animais e plantas). No intemperismo físico ocorre a desintegração física das rochas, que pode se dar através:

- **Expansão térmica:** a variação do coeficiente de dilatação dos diferentes minerais que compõem a rocha faz com que estes recebam esforços intermitentes, ocorrendo a fadiga desses minerais, que serão facilmente desagregados e reduzidos a pequenos fragmentos. Os granitos, por possuírem composição petrográfica variada, apresentam maior probabilidade de problemas relacionados a esse tipo de processo.
- **Crescimento de cristais:** o congelamento da água inclusa nas fraturas das rochas exerce uma força expansiva que gera outras fraturas, devido ao fato da água

expandir seu volume ao se congelar. A atividade é mais significativa quanto maior for o número de vazios preenchidos pela água.

- **Salicificação:** ocorre quando a água intercrystalina contém sais de regiões litorâneas, que podem se cristalizar devido à variação da umidade ambiental. A cristalização provoca aumento da tensão interna da rocha, causando um efeito similar ao da ação do gelo. Os problemas gerados nesse processo serão maiores quanto maior for a quantidade de vazios preenchidos pela água.

- **Reações a raios ultravioleta:** favorecem o processo de alteração da cor, em geral, de branco para amarelo, atingindo principalmente os mármore.

Já o intemperismo químico é caracterizado pela reação química entre a rocha e diversas soluções aquosas que saturam a rocha, podendo ocorrer reações que resultarão na remoção dos materiais solúveis (p.ex. calcita), reações entre minerais e soluções, e ainda reações entre os produtos do intemperismo e demais minerais. O intemperismo químico é auxiliado pela quebra mecânica que leva ao rápido aumento das superfícies minerais, promovendo o pronto acesso de oxigênio e umidade e a aceleração do processo, cuja taxa depende predominantemente do clima. Como a umidade é fator preponderante, em locais em que a umidade relativa do ar é alta e também existe presença de estação chuvosa, os mecanismos e a velocidade das alterações são favorecidos pelo trânsito da água nos contatos dos grãos. As principais variáveis que controlam a natureza e taxa dos processos intempéricos são: a composição e a estrutura da rocha, o clima e o tempo de atuação do processo intempérico.

Dito isso, as principais causas da degradação dos materiais rochosos (FRASCÁ, 2003) são:

- Clima (no caso do Brasil, tropical com intensas variações de umidade e temperatura);
- Agentes de limpeza, que atuam através de diversas substâncias químicas cujos componentes podem causar modificações, especialmente no aspecto estético das rochas;
- Diversos poluentes dispersos na atmosfera ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  e  $\text{CO}_2$ );

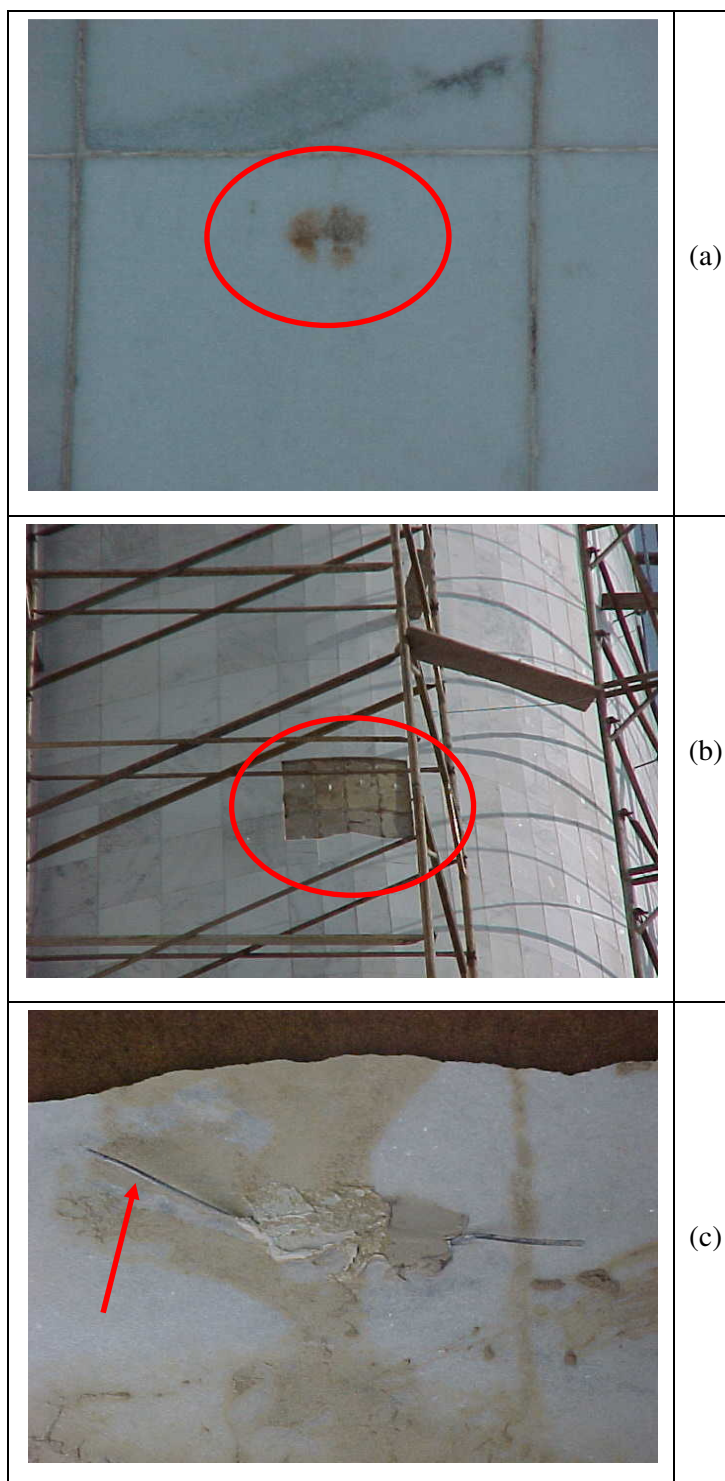
- Adoção de procedimentos de assentamento inadequados para materiais rochosos;
- Cristalização de sais.

Dessa forma, o intemperismo pode ser considerado como um ajuste ou reajuste de minerais e rochas às condições reinantes na superfície terrestre. A presença de oxigênio leva à oxidação, e a de umidade à hidratação ou dissolução. O reajuste pode ocasionar a expansão do retículo cristalino. Dependendo do grau de empacotamento cristalino, os processos de reajustamento podem ser vagarosos como os processos geológicos, ou rápidos o suficiente para impor deterioração em menos de uma geração.

Outra fonte de compostos é a própria argamassa, sendo vários os aglomerantes que podem ser usados. Podem, dentre outros, a cal, o cimento, o gesso, cinzas pozolânicas, polímeros, etc. Quando se aplica um destes materiais, ele está sempre associado à água que assegura a reação de hidratação e permite contato com a pedra, sendo a interface o local onde se dão reações físicas e químicas. Indispensável na preparação das argamassas, os agregados, normalmente as areias naturais, podem trazer consigo impurezas tais como: argila, pirita, mica, compostos ferruginosos e matéria orgânica.

Outro cuidado a ter, diz respeito ao uso de materiais instáveis com tendência a evoluir com o tempo, tornando-se deletérios. O exemplo mais comum é o ferro que, por oxidação, aumenta consideravelmente de volume podendo manchar e/ou fissurar a pedra.

Uma situação muito comum antes do advento das argamassas colantes era a utilização de um grampo de arame colado ao tardo da placa com finalidade de auxiliar a ancoragem. A técnica consiste em executar um rasgo no tardo da placa e colar um arame. Convém lembrar que o adesivo utilizado nesta ligação pode vir a falhar se não apresentar desempenho compatível com as solicitações atuantes. Outro problema que pode ocorrer é a oxidação do arame com conseqüente manchamento na frente da placa, conforme visto na seqüência da Figura 74.



**Figura 74-Problemas com a utilização de grampo de arame: (a) manchamento das placas por oxidação dos arames; (b) destacamento de placas por falhas na colagem do arame à placa de rocha; (c) vista do tardo da placa mostrando o arame.**

Observando-se os detalhes exibidos na Figura 74: (a) Vista das placas de mármore que destacaram-se em função de ancoragem deficiente; (b) Algumas placas mostram claramente manchamentos em função de corrosão do arame, neste caso com duas conseqüências graves: manchamento da placa e diminuição da ancoragem por perda de

ligação com a argamassa de assentamento; (c) Tardoz da placa mostrando o grampo de arame que foi colado à placa, geralmente utilizando um adesivo misturado na própria obra, ou seja, sem uniformidade na sua produção. Naturalmente que a introdução das argamassas colantes veio substituir esta prática, pois neste caso a segurança supostamente oferecida pelos grampos de arame é agora propiciada pelos polímeros presentes nas suas formulações.

Para se ter a noção de “vida” e “morte” das rochas, é bem mais palpável olhar para os monumentos ou para os centros históricos de cidades mais antigas, sejam elas Madrid, Roma, Paris, Lisboa, ou mesmo Ouro Preto, Recife, Salvador. Neste sentido tem particular importância o conhecimento da alterabilidade (ou durabilidade) das rochas usadas ou a usar.

Como já ressaltado, as patologias das rochas podem ser entendidas como sendo defeitos visíveis e/ou invisíveis que podem acometer o empreendimento, conforme pode ser encontrado em Ripper (1984), inclusive originadas durante o processo de desenvolvimento dos projetos, onde pode ocorrer do projetista deixar de observar alguns requisitos básicos, tais como: parâmetros relativos ao funcionamento e qualidade global da obra; as interações entre as diversas partes da construção; e, construtibilidade.

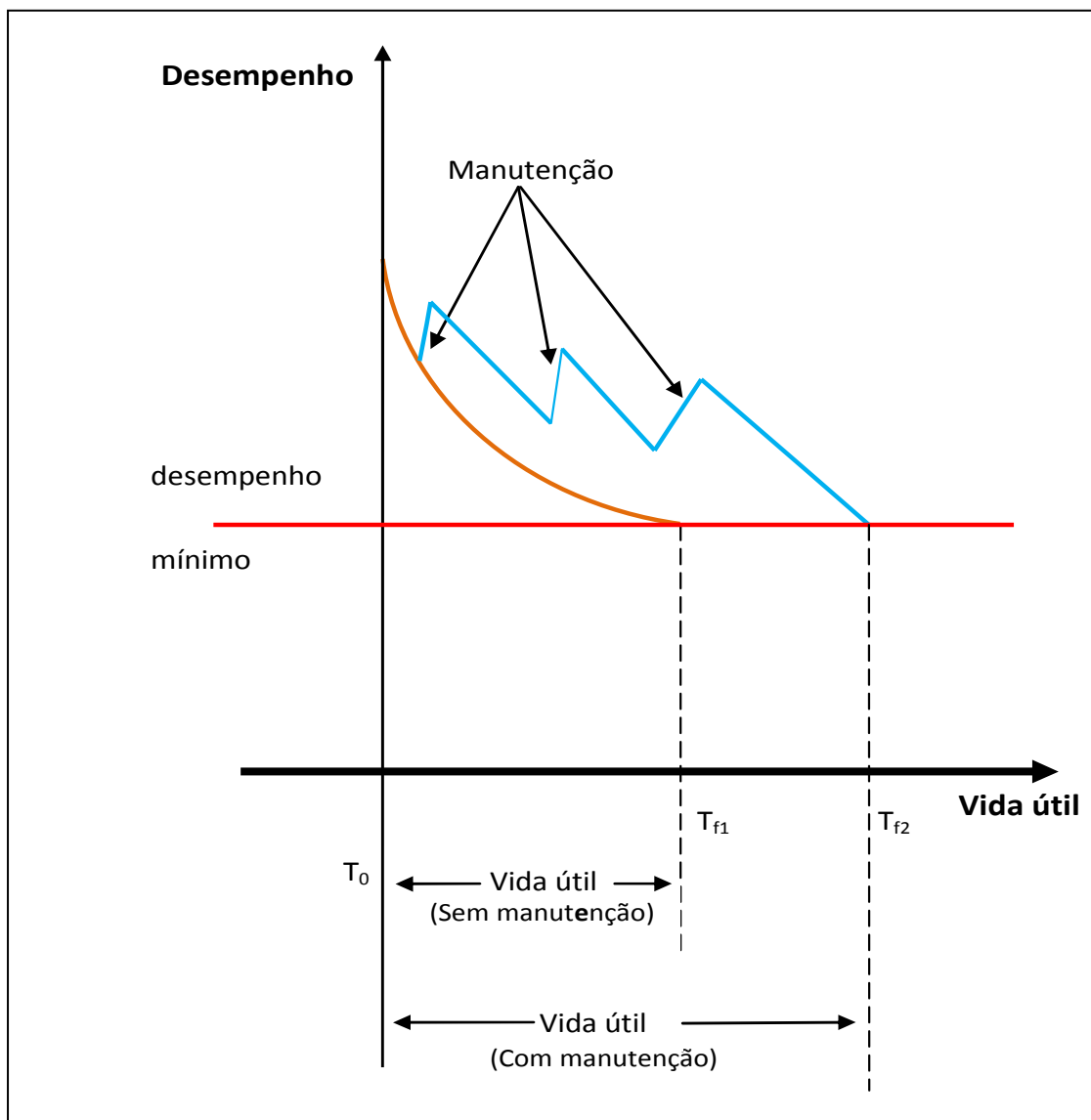
Assim, é freqüente o aparecimento das chamadas “patologias congênitas”, isto é, patologias construtivas geradas ainda na fase de projeto, com desobediência às normas de elaboração de projetos de edificações.

Entretanto, ocorrem patologias também após o término do empreendimento, posto que estará exposto às intempéries ao longo de todo seu ciclo de vida.

Neste sentido é importante que o uso das rochas ornamentais sempre deva levar em conta os aspectos intrínsecos (características dos materiais), extrínsecos (que inclui os sistemas de fixação), as técnicas de instalação e as condições de uso e exposição.

### 2.3.3. Manutenção

A Figura 75 mostra que a manutenção de cada um destes subsistemas está associada a uma série de atividades programadas que devem prolongar sua vida útil a um custo compensador.



**Figura 75-Diagrama da vida útil de uma edificação.**

Neste sentido, Frascá (2007) aponta que para a conservação das obras existe uma enorme oferta de produtos químicos, tais como hidrofugantes, impermeabilizantes, consolidantes, dentre outros que se propõem a conservar/preservar as peças do intemperismo e mesmo da ação antrópica. É o caso da poluição ambiental, comum aos grandes centros urbanos, que exige atenção na conservação das fachadas, especialmente

na prevenção da formação de crostas e outras sujidades, bem como inspeção periódica das chapas e revisão dos selantes das diversas juntas.

Como já evidenciado, todo e qualquer produto tem uma vida útil. Logo, não seria diferente com as fachadas. As inspeções periódicas são importantes para se manter a integridade do revestimento e identificar possíveis defeitos que podem ser consertados logo em seu aparecimento, evitando-se gastos com reparos de maior monta.

No caso de uma manutenção, uma equipe pode, ao mesmo tempo em que lava a fachada, ir inspecionando possíveis pontos com problemas, tais como falhas nos selantes. Tal serviço não é dificultoso e pode ser realizado por pequena equipe como mostrado na Figura 76.

Para limpeza e conservação deve-se limpar com água e detergente (de preferência neutro) e jamais remover sujeiras com objetos cortantes ou pontiagudos nem utilizar produtos quimicamente agressivos (ácidos, água sanitária, soda cáustica, amoníaco, cloro, querosene, etc.) ou abrasivos (sapólio), pois podem danificar permanentemente as rochas. É fundamental evitar o contato das rochas com óleos, graxas, tintas e materiais ferruginosos oxidáveis (pregos, palhas de aço, escovas metálicas, recipientes, suportes e peças de mobiliário elaboradas com ferro, etc.), bem como com pós, fragmentos de madeira e outros materiais decomponíveis e pigmentantes. Qualquer substância potencialmente manchante, derramada sobre o revestimento, deve ser limpa com a maior rapidez possível.

Os revestimentos também necessitam de proteção contra o desgaste abrasivo e riscamento por metais, vidros e outros materiais de dureza elevada. Mesmo no caso dos granitos que têm maior resistência abrasiva que os mármore, os trabalhos de limpeza não devem ser efetuados com escovas de cerdas rígidas, palhas de aço e similares, pois tais utensílios podem riscar as superfícies polidas.



**Figura 76-Manutenção em fachada de mármore branco.**

Dentro deste contexto, a manutenção do revestimento de fachadas possui destacada importância, uma vez que este subsistema não apenas está exposto a vários agentes de degradação, mas também está intimamente relacionado com a estética e a proteção do edifício. Outro aspecto importante diz respeito à (des)valorização da edificação em função do estado de conservação da fachada: quanto melhor o estado de conservação, melhor a impressão que causa e conseqüentemente maior a valorização do imóvel.



## CAPÍTULO 3 – AS ARGAMASSAS

---

Denomina-se atualmente argamassa como sendo a mistura feita com pelo menos um aglomerante, agregado miúdo, água e aditivos/adições, se for o caso, sendo normalmente utilizada na confecção de alvenarias e no seu revestimento.

Genericamente como aglomerantes pode-se ter a cal, o cimento ou o gesso. O agregado miúdo mais comum é a areia, tanto a natural (obtida em dragagem dos rios e minas) quanto as artificiais (produzidas a partir de britagem de maciços rochosos).

As características da argamassa dependem precipuamente da proporção entre os materiais utilizados em sua confecção, ou seja, do *traço*. Santiago (2007), discorrendo sobre a utilização das argamassas, chama atenção que suas características dependem da sua utilização e nem sempre esta distinção é clara nos livros que foram pesquisados.

Ora, cada aplicação exige uma especificação adequada. Veja-se o caso, por exemplo, do uso de uma argamassa rica em cimento para assentamento de placas de rochas: apesar de parecer interessante o uso de um material bastante resistente, o alto teor de cimento aumenta o módulo de elasticidade da mistura, tornando-o inadequado ao uso em fachadas em que existe forte solicitação mecânica em função dos gradientes térmicos.

### 3.1. Aspectos históricos

Há milhares de anos que a arquitetura e a construção civil estão intimamente ligadas à aplicação de argamassas minerais. O reboco de cal é conhecido há mais de 8000 anos; a argamassa de gesso já era usada pelos babilônios há aproximadamente mais de 6000 anos. Até as argamassas hidráulicas à base de pozolana (cinzas vulcânicas pulverizadas) eram empregadas há mais de três milênios, sendo utilizadas em grande escala pelos fenícios, gregos e romanos resistindo ao tempo até os dias de hoje.

Alvarez (2005) dá conta que a fabricação da cal era familiar à maior parte dos povos da antiguidade: chineses, egípcios, etruscos, fenícios, gregos, incas e romanos. Produziam a cal gorda, utilizando-a como ligante na consolidação das alvenarias ou na elaboração

de rebocos pintados com cores naturais e destinados, na maior parte dos casos, à pintura de afrescos.

Conforme mostra Costa (2009), na colonização da América portuguesa, as rochas foram empregadas tanto como elemento estrutural quanto ornamental, porém especificamente em Minas Gerais, a maioria das construções nos anos setecentos foram executadas com adobes e diferentes tipos de taipa e de pau a pique, rebocadas e caiadas, como por exemplo mostrada na Figura 77.



**Figura 77-Exemplo de construção utilizando a técnica de pau a pique em Lobo Leite – MG.**

Já na Antiguidade e na Idade Média, eram misturados aos aglutinantes e agregados, minerais aditivos como sabões, resinas, proteínas e cinzas para aumento do desempenho técnico das argamassas produzidas. Com este expediente, produziam-se argamassas com mais plasticidade e, conseqüentemente, melhor adaptação ao uso como adjuvantes nas alvenarias.

As alvenarias do tipo cangicado, ou seja, com as pedras colocadas umas sobre as outras e arranjadas segundo os tamanhos, foram amplamente utilizadas, mas a possibilidade do uso de uma argamassa para solidarizar as pedras de diferentes tamanhos iniciou uma nova técnica construtiva, conforme exemplo mostrado na Figura 78.



**Figura 78-Alvenaria confeccionada com argamassa de barro para alvenaria em uma construção em Itatiaia-MG.**

Passado o século XVIII e, mesmo ao longo do XIX, estas técnicas mantiveram-se sem grandes modificações, sendo que a grande inovação seria o cimento Portland, no início dos anos 1900.

Até a década de 1950, as argamassas eram preparadas e aplicadas exclusivamente no canteiro de obras, enquanto que os aglutinantes minerais (principalmente o cimento) e os agregados (principalmente a areia de quartzo) eram transportados separadamente para o canteiro de obras. Depois, os agregados e os aglutinantes minerais eram misturados manualmente na proporção adequada e misturados com água para obtenção da argamassa pronta para a aplicação.

Conforme Wacker (?) nas décadas de 50 e 60 começou a surgir na indústria de construção civil, na Europa Ocidental, Estados Unidos e principalmente na Alemanha, uma crescente demanda por novos materiais e técnicas de construção. Tal demanda era justificada por vários fatores, como por exemplo, a falta de mão-de-obra especializada, a necessidade de períodos curtos de construção e assim a redução dos custos envolvidos, aumento de custos de mão-de-obra, a variedade crescente de materiais de construção desenvolvidos para aplicações específicas, como também o surgimento de novos materiais de construção e a exigência de um alto padrão de qualidade.

A técnica de preparo da argamassa no canteiro de obras não conseguia atender a todas essas exigências satisfatoriamente. Em consequência disso, o desenvolvimento da indústria moderna de construção civil e produtos químicos no ocidente passou a ser influenciado, a partir da década de 60, principalmente por duas tendências importantes que ainda hoje são observadas internacionalmente: (a) a substituição da argamassa preparada no canteiro de obras pela argamassa seca pré-fabricada e embalada, cuja aplicação, através de máquinas, vem aumentando gradualmente e, (b) a modificação das argamassas com aglutinantes poliméricos para melhoria da qualidade do produto e atendimento dos requisitos da indústria moderna de construção. Conseqüentemente, o chamado sistema de dois componentes (argamassa + dispersão líquida) foi gradativamente sendo substituído pelas argamassas poliméricas (pós redispersíveis) pré-misturadas e embaladas.

A maior parte das argamassas preparadas nos canteiros de obras tem o cimento como aglutinante mineral e a areia de quartzo como agregado, os quais são transportados separadamente para o canteiro de obras. A cada aplicação, o cimento e o agregado são misturados em uma proporção especial e misturados com água para obtenção da argamassa fresca. A qualidade de tais argamassas depende da qualidade das matérias primas, como também da proporção correta da mistura dos componentes utilizados, da homogeneidade da mistura, da consistência da argamassa fresca e da adição correta dos aditivos, que são utilizados em determinadas aplicações especiais e da forma como são misturadas. Sob essas circunstâncias e condições, não há garantias da qualidade e desempenho das argamassas preparadas segundo a técnica de mistura no canteiro de obras.

Ao contrário das argamassas preparadas no canteiro de obras, as argamassas industriais são produzidas em uma fábrica especializada através da mistura dos ingredientes necessários, como aglutinantes, agregados e, no caso de produtos especiais, também de aditivos químicos. Entre esses dois tipos de preparo de argamassa, de um lado a argamassa preparada no canteiro de obras e de outro como argamassa pronta pré-fabricada, existem grandes diferenças de manuseio e produtividade:

a) Utilização de argamassas preparadas no canteiro de obras – método totalmente manual: transporte separado do aglutinante mineral (cimento) e agregado (areia) para o

canteiro de obras; mistura manual do aglutinante mineral e agregado no canteiro de obras; aplicação manual da argamassa preparada no canteiro de obras.

b) Utilização de argamassas pré-fabricadas com mistura e aplicação manual: argamassa misturada e embalada na fábrica; entrega da argamassa pré-fabricada em sacos; preparo manual da argamassa pronta com água no canteiro de obras, aplicação manual da argamassa fresca.

c) Utilização de argamassas pré-fabricadas com mistura automatizada e aplicação mecânica: argamassa misturada na fábrica; entrega da argamassa pré-fabricada em silos; preparo mecânico da argamassa pronta com água; aplicação mecânica da argamassa fresca no canteiro de obras.

A utilização de argamassas secas pré-fabricadas e embaladas não apenas aumenta significativamente o desempenho da produção e a produtividade no canteiro de obras, como também garante ainda um alto nível de segurança na aplicação e precisão da mistura. As argamassas industriais asseguram uma maior exatidão na mistura de aglutinantes, agregados e aditivos, garantindo o alto padrão de qualidade constante da argamassa. Além disso, com as argamassas pré-fabricadas, pode-se resolver problemas de forma individual para determinados tipos de especificações de materiais e construção.

## 3.2. Materiais constituintes

Por se tratar de uma mistura, variações no proporcionamento dos materiais conduzem a variações nas características das argamassas. Lembrando que as estruturas são deformáveis, é fundamental estabelecer o traço correto das argamassas em função da aplicação. Dentre as várias características, uma de fundamental importância é o módulo de elasticidade é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez (ou capacidade de se deformar) de um material sólido. Gomes (1995) apresenta uma interessante correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à tração na flexão das argamassas, apontando para a propensão à fissuração das mesmas em função dos valores obtidos de propagação de ondas ultrasônicas.

### 3.2.1 Principais aglomerantes

Um aglomerante ou ligante é um material que tem a finalidade de solidarizar outros materiais (agregados), influenciando na resistência do material resultante.

São classificados em hidráulicos quando endurecem sob ação da água (cimento Portland e cal) e aéreos em contato com ar, mais especificamente com o CO<sub>2</sub> (gesso).

Para Santiago (2007), “atualmente o uso da cal diminuiu bastante, principalmente por causa da grande difusão do uso do cimento Portland, porém até meados do século XIX, este era o aglomerante por excelência utilizado nas construções, tanto para assentamento, quanto para revestimento”.

De fato, como visto em Alvarez (2005) após o desenvolvimento e produção em escala industrial (em meados da metade do século XIX), o mercado de cal hidráulica iria confrontar-se com o mercado do cimento Portland e nos anos seguintes o resultado desse embate pendeu de uma forma impressionante para os cimentícios, dadas as características deste produto e devido ao incremento de vendas também do concreto. Assim, passou a ser corrente a utilização de argamassas constituídas a partir de um único ligante hidráulico: o Cimento Portland. Esta alteração respondeu, muito positivamente, ao encurtamento de prazos em obra, posto que as argamassas com cal exigem um tempo maior de cura.

A palavra cimento é originada do latim *caementum*, que designava na velha Roma espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. A origem do cimento remonta há cerca de 4.500 anos. Os imponentes monumentos do Egito antigo já utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. As grandes obras gregas e romanas, como o Panteão e o Coliseu, foram construídas com o uso de solos de origem vulcânica da ilha grega de Santorino ou das proximidades da cidade italiana de Pozzuoli, que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água.

O grande passo no desenvolvimento do cimento foi dado em 1756 pelo inglês John Smeaton, que conseguiu obter um produto de alta resistência por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1818, o francês Vicat obteve resultados semelhantes aos

de Smeaton , pela mistura de componentes argilosos e calcários. Ele é considerado o inventor do cimento artificial. Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Percebeu que obtinha uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland , que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland.

Atualmente e segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002), “o cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água”. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento portland não se decompõe mais. O cimento portland é composto de clínquer e adições. O clínquer é um material granulado, resultante da calcinação de uma mistura de rocha calcária britada e moída com argila moída, submetida a temperaturas da ordem de 1450°C. Na saída do forno, o clínquer ainda incandescente, é bruscamente resfriado para posteriormente ser finamente moído, transformando-se em pó.

Para Mehta & Monteiro (2008) “o cimento é um material seco, finamente pulverizado, que por si só não é um aglomerante, mas desenvolve propriedade aglomerante como resultado da hidratação (isto é, das reações químicas entre os minerais do cimento e água)”. No caso do cimento Portland, que consiste essencialmente de silicatos reativos de cálcio, estes são hidratados durante a mistura com água e são responsáveis por sua característica adesiva.

As adições são acrescentadas ao clínquer na fase da moagem. Adições comumente utilizadas são: o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos. De acordo com Yazigi (2002), os constituintes fundamentais do cimento Portland são: a cal (CaO), a sílica (SiO<sub>2</sub>), a alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), certa proporção de magnésia (MgO) e uma pequena proporção de anidrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto. Cal, sílica, alumina e óxido de ferro são os componentes essenciais do cimento Portland, e constituem, geralmente, 95% a 96% do total na análise química em óxidos. Segundo

Ribeiro et al. (2002), os principais compostos químicos do clínquer e as propriedades deles decorrentes são mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1-Principais compostos do clínquer**

<b>Compostos</b>	<b>Fórmula química</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Propriedades específicas decorrentes dos compostos do clínquer</b>
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 50 – 65%	$\text{C}_3\text{S}$	. Endurecimento rápido . Alto calor de hidratação . Alta resistência inicial
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 15 – 25%	$\text{C}_2\text{S}$	. Endurecimento lento . Baixo calor de hidratação . Baixa resistência inicial
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 6 – 10%	$\text{C}_3\text{A}$	. Pega muito rápida controlada com a adição de gesso . Suscetível ao ataque de sulfatos . Alto calor de hidratação, alta retração . Baixa resistência final
Ferro aluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 3 – 8%	$\text{C}_4\text{AF}$	. Endurecimento lento, resistente a meios sulfatados, não tem contribuição para resistência, cor escura
Cal livre	$\text{CaO}$ 0,5 – 1,5%	$\text{C}$	. Aceitável somente em pequenas quantidades; em maiores quantidades, causa aumento de volume e fissuras

Fonte: Ribeiro (2002)

Ainda segundo Ribeiro *op.cit.*, os principais tipos de cimento Portland, normalizados pela ABNT, são:

- a) Cimento Portland Comum – CP I
- b) Cimento Portland Composto – CP II (com adições de escória de alto-forno, pozolana e filler)



- c) Cimento Portland de Alto-Forno – CP III (com adição de escória de alto-forno, apresentando baixo calor de hidratação)
- d) Cimento Portland Pozolânico – CP IV (com adição de pozolana, apresentando baixo calor de hidratação)
- e) Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – CP V (com maiores proporções de silicato tricálcico,  $C_3S$ , que lhe confere alta resistência inicial e alto calor de hidratação)

A Tabela 2 apresenta a classificação dos cimentos segundo suas composições.

**Tabela 2-Tipos de cimento Portland em função da composição**

Tipo de Cimento Portland	Sigla	Composição (% de massa)			
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)
Comum	CP I	100	0	0	0
	CP I - S	95 – 99		1 - 5	
Composto	CP II – E	56 – 94	6 – 34	-	0 – 10
	CP II – Z	76 – 94	-	6 – 14	0 – 10
	CP II – F	90 – 94	-	-	6 – 10
Alto-Forno	CP III	25 – 65	35 – 70	-	0 – 5
Pozolânico	CP IV	45 – 85	-	15 – 50	0 – 5
Alta Resistência Inicial	CP V ARI	95 – 100	0	0	0 – 5

Fonte: Ribeiro (2002)

Já a Tabela 3 mostra as exigências físicas e mecânicas conforme a ABCP (2002).

**Tabela 3-Exigências físicas e mecânicas para o cimento Portland**

Tipo de cimento Portland	Classe	Finura		Tempos de pega		Expansibilidade		Resistência à compressão				
		Resíduo na peneira 0,075 mm (%)	Área específica (m <sup>2</sup> /kg)	Início (h)	Fim (h)	A frio (mm)	A quente (mm)	1 dia (MPa)	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)	91 dias (MPa)
CP I	25	≤ 12,0	≥ 240						≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	
	32		≥ 260	≥ 1	≤ 10 <sup>(1)</sup>	≤ 5 <sup>(1)</sup>	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	-
CP I-S	40	≤ 10,0	≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP II-E	25	≤ 12,0	≥ 240						≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	
CP II-Z	32		≥ 260	≥ 1	≤ 10 <sup>(1)</sup>	≤ 5 <sup>(1)</sup>	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	-
CP II-F	40	≤ 10,0	≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP III <sup>(2)</sup>	25								≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 32,0 <sup>(1)</sup>
	32	≤ 8,0	-	≥ 1	≤ 12 <sup>(1)</sup>	≤ 5 <sup>(1)</sup>	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≥ 40,0 <sup>(1)</sup>
	40								≥ 12,0	≥ 23,0	≥ 40,0	≥ 48,0 <sup>(1)</sup>
CP IV <sup>(2)</sup>	25								≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 32,0 <sup>(1)</sup>
	32	≤ 8,0	-	≥ 1	≤ 12 <sup>(1)</sup>	≤ 5 <sup>(1)</sup>	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≥ 40,0 <sup>(1)</sup>
CPV-ARI		≤ 6,0	> 300	≥ 1	≤ 10 <sup>(1)</sup>	≤ 5 <sup>(1)</sup>	≤ 5	≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-	-

Fonte: ABCP (2002)

Notas:

(1) Ensaio facultativo.

(2) Outras características podem ser exigidas, como calor de hidratação, inibição da expansão devida à relação álcali-agregado, resistência a meios agressivos, tempo máximo de início de pega.

Convém lembrar que, como o cimento Portland atualmente é produzido em larga escala, é fundamental que suas características sejam normatizadas para que o uso independa do fabricante escolhido.

Entretanto, não somente as características físicas importam; as exigências químicas apresentadas na Tabela 4 são fundamentais para se obter homogeneidade do cimento e garantia de que suas reações de ganho de resistência (conhecidas como reações de Proust) ocorram de forma satisfatória.

**Tabela 4-Exigências químicas para o cimento Portland**

<b>Tipo de cimento Portland</b>	<b>Resíduo insolúvel (%)</b>	<b>Perda ao fogo (%)</b>	<b>MgO (%)</b>	<b>SO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>S (%)</b>
CP I	≤ 1,0	≤ 2,0	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 1,0	-
CP I-S	≤ 5,0	≤ 4,5			≤ 3,0	-
CP II-E	≤ 2,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 5,0	-
CP II-Z	≤ 16,0					-
CP II-F	≤ 2,5					-
CP III	≤ 1,5	≤ 4,5	-	≤ 4,0	≤ 3,0	≤ 1,0 <sup>(1)</sup>
CP IV <sup>(2)</sup> (3)	(4)	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 3,0	-
CP V-ARI	≤ 1,0	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 3,5 ≤ 4,5 <sup>(5)</sup>	≤ 3,0	-

Fonte: ABCP (2002)

Notas

- (1) Ensaio facultativo.
- (2) A atividade pozolânica do cimento, determinada conforme a NBR 5753(1992), deve ser positiva.
- (3) A atividade pozolânica do material pozolânico determinada conforme a NBR 5752 (1992), deve ser maior que 75%.
- (4) O teor de material pozolânico deve ser determinado pelo ensaio de resíduo insolúvel.
- (5) O teor de SO<sub>3</sub> igual a 3,5% aplica-se quando C3A ≤ 8,0% e 4,5 quando C3A ≥ 8,0%.

Souza et al. (1996) salientam que a escolha do tipo de cimento para cada uso depende das características desejadas em relação ao tempo de desforma, à cura do concreto ou da argamassa e às necessidades de resistência mecânica e química. Para usos comuns,

podem ser utilizados os cimentos CP I, CP II, CP III ou CP IV. No caso dos cimentos CP III (alto-forno) e CP IV (pozolânico), deve-se verificar se o tempo de início e fim de pega não prejudica o serviço em questão, principalmente para a execução de chapisco ou outros serviços que demandem de tempo de cura acelerado. Vale ressaltar que seu uso é recomendado em ambientes mais agressivos, sujeitos a ataque químico (atmosfera muito poluída, água ou solo poluído/contaminado). O cimento CP V não tem seu uso recomendado para a execução das argamassas, devendo-se evitar sua utilização também em ambientes sujeitos a ataque químico. Carasek et al. (2001) confirmam esta afirmação, observando que, apesar de argamassas confeccionadas com o cimento CP V ARI apresentarem maiores valores de resistência de aderência que as demais, um cuidado especial deve ser tomado, pois sua maior finura pode conduzir mais facilmente à fissuração (coMParando-se com a utilização de outros cimentos, considerando-se o mesmo consumo).

Finalmente, a ABCP (2002) indica também como apropriados para utilização em argamassas de revestimento e assentamento de tijolos e blocos, os seguintes tipos de cimento: Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV).

Arrobas & Djanikian (1999) observaram, citando Cincotto & Bolorino (1997), que o cimento CP II-E-32 é um dos aglomerantes mais utilizados nas composições das argamassas.

### *3.2.2. Principais agregados*

Os agregados são relativamente baratos e não entram nas complexas reações químicas com a água, por isso são tidos como materiais inertes. Entretanto, Mehta & Monteiro (2008) discordam desta posição e alertam para características relevantes do agregado: porosidade, composição ou distribuição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial, resistência à compressão, módulo de elasticidade e tipo de substâncias deletérias presentes. Estas características resultam da composição mineralógica da rocha fonte (que é afetada pelos processos geológicos de formação da rocha), das condições de exposição a que a rocha foi submetida antes de se produzir o agregado e do tipo de equipamento utilizado em seu beneficiamento.

Além destes aspectos, é importante lembrar que os agregados influenciam decisivamente no custo e na trabalhabilidade das argamassas.

Segundo Guimarães (1997), o agregado componente das argamassas é o material particulado de origem mineral onde predomina o quartzo, de diâmetros entre 0,06 e 2,0mm. São as seguintes origens do agregado miúdo: de rio (depósitos sedimentares que se formam no leito de alguns rios onde a extração se faz por dragas de sucção); de cava (depósitos aluvionares em fundos de vales, recentes ou antigos, cobertos por capa de solo onde a extração se faz por escavação mecânica ou por desmonte hidráulico); de britagem (areia de brita, obtida no processo de classificação a seco nas pedreiras onde a porcentagem de material iMPalpável – abaixo de 0,075mm – pode ser retirada pelo processo úmido nos separadores de areia); de escória (a escória básica de alto-forno, granulada, é resfriada bruscamente por jato de água na saída do forno, fragmentando-se em grãos, geralmente inferiores a 12,7mm; após a classificação, obtém-se a areia de escória) e de praias e dunas (em geral, não são utilizadas para este fim devido á sua elevada finura e teor de cloreto de sódio).

Geralmente, este agregado é a areia natural, constituída essencialmente de quartzo, extraída de leitos de rios ou de “cavas”, e resultante de antiga erosão de rochas quartzosas e posterior sedimentação de material silicoso.

Só recentemente estão sendo utilizadas as areias artificiais, como um dos produtos da britagem de rochas ígneas ou metamórficas.

Observa-se, no entanto que, normalmente, devido à questão do fator forma do grão – o que está diretamente relacionado com a trabalhabilidade da argamassa – as areias artificiais – que possuem formato de grão geralmente anguloso – são utilizadas em conjunto com as areias lavadas – com formato de grão mais arredondado conforme Ribeiro *op. cit.*.

A norma ABNT NBR 7211 – *Agregado para concreto* (1983) define os limites da composição granulométrica dispostos na Tabela 5 .

**Tabela 5-Composição granulométrica**

Peneira ABNT (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9.5	0	0	0	0
6.3	0	0	0	7
4.8	0	0	5	10
2.4	0	10	20	25
1.2	5	20	30	50
0.6	15	35	55	70
0.3	50	65	85	95
0.15	85	90	95	100

Fonte: ABNT NBR 7211

Nota:O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

O módulo de finura (MF) é a soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal, dividida por 100 e dimensão máxima característica é a abertura da malha, em milímetros, da peneira da série padrão, à qual corresponde uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5%.

A partir destes valores, a areia pode ser classificada conforme a Tabela 6 .

**Tabela 6-Classificação pela granulometria**

Areia	MF
Fina	$MF < 2,40$
Média	$2,40 < MF < 3,30$
Grossa	$3,30 < MF < 3,90$
Muito Grossa	$MF < 3,90$

Fonte: Petrucci (1983)

Carasek et al. (2001) afirmam que, com o aumento do teor de areia, há uma redução na resistência de aderência; por outro lado, é a areia, por constituir-se no esqueleto indeformável da massa, que garante a durabilidade da aderência pela redução da retração. Segundo os autores, areias muito grossas não produzem argamassas com boa

capacidade de aderir porque prejudicam a sua trabalhabilidade e, conseqüentemente, a sua aplicação ao substrato, reduzindo a extensão de aderência. Por outro lado, areias ou composições inertes com altos teores de finos (principalmente partículas inferiores a 0,075 mm) podem prejudicar a aderência e, neste caso, podem ser apresentadas duas hipóteses como explicação. A primeira refere-se ao fato de que, quando da sucção exercida pelo substrato, os grãos muito finos da areia podem penetrar no interior de seus poros, tomando assim o lugar de produtos de hidratação do cimento que se formariam na interface e produziram o encunhamento da argamassa. A segunda hipótese versa sobre a teoria dos poros ativos do substrato, na qual uma areia com grãos muito finos produziria uma argamassa com poros de raio médio pequeno; argamassas com poros menores do que os poros do substrato dificultam a sucção da pasta de aglomerante, uma vez que o fluxo hidráulico se dá sempre no sentido dos poros maiores para os menores. Sabbatini (1998) apresenta na Tabela 7 uma sinopse qualitativa da influência dos parâmetros granulométricos das areias nas principais propriedades das argamassas.

**Tabela 7-Influência das características da areia**

<b>Propriedades</b>	<b>Características da areia</b>		
	<b>Quanto menor o módulo de finura</b>	<b>Quanto mais descontínua for a granulometria</b>	<b>Quanto maior o teor de grãos angulosos</b>
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	Variável	Melhor
Resiliência	Variável	Pior	Pior
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável
Porosidade	Variável	Aumenta	Variável
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistências mecânicas	Variável	Pior	Variável
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável

Fonte: Sabbatini (1998)

Nota:O termo variável é aplicável quando não existe uma influência definitiva ou quando esta influência depende de outros fatores.

No entanto, Sabbatini (1998) também afirma que, em linhas gerais, a areia que apresenta melhor potencial de produzir uma argamassa adequada é a que tem

granulometria contínua (corrida) e classificada como média (módulo de finura entre 1,8 e 2,8) e tenha predominância de grãos arredondados.

Ainda, segundo Guimarães (1997), as propriedades mecânicas das areias que interferem no comportamento das argamassas seriam as seguintes:

a) Inchamento - A areia seca absorve água, que passa a formar uma película em torno dos grãos. Como os vazios da areia chegam, por vezes, a ser tão delgados quanto a espessura da película de água, este afasta os grãos entre si, produzindo inchamento.

b) Higroscopia - A areia seca tem duas fases: sólidos (grãos) e vazios (ar); a areia úmida tem três: sólidos, água e ar; a areia saturada, duas fases: sólidos e água. Os vazios (espaços entre os grãos) da areia seca são de dimensões muito pequenas, de modo que a areia pode apresentar higroscopia ou ascensão capilar, isto é: quando a areia entra em contato com água na base, a água no interior da massa alcança nível acima da água no exterior, devido à capilaridade. Quanto mais fina a areia, mais alta é a ascensão capilar. Isto deve ser levado em conta em algumas aplicações, como pisos, por exemplo.

c) Coesão aparente - O valor cresce rapidamente de zero (para teor de umidade nulo) até o máximo, para decrescer em seguida até se anular novamente para a areia saturada.

d) Friabilidade - A areia perde qualidade se contiver grãos friáveis. Para verificar, em primeira aproximação, a presença de grãos friáveis em tempo mais curto do que o necessário para o ensaio de qualidade pode ser feito um teste de esmagamento. A areia é colocada em um molde e recoberta por um êmbolo sobre o qual se exerce uma força crescente, necessária para atingir a pressão de 40 MPa em um minuto. Essa pressão é conservada constante por quatro minutos. Determinam-se os módulos de finura antes e depois do ensaio e calcula-se a sua porcentagem de redução, que se compara com a da areia normal.

Guimarães (1997) também salienta a importância da qualidade do agregado utilizado na composição das argamassas. Quando o mineral argiloso presente é do grupo das smectitas (montmorilonitas), são possíveis fenômenos de expansão e retração no sistema, em função da variação da umidade. O grupo de minerais de ferro – magnetita, ilmenita, pirita e concreções ferruginosas – tem ação deletéria, por possibilitar a formação de compostos expansivos resultantes de reações oxidantes. A mica,



geralmente com formas de cristais lamelares, dificulta a homogeneidade das características físicas do revestimento e a aderência da argamassa na sua interface com a base, atuando também no interior da massa como superfície diminuta de escorregamento ou descolamento, resultando na esfoliação do revestimento. Em areias mal lavadas e/ou mal selecionadas, aparece a matéria orgânica, resultante de restos vegetais, que inibe o endurecimento do aglomerante, provocando na superfície o aparecimento de vesículas, cujo interior tem tonalidade escura.

Já Isberner (1969), em ensaios realizados com argamassas de cimento e areia com teores variados de caulinita, xisto argiloso e montmorilonita comprovou que apenas a resistência à compressão de argamassas ricas é sensivelmente prejudicada pela adição de argilominerais (teores ensaiados até 15% em massa). Rensburg et al. (1978) chegaram à conclusão de que teores excessivos (superiores a 20%) de argilas na areia reduzem em muito a capacidade de aderência das argamassas (SABBATINI, 1998).

Souza et al. (1996) recomendam um teste simples (e de possível execução no canteiro de obras) para avaliação de impurezas nas areias. Consiste em colocar em um frasco de vidro transparente uma porção de areia, adicionando em seguida água e agitando-o vigorosamente no sentido horizontal. Deixar em repouso por 20 minutos. Se a água que sobrenadar o depósito for clara, provavelmente a areia ensaiada tem baixos teores de impurezas orgânicas ou de natureza argilosa. Caso a água fique muito turva, é provável que a areia seja de má qualidade, devendo-se repetir o ensaio com outra amostra. Persistindo a dúvida, é possível verificar ou contestar a qualidade da areia solicitando o ensaio de determinação do teor de argila (norma ABNT NBR 7218, 1987), teor de material pulverulento (norma ABNT NBR 7219, 1987) e o de impurezas orgânicas (norma ABNT NBR 7220, 1987).

Segundo Souza et al. (1996), o local de armazenamento da areia deverá estar limpo e localizado o mais próximo possível da central de produção de argamassa. A obra deverá providenciar baias cercadas em três laterais, em dimensões compatíveis com o canteiro e o volume a ser estocado, evitando-se assim espalhamento e desperdício de material. Em época de chuvas torrenciais, é recomendada a cobertura do material com lonas plásticas, a fim de impedir o seu carreamento. Areias com granulometrias diferentes deverão ser estocadas em baias separadas.

### 3.2.3. Aditivos e Adições

As propriedades das argamassas (tanto no estado fresco quanto endurecido) podem ser modificadas pela incorporação de determinados materiais que variam muito na sua composição. De acordo com Mehta & Monteiro (2008), a ASTM C 125 define aditivo/adição como qualquer material que não seja água, agregados, cimentos hidráulicos ou fibras usado como ingrediente do concreto ou argamassa e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura. Entretanto no Brasil existe uma distinção entre estes materiais. Os *aditivos* (sendo a maior parte deles no estado líquido) variam muito na composição química e podem ser divididos em função de suas ações: alguns começam a agir no sistema cimento-água instantaneamente, influenciando na tensão superficial da água e adsorvendo na superfície das partículas de cimento; outros se dissociam e afetam as reações químicas entre os compostos do cimento e a água. Já as *adições* são materiais insolúveis finamente moídos, de fontes naturais ou de algum tipo de subproduto industrial e o efeito físico de sua mistura no comportamento reológico se torna imediatamente aparente.

#### 3.2.3.1. Principais aditivos

Votorantim Cimentos (2009) e Rodrigues (1993), citam que de modo geral, são os seguintes os aditivos utilizados em argamassas:

a) Incorporadores de ar: aditivos surfatantes, ou agentes tensoativos que atuam na molécula de água da argamassa diminuindo sua tensão superficial, formando microbolhas de ar, estáveis, homoganeamente distribuídas na argamassa, provocando um efeito mais umectante, melhorando a trabalhabilidade, controlando a permeabilidade e aumentando o rendimento. As microbolhas de ar, tal como finos numa argamassa tradicional, melhoram a plasticidade e a trabalhabilidade da argamassa, tornando-a mais pseudoplástica, pois o ar desempenha papel fluidificante. Por outro lado, diminuem as características mecânicas da argamassa e, mais em particular, o módulo de elasticidade do que a resistência à tração. A argamassa torna-se assim mais deformável e, portanto, menos propensa à fissuração. Têm ainda papel hidrófugo, diminuindo a capilaridade do produto (as bolhas de ar que se introduzem na rede de capilares constituem um corte de capilaridade, diminuindo o coeficiente de capilaridade da argamassa e melhorando a sua resistência ao gelo (RODRIGUES, 1993). Por outro lado, Cincotto et al. (1995)

advertem que o teor de ar tem influência sobre a resistência de aderência dos revestimentos, o que limita a dosagem de aditivos incorporadores de ar empregados em argamassas de revestimento, apresentando o valor de 12 a 15% como uma faixa máxima admissível de ar incorporado para que não haja prejuízo da resistência de aderência (o excesso de microbolhas de ar alojadas na interface argamassa de revestimento/base pode se constituir como elemento inibidor de aderência, devido ao fato das microbolhas se transformarem numa barreira para migração de pasta de aglomerante para os poros da base – mecanismo que configura a aderência mecânica da argamassa à base). Em relação a este tema, Carasek et al. (2001) afirmam que a baixa resistência de aderência obtida com argamassas aditivadas com ar incorporado é atribuída à redução da superfície de contato na interface pela presença das bolhas de ar. Carasek (1996) também constatou (pela observação da interface revestimento de argamassa/bloco cerâmico, com o emprego de lupa estereoscópica) que as argamassas com alto teor de ar incorporado apresentaram menor extensão de aderência, devido à presença de grande quantidade de bolhas de ar na interface (a despeito da alta trabalhabilidade propiciada pelos aditivos, favorecendo a penetração da argamassa nas reentrâncias dos blocos cerâmicos). Por outro lado, Oppermann & Rudert (1983) afirmam que não é possível relacionar de forma direta a resistência de aderência com o teor de ar incorporado na argamassa fresca (em seus experimentos foram encontradas argamassas de alto teor de ar, da ordem de 20%, produzindo elevadas resistências de aderência; a partir de estudos com o MEV, os autores afirmam que mais importante do que a quantidade de ar incorporada é o tamanho das bolhas de ar). De toda forma, é importante salientar que o tempo de mistura se apresenta como outra maneira de se incorporar ar em uma argamassa (além da utilização do aditivo incorporador de ar), o que conduz (principalmente no caso de argamassas industrializadas ensacadas) à necessidade de se conhecer e respeitar o tempo de mistura sugerido pelo fabricante. Diversos autores, tais como Cavani et al. (1997) e Calhau & Tristão (1999), desenvolveram interessantes trabalhos sobre a influência do teor de ar incorporado nas argamassas. Cavani *op. cit.* concluíram que o fator água/cimento, reduzido pela incorporação de ar, deve compensar parcialmente a perda de resistência mecânica, quando comparada à resistência de uma argamassa de referência sem aditivo. Já Calhau & Tristão *op. cit.*, constataram uma diminuição da absorção por imersão de argamassas mistas com o aumento do teor de ar incorporado, de onde se conclui que o ar incorporado por aditivo bloqueou a passagem da água para o interior da argamassa, impedindo a água de ocupar o vazio das pequenas

bolhas de ar. Estes autores verificaram também um aumento significativo da trabalhabilidade das argamassas, que ficaram mais leves, com boa plasticidade e mais coesas (foram utilizados dois tipos de argamassa: 1:0,5:9 e 1:2:9, traço em volume de cimento, cal e areia seca. O teor de ar incorporado foi variado de 5,6 a 19,0% no primeiro tipo de argamassa e de 2,1 a 14,2% no segundo tipo).

b) Retentores de água: são derivados da celulose, que possuem a função de reter a água adicionada à argamassa, impossibilitando a perda por evaporação ou mesmo exsudação da argamassa fresca, e também permitem que a água flua para superfícies absorventes muito lentamente. Têm influência direta na consistência (aumentando a viscosidade da argamassa na fase aquosa) e na adesão da mesma à base. Permitem regularizar as migrações de água possíveis, qualquer que seja o poder absorvente do suporte e, em consequência, contribuem para a possibilidade de supressão do chapisco (RODRIGUES, 1993).

c) Hidrofugantes: possuem como característica principal a atuação dentro do corpo da argamassa, repelindo a água que porventura queira entrar ou já tenha sido absorvida; sendo assim, a argamassa fica como uma absorção de água reduzida, aumentando a resistência à formação de mofo ou manchas. Estes aditivos não tornam a argamassa impermeável e deixam passar o vapor de água livremente (MIRANDA & SELMO, 1999). A redução da capilaridade da argamassa se dá, geralmente, pelo abaixamento da tensão capilar no interior das mesmas. São geralmente constituídos por finas partículas hidrófugas insolúveis, em geral sais metálicos de ácidos orgânicos (estearatos de cálcio, zinco, alumina, magnésio) existindo, quer nesta forma no produto, quer formando-se no meio, por reação com a cal livre ou com a cal do cimento. Outros produtos tensoativos, cargas minerais, dispersantes, podem entrar na composição do hidrófugo para adaptar a sua atuação ao cimento. De maneira geral, entopem os poros e os capilares criados pela eliminação da água em excesso, participam na hidratação dos aglomerantes e estabilizam o meio aquoso durante a “pega” (RODRIGUES, 1993).

d) Espessantes: são aditivos que atuam na trabalhabilidade e na resistência ao deslizamento da argamassa (propriedade importante para as argamassas colantes), aumentando-a, e chegam a reter um pouco a água, mas não em quantidade igual à do retentor de água.

e) **Plastificantes (ou fluidificantes):** também chamados de redutores de água, agem na argamassa a fresco diretamente no aglomerante (cimento), diminuindo a tensão superficial da pasta constituída com o mesmo, fazendo com que o material se disperse mais rapidamente, proporcionando uma maior resistência à compressão e à fluidez – argamassa autoadensável. Melhoram a trabalhabilidade da argamassa, facilitando a sua passagem por equipamentos de projeção e suas tubulações (no caso de aplicação por projeção mecânica) e a sua aplicação em obra. A redução da água de amassamento resulta em redução da retração hidráulica. Conceitualmente, os plastificantes são produtos pulverulentos extremamente finos, por exemplo, argila coloidal, bentonita, cal gorda (cal que possui em sua composição mais de 90% de óxido de cálcio), calcário moído, produtos coloidais, acetatos de polivinila ou estearatos que, entre outros efeitos, podem atuar por retenção de água com aumento da viscosidade da argamassa e diminuição da segregação (RODRIGUES, 1993).

f) **Impermeabilizantes:** possuem como característica principal a atuação dentro do corpo da argamassa, no sentido de impedir totalmente a passagem de água. Face à natural dificuldade de obtenção desta propriedade nas argamassas (através da utilização destes aditivos), os fabricantes estão, atualmente, denominando estes aditivos como redutores de permeabilidade.

g) **Adesivos :** melhoram a aderência da argamassa ao suporte, contribuindo também para a supressão do chapisco. A eficácia de alguns destes aditivos pode ser afetada após o endurecimento da argamassa, em caso de reumidificação posterior. Exemplo: aditivos base de PVA. Os polímeros estireno-butadieno (SBR), estireno-acrílico, acetato de polivinila (PVA) e acrílico (ACR) foram estudados por diversos autores, tais como Godoy & Barros (1999), Rossignolo & Agnesini (1999) e Oliveira & Bauer (1999). Godoy & Barros (1999) concluíram, de maneira geral, que o aditivo à base de polímeros de estireno-butadieno (SBR) apresentou melhores resultados em comparação com os demais avaliados em seu trabalho (PVA, estireno-acrílico), diminuindo a retração e a absorção de água por capilaridade. Rossignolo & Agnesini (1999) verificaram que argamassas com utilização do aditivo à base de polímeros de estireno-butadieno (SBR) apresentaram melhor desempenho que as argamassas comuns (sem qualquer tipo de aditivação), observando-se os resultados obtidos nos ensaios de retenção de água,

resistência à tração, módulo de deformação, aderência e permeabilidade. Os autores salientam ainda que a redução da incorporação de ar (verificada nas argamassas modificadas com SBR) pode melhorar ainda mais o desempenho de algumas propriedades das argamassas, em comparação as argamassas comuns (tais como resistência à compressão, resistência à tração, aderência e permeabilidade). Oliveira & Bauer (1999) corroboraram os resultados obtidos por Godoy & Barros (1999), observando melhores resultados para as argamassas modificadas com SBR em comparação com as modificadas com PVA (embora os dois polímeros melhorassem significativamente as propriedades mecânicas das argamassas, quando comparadas com outras sem qualquer tipo de aditivação).

h) Pós Redispersíveis: conceitualmente devem ser caracterizados como aglutinantes poliméricos em forma de pó nas argamassas. A rigor não se tratam de materiais indispensáveis na formulação das argamassas, entretanto sua utilização em combinação com aglutinantes minerais (principalmente o cimento) conduz a melhorias, dentre outras: na retenção de água e manutenção da trabalhabilidade; aderência; flexibilidade da argamassa. Recebem esta denominação por serem aglutinantes que depois de misturados em água voltam à sua forma original de dispersão aquosa, mantendo as características e funções de aglutinantes poliméricos. São produzidos através da secagem por spray de dispersões poliméricas que se baseiam principalmente em acetatos de vinil/etileno.

### ***3.2.3.2.Principais adições***

De acordo com Alvarez (2005) os antigos romanos conseguiram notáveis avanços na técnica de produção das argamassas em função da introdução de vários outros materiais e que poderiam ser classificados como adições. Conseguiram produzir argamassas de cal e areia adicionadas de pozolana e pedaços de tijolos, para aplicações em trabalhos marítimos; turfa, gorduras, ceras usadas como repelentes de água; ovos e azeite para retardar a entrada de água nos rebocos; cerveja e ureia como incorporadores de ar.

As adições são materiais inorgânicos, de origem natural (como os argilominerais) ou residual de algum processo de produção (como a sílica ativa), que são adicionadas em quantidade significativa no traço da argamassa modificando suas propriedades.

Genericamente, podem ser classificadas em relação à melhoria ou prejuízo da performance das argamassas (conforme a Tabela 8), explicitando que as do segundo grupo devem ser totalmente eliminadas.

**Tabela 8-Tipos de adições**

<b>Adições que ajudam no desempenho do produto</b>	<b>Pozolanas:</b> materiais provenientes de rochas vulcânicas, resíduos de termoelétricas e outros que apresentem atividade pozolânica.
	<b>Pó calcário (ou filler):</b> material finamente dividido constituído essencialmente de calcário ou dolomitos.
	<b>Pigmentos:</b> apenas conferem à argamassa coloração, não interferem em resistência mecânica e se diferenciam entre si pelos tipos: orgânicos e inorgânicos.
<b>Adições que comprometem a qualidade das argamassas</b>	<b>Filito:</b> rocha constituída por quartzo, caulinita e micas, de modo geral friável, com baixo resíduo em peneira de 0,075 mm de abertura.
	<b>Saibro:</b> designação geológica de solos provenientes de granitos e gnaisses, com minerais parcialmente decompostos, sendo arenosos ou siltosos (com baixo teor de argila) e de cor variada.
	<b>Solos finos:</b> solos sedimentares ou provenientes das rochas minerais já completamente decompostos, que não guardam o aspecto da rocha matriz, sendo em geral argilosos, quando residuais, e de granulometria mais variada.
	<b>Solo fino beneficiado:</b> solo fino que, retirado de jazida de ocorrência, é submetido pelo menos ao seguinte processo de beneficiamento: secagem parcial ou total, trituração dos torrões e acondicionamento em sacos fechados, com massa controlada em balança.
	<b>Materiais reciclados de entulhos de obra.</b>

Fonte: Adaptado de Votorantim Cimentos (2009)

Atualmente, na maioria das vezes, as adições não possuem poder aglomerante, atuando como agregados, e, de modo geral, possuem poder aglutinante (promovem a liga). Além da redução de custo e do ganho de trabalhabilidade, podem ajudar na redução de eventual expansão causada pela reação álcali-agregado, que é reação química entre álcalis (sódio e potássio) presentes no cimento Portland e certos constituintes dos agregados resultando em expansão destrutiva da argamassa.

Diversos autores, tais como Levi & Helene (1995), Miranda & Selmo (1999 e 2001) e Grigoli (2001), contestam a introdução dos materiais reciclados de entulho de obra junto àqueles que comprometem a qualidade das argamassas. Ao contrário, elucidam que os resultados obtidos indicam que os revestimentos produzidos com a utilização destes materiais são tecnicamente apropriados para produção de argamassas a serem utilizadas como revestimentos internos ou externos (LEVI & HELENE, 1995).

Outras adições que merecem hoje a atenção e estudos de pesquisadores da área de argamassas são os rejeitos industriais e as fibras poliméricas. Aguilar et al. (2002), avaliaram o desempenho de argamassas com adições de rejeitos industriais, no caso, sílica ativa (sílica no estado amorfo obtida como subproduto da fabricação de ferro-silício ou silício metálico) e escória de alto-forno granulada finamente moída, adicionando também fibras poliméricas. Neste trabalho, Aguilar *op.cit.* concluíram que as fibras poliméricas são de grande efetividade quando se deseja diminuir o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas (situação desejável no sentido da redução da fissuração por secagem dos revestimentos). Porém, caso este seja o objetivo, não se deve proceder ao uso conjunto de fibras e sílica ativa, pois os efeitos destas duas adições no módulo de elasticidade parecem se cancelarem (a indicação conjunta de fibras e sílica ativa seria recomendada quando o objetivo fosse o aumento da resistência mecânica). O uso da sílica ativa foi capaz de diminuir a permeabilidade da mistura. Os efeitos da adição de sílica ativa juntamente com escória finamente moída indicaram que a escória contribuiu pouco no desempenho, culminando com a sugestão dos autores para uma avaliação do efeito da escória como única adição mineral para que se possa ter uma visão mais clara de sua atuação. Outros trabalhos também analisam as adições como, por exemplo, Kuroda (2000) dentre tantos outros. Este interesse pelas adições justifica-se pela constante busca de melhoria das argamassas, bem como possíveis usos de subprodutos industriais (caso das cinzas volantes).

O uso de adições e aditivos tem sido prática corrente mas é importante lembrar que John (2003) esclarece que é possível produzir argamassas com carência de aglomerantes, mas apesar destas argamassas apresentarem adequado desempenho no estado plástico, poderão ter degradação precoce, principalmente quando expostas à água advinda pela infiltração capilar e em locais mais expostos ao molhamento.



### *3.2.4. Principais características da água de amassamento*

Segundo a APOSTILA TÉCNICA DE ARGAMASSA – VOTOMASSA (sem data de edição), a água destinada ao amassamento da argamassa deverá estar limpa. Admitem-se satisfatórias as águas potáveis e as que tenham pH entre 5,8 e 8,0 e respeitem os seguintes limites máximos:

- a) Matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido): 3mg/L
- b) Resíduo sólido: 5000mg/L
- c) Sulfatos (expressos em íons  $\text{SO}_4^{2-}$ ): 300mg/L
- d) Cloretos (expressos em íons  $\text{Cl}^-$ ): 500mg/L
- e) Açúcar: 5mg/L

Em relação às características da água para execução de concretos o AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI 318 (2002) observa que quase toda água potável e que não apresente gosto ou odor é satisfatória para ser utilizada na execução do concreto. Impurezas nesta água, quando excessivas, podem afetar não somente o tempo de pega, a resistência do concreto e a estabilidade de volume (promovendo mudanças de comprimento), como também podem causar eflorescências ou corrosão das armaduras.

Quando possível, águas com elevada concentração de sólidos dissolvidos devem ser evitadas. Face às semelhanças dos dois materiais (argamassas e concretos) no que diz respeito à matriz cimentícia, estas considerações podem ser levadas em conta também para produção de argamassas exceto pela ausência do agregado miúdo e da armadura.

Em termos da quantidade de água a ser utilizada no amassamento, Carasek (2001) afirma que a água é um ingrediente essencial na argamassa, uma vez que ela possui duas funções primordiais:

- a) como único líquido, possibilita que a mistura seja trabalhável;
- b) combina-se quimicamente com os aglomerantes proporcionando o endurecimento e a resistência da argamassa. Portanto, manter uma relação água/cimento ( $a/c$ ) baixa, aspecto tão importante no aumento da resistência à compressão do concreto, perde a

importância quando se deseja obter uma adequada resistência de aderência de revestimentos. Por analogia ao concreto, essas argamassas devem ser relacionadas com os concretos preparados com agregado leve, onde, segundo Neville (1997), mais importante do que a relação a/c é o teor de cimento da mistura, uma vez que o agregado poroso retira parte da água disponível, fazendo com que a relação a/c real seja mais baixa do que a inicialmente existente.

No caso das argamassas de revestimento, raciocínio semelhante é válido, pois a argamassa no estado fresco com alta relação a/c (geralmente na faixa de 0,7 a 2,8), ao entrar em contato com a base (geralmente alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto), perde rapidamente água por sucção do substrato.

### *3.2.5. Identificação segundo a forma de preparo ou fornecimento da argamassa*

A argamassa é uma mistura de vários materiais e pode ser classificada, dentre outras formas, pelo modo de preparo, sendo que a interferência da mão-de-obra torna-se aspecto preponderante na qualidade final.

#### **3.2.5.1. Argamassa preparada na obra**

É obtida através da mistura dos constituintes básicos: aglomerante(s), agregado(s), água e, eventualmente aditivo(s) e/ou adição(ões), sendo que estes constituintes são adquiridos em separado e estocados no canteiro de obra até o momento de sua mistura.

De maneira geral, as argamassas preparadas na obra apresentam custo inferior às misturas semi-prontas, industrializadas, ensacadas e dosadas em central, tomando-se como base somente o valor do produto, sem análise dos benefícios introduzidos no processo de produção.

A mistura pode ser feita manualmente ou mecanicamente, através da utilização da betoneira, apesar deste equipamento ser mais indicado para preparo de concretos.

### 3.2.5.2. Mistura semi-pronta para argamassa

Segundo Guimarães (1997), este tipo de argamassa inclui as argamassas de cal e areia, que requerem, às vezes, outro ligante e, sempre, alguma água no local para a sua utilização. Outra variedade é o fornecimento ensacado de cal e cimento, bastando o acréscimo de água.

### 3.2.5.3. Argamassa industrializada (ensacada)

É uma argamassa pronta, fornecida ensacada (em estado anidro), necessitando, portanto, somente da adição de água para obtenção do produto final. A norma ABNT NBR 13281 – *Argamassa industrializada para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – especificação* (2001) classifica as argamassas industrializadas conforme a Tabela 9.

**Tabela 9- Classificação das argamassas industrializadas**

Características	Identificação	Limites
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4$
	II	$\geq 4$ e $\leq 8$
	III	$> 8$
Capacidade de retenção de água ( % )	Normal	$\geq 80$ e $\leq 90$
	Alta	$> 90$
Teor de ar incorporado (%)	a	$< 8$
	b	$\geq 8$ e $\leq 18$
	c	$> 18$

Fonte: ABNT NBR 13281

Segundo a APOSTILA TÉCNICA DE ARGAMASSA – VOTOMASSA (sem data de edição), as vantagens da utilização das argamassas industrializadas são as seguintes:

- a) Simplificação e organização do canteiro, principalmente quando não se dispõe de espaço físico suficiente para armazenamento dos materiais.
- b) Podem ser preparadas próximo ao local onde serão utilizadas.
- c) Garantia de qualidade por parte do fabricante.
- d) Materiais constituintes medidos em peso (mais precisão no traço e garantia de uniformidade).

Cabe salientar que, apesar de caracterizadas como industrializadas, estas argamassas são fornecidas no estado anidro e no canteiro de obra serão misturadas com água, operação esta que deve ser feita com cuidado, pois seu excesso ou falta conduzirão a resultados inadequados.

#### **3.2.5.4. Argamassa dosada em central**

É uma argamassa pronta, contendo aglomerante(s), agregado(s), aditivo(s) e eventualmente adição(ões). Pode ser fornecida contendo água (ou seja, a dosagem – proporção relativa entre todos os seus constituintes – já se encontra definida) e neste caso é fornecida em caminhão betoneira e deve seguir as recomendações do fabricante quanto ao seu armazenamento e tempo para utilização (tempo este que é função do aditivo retardador de pega utilizado).

No caso do fornecimento no estado anidro, a água será misturada exatamente na quantidade e local requeridos, sendo a mistura seca acondicionada em silos conforme visto na Figura 79.



**Figura 79-Silos de fornecimento de argamassa no estado anidro.**

Murray (1983), em seus estudos sobre os efeitos dos aditivos retardadores de pega e endurecimento sobre a resistência de aderência, variando os tipos de substrato e suas condições de umidade antes da aplicação das argamassas, mostrou que tais aditivos podem produzir uma melhoria geral na resistência de aderência.

### *3.2.6. Preparação da base de revestimento*

Ainda, segundo a norma ABNT NBR 7200 (1998), as bases de revestimento deverão atender às exigências de planeza, prumo e nivelamento, fixadas nas respectivas normas de alvenaria e de estruturas de concreto.

Também, de acordo com esta norma, as bases de revestimentos estarão aptas a receber argamassas preparadas na obra, respeitadas as seguintes idades mínimas:

- a) 28 dias de idade para estruturas de concreto e alvenarias armadas estruturais;
- b) 14 dias de idade para alvenarias não armadas estruturais e alvenaria sem função estrutural de tijolos, blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto celular, admitindo-se que os blocos de concreto tenham sido curados durante pelo menos 28 dias antes de sua utilização;
- c) 03 dias de idade do chapisco para aplicação do emboço ou camada única, sendo que, para climas quentes e secos, com temperatura acima de 30°C, este prazo pode ser reduzido para 02 dias;
- d) 21 dias de idade para o emboço de argamassa de cal, para o início dos serviços de reboco;
- e) 07 dias de idade do emboço de argamassas mistas ou hidráulicas, para início dos serviços de reboco;
- f) 21 dias de idade do revestimento de reboco ou camada única, para execução de acabamento decorativo. Para revestimentos de argamassas industrializadas ou dosadas em central, estes prazos, podem ser alterados, se houver instrução específica do fornecedor.

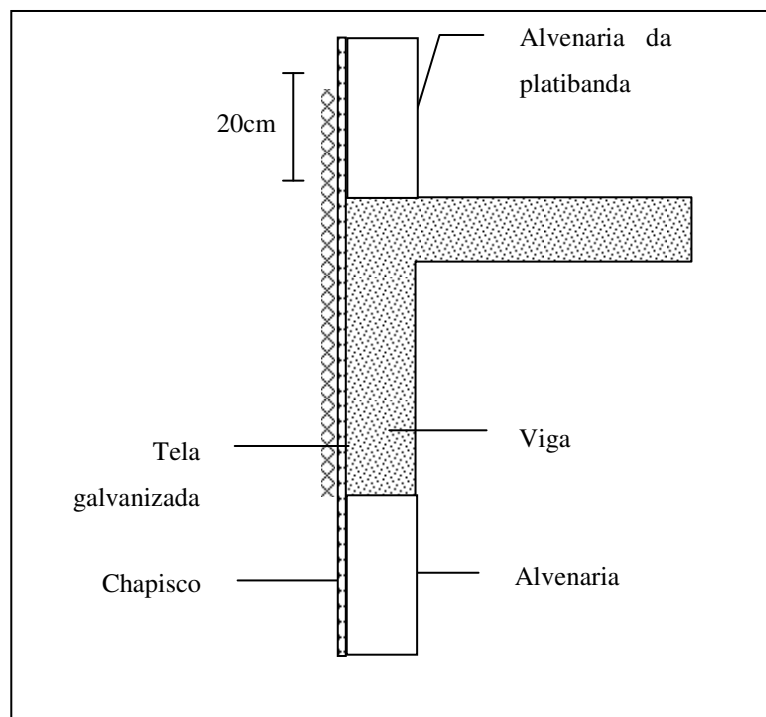
Antes da execução do revestimento argamassado, deve-se proceder a limpeza da base, com retirada de todos elementos estranhos e/ou sujidades, visando principalmente a obtenção de aderência, o que pode ser feito da seguinte forma:

- a) Remoção da base de materiais pulverulentos (pó, barro e fuligem), escovando a parede com vassoura de piaçava seguida, se necessário, de lavagem.

- b) Fungos (bolor) e microorganismos podem ser removidos com a utilização de solução de hipoclorito de sódio (4 % a 6 % de cloro), seguida de lavagem da região com bastante água.
- c) Substâncias gordurosas e eflorescências podem ser eliminadas com uma solução de 5 % a 10 % de ácido muriático diluído em água, seguida de lavagem da área com água em abundância.
- d) Em se tratando da base de concreto, deve-se remover completamente a película de desmoldante, caso este tenha sido utilizado, com escova de aço, detergente e água, seguindo-se a uma operação de apicoamento. Além disso, todos os pregos e arames que porventura tenham sido deixados pelas fôrmas devem ser retirados.
- e) Antes de qualquer procedimento de limpeza com produtos químicos, a base deverá ser completamente saturada com água, e deverá ser lavada com água em abundância, após aplicação, para a sua completa remoção.

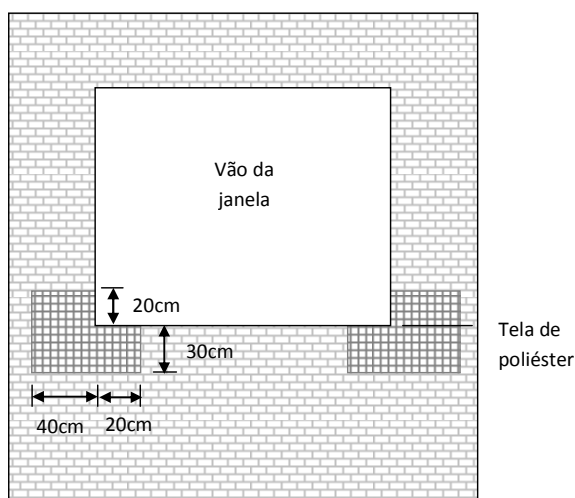
Outra recomendação importante diz respeito à concentração de tensões. Estes detalhes construtivos, apesar de simples, muitas vezes não são executados. As tensões porventura existentes nestas regiões serão transmitidas para o revestimento, que poderá sofrer solicitações para as quais não fora dimensionado e, conseqüentemente, poderá apresentar falhas.

A norma ABNT NBR 7200 (1998) recomenda ainda que, quando a base for composta por diferentes materiais e for submetida a esforços que gerem deformações diferenciais consideráveis (tais como balanços, platibandas e últimos pavimentos), deve-se utilizar tela metálica, plástica ou de outro material semelhante na junção destes materiais, criando uma zona capaz de suportar as movimentações diferenciais a que estará sujeita, como as bases contíguas teladas da Figura 80.



**Figura 80-Telamento de encontro alvenaria de platibanda com estrutura.**

Observa-se ainda que outras regiões críticas (tais como quinas de janelas – natural concentrador de tensões) podem também ser reforçadas (no caso com aplicação de telas de poliéster) com o intuito de evitar transmissão de fissuras para o revestimento argamassado. Um exemplo deste tratamento pode ser visto na Figura 81.



**Figura 81-Telamento de quinas de janela.**

### 3.2.7. Aplicação da argamassa de revestimento

A norma ABNT NBR 7200 (1998) recomenda que a argamassa de revestimento não seja aplicada em ambientes com temperatura inferior a 5°C. Em temperatura superior a 30°C, devem ser tomados cuidados especiais para cura do revestimento, mantendo-o úmido pelo menos nas 24 horas iniciais através da aspersão constante de água. Este mesmo procedimento deve ser adotado em situações de baixa umidade relativa do ar, ventos fortes ou insolação forte e direta sobre os planos revestidos.

Uma avaliação da influência da cura sobre as superfícies revestidas com argamassa foi observada por Cavani & Oliveira (2002) ao avaliarem a resistência de aderência em chapiscos. O estudo foi motivado pela verificação (“in loco” na obra) de um chapisco que, apesar de ter sido executado com uma argamassa bastante rica (traço 1:2, cimento e areia), não apresentou resistência mecânica satisfatória (a resistência ao risco – raspagem da superfície da argamassa com um objeto de ferro pontiagudo ou prego – da argamassa de chapisco se apresentava menor que a da argamassa de emboço). Aparentemente, o cimento da argamassa de chapisco não estava totalmente hidratado (apesar de apresentar idade superior a 20 dias). Procedeu-se então uma cura complementar desta argamassa de chapisco e então, foram feitos ensaios de resistência de aderência, que são apresentados na Tabela 10 .

**Tabela 10-Resultados de resistência de aderência do chapisco**

<b>Condição de cura complementar</b>	<b>Resistência de aderência média (MPa)</b>
Nenhuma	0,13
Molhado 1 vez por dia por 3 dias	0,44
Molhado 2 vezes por dia por 3 dias	1,00
Molhado 3 vezes por dia por 3 dias	0,81

Fonte: Cavani & Oliveira (2002)

Segundo os autores, os resultados obtidos comprovaram que o cimento da argamassa de chapisco não estava totalmente hidratado, comprometendo assim o desempenho desta camada. Houve um ressecamento muito rápido da camada de chapisco logo após a sua aplicação. Os autores concluíram ainda que esse ressecamento, prejudicial para a hidratação do cimento, acaba ocorrendo com frequência devido aos seguintes fatores:



- a) As argamassas de chapisco normalmente não possuem nenhum tipo de retentor de água.
- b) Essa camada possui pequena espessura e perde água tanto para o substrato como para a atmosfera.
- c) Substratos constituídos por blocos de concreto (tipo de alvenaria utilizada na obra em questão) normalmente apresentam alta sucção inicial, retirando deste modo mais água da argamassa assim que a mesma é aplicada.
- d) As aplicações feitas durante o outono, quando a temperatura do ar ainda é relativamente elevada e sua umidade relativa é baixa, favorecem a rápida evaporação da água da argamassa.

Os padrões relativos às espessuras dos revestimentos argamassados (internos e externos), bem como prumo, nivelamento, planeza e resistência de aderência, devem estar de acordo com as exigências estabelecidas na norma ABNT NBR 13.749 (1996), transcritas resumidamente a seguir:

- a) Espessuras admissíveis: A espessura influenciará decisivamente no desempenho do revestimento, pois é a camada de suporte e deverá obedecer à Tabela 11.

**Tabela 11-Espessuras admissíveis dos revestimentos internos e externos**

<b>Revestimento</b>	<b>Espessura (mm)</b>
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos interno e externo	$e \leq 20$

Fonte: ABNT NBR 13749

- b) Prumo: desvio de prumo  $\leq H/900$ , onde H = altura da parede em metros.
- c) Nivelamento: desvio de nível  $\leq L/900$ , onde L = comprimento do maior vão do teto em metros.
- d) Planeza: as ondulações não devem superar 3mm em relação a uma régua de 2m de comprimento. As irregularidades abruptas não devem superar 2mm em relação a uma régua com 20cm de comprimento.

## e) Aderência:

- Ensaio de percussão (avaliar 1m<sup>2</sup> a cada 50m<sup>2</sup> de teto e a cada 100m<sup>2</sup> de parede).
- Os revestimentos que apresentarem som cavo nesta inspeção, por amostragem, deverão ser integralmente percutidos.
- Ensaio de resistência de aderência à tração (conforme norma ABNT NBR 13.528, 1995), em pontos escolhidos aleatoriamente ou a cada 100m<sup>2</sup> ou menos da área suspeita. O revestimento será aceito se de cada grupo de 6 ensaios realizados (com idade igual ou superior a 28 dias) pelo menos quatro valores forem iguais ou superiores aos mínimos exigidos apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12-Limites de resistência de aderência à tração**

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,30
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto			≥ 0,20

Fonte: ABNT NBR 13749

Em relação às técnicas executivas dos revestimentos argamassados (emboço e reboco), as seguintes recomendações devem ser observadas (CARVALHO JR., 1999), porém para aplicação de placas de rochas, o trabalho deve ser encerrado na etapa de emboço, pois apresenta maior rugosidade, estando apto a receber a argamassa de assentamento:

- a) Colocação de taliscas para execução das mestras (mesmo prumo afastadas de aproximadamente 1,50m) definindo a espessura do emboço (revestimento argamassado onde serão assentados outros revestimentos, tais como cerâmica ou granitos, como acabamento final).
- b) Execução das mestras: nos cantos e internas do plano a ser revestido, espaçadas de 2,00 a 2,50m (linhas).
- c) Após a secagem das mestras, faz-se o enchimento e sarrafeamento dos espaços entre as mestras (do teto para o piso).

d) Após sua projeção, a argamassa deve ser apertada contra a parede (aumenta a aderência e diminui o volume de vazios do revestimento fresco, o que contribui para evitar fissuras de retração de secagem).

e) O sarrafeamento só deve ser realizado após certo período (na obra diz-se que o pedreiro espera a argamassa “puxar”). O sarrafeamento realizado com a espera de tempo inferior ao adequado após a aplicação da argamassa resulta em fissuras provocadas pela perturbação precoce desta argamassa (esta operação conclui a operação de execução do emboço, que deve ser somente sarrafeado, ou no máximo levemente desempenado, mas nunca feltrado).

Existe também uma categoria de argamassas de particular interesse, denominadas de “colantes”. Trata-se de uma argamassa industrializada com a finalidade de assentar as placas ao substrato e em função de seu destaque neste trabalho será analisada em pormenores (item 6.2) mostrando os possíveis benefícios ao substituir as tradicionais.

### *3.2.8. Técnicas de assentamento das placas*

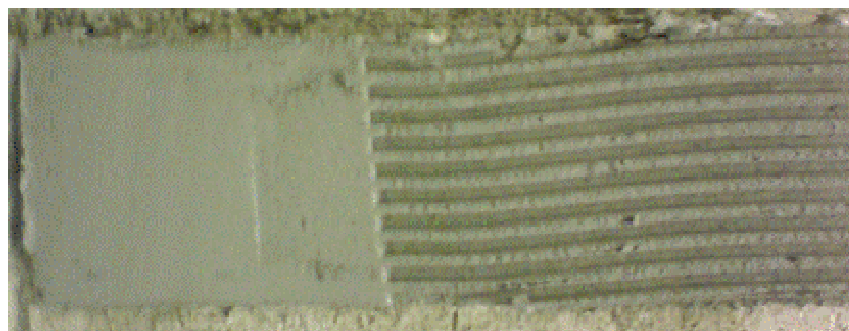
Após o preparo da base, as placas poderão ser aplicadas por dois processos: com argamassa tradicional (também denominado camada grossa) ou com argamassa colante (também chamado camada fina).

No primeiro caso a areia, o cimento e a água são misturados no canteiro de obras. Esta argamassa é colocada em uma espessura de 15 a 30 mm sobre o tardo da placa e o conjunto é pressionado sobre a superfície a ser revestida. Trata-se de uma técnica mais rústica, sendo utilizada quando não se tem acesso às argamassas colantes, sendo que causa não apenas uma compactação da argamassa, mas também provoca uma migração dos finos para o lado reverso das placas, proporcionando assim uma fixação mecânica.

No segundo caso, com uso das argamassas colantes (também denominada cimento-cola), alguns cuidados são necessários conforme Carvalho Júnior (1999):

. Deve-se utilizar argamassa colante adequada ao tipo de matéria e condições de uso e exposição. É aplicada com desempenadeira de aço denteada, estendendo-a na parede com o lado liso e frisando-a com o lado denteado. Neste caso, o formato dos dentes da desempenadeira deve ser quadrado de dimensões 8 x 8 mm.

. A argamassa deverá ser aplicada em camada única, isto é, apenas no emboço, caso a peça seja limitada à dimensão de 20 x 20 cm. Para dimensões acima desta, aconselha-se a aplicação de argamassa colante em dupla camada, ou seja, aplicação na base e nas costas da placa. Com placas com dimensões acima de 40 x 60 aconselha-se desempenadeira com dimensão dos dentes de 12 mm (vide Figura 82).

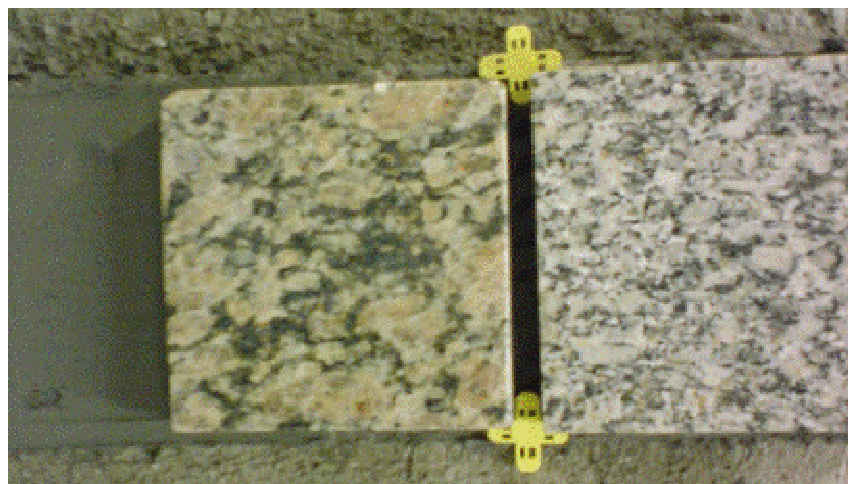


**Figura 82-Aplicação de camada de argamassa colante.**

. Deve-se respeitar a espessura recomendada pelo fabricante da argamassa que estiver sendo usada. Deve-se controlar o desgaste dos dentes da desempenadeira, pois a quantidade de argamassa colante que permanece após o frisamento é função da sua dimensão. Desempenadeiras com dentes gastos (diminuição da altura dos dentes em 1 mm) devem ser substituídas por novas ou devem ter a altura dos seus dentes recomposta.

. O assentamento do revestimento com a utilização de argamassa colante exige que as placas não estejam molhadas para que não ocorra prejuízo de aderência (a não ser que haja recomendações contrárias do fabricante da argamassa). Caso as placas estejam sujas de poeira ou partículas soltas, estas deverão ser removidas com a utilização de um pano seco. Em situações em que se faça necessária a molhagem das placas para a sua limpeza, estas não deverão ser assentadas antes de sua completa secagem.

. A placa de rocha ornamental limpa e seca será aplicada sobre os cordões de argamassa colante ligeiramente fora de posição, sendo, em seguida, pressionada e arrastada até a sua posição final, de modo a romper os filetes da argamassa. Atingida a posição final, a placa deverá ser suficientemente percutida com os dedos ou com um martelo de borracha, para não danificar sua face polida ou provocar a quebra da mesma. Uma percussão adequada é fundamental, pois aumenta a área de contato da argamassa com a placa, aumentando, assim, a sua resistência ao arrancamento. A percussão deverá ser feita até o extravasamento da argamassa colante pelas laterais da placa (vide Figura 83).



**Figura 83-Detalhe do uso de espaçadores plásticos entre as placas.**

. Após o assentamento, recomenda-se a limpeza da placa num prazo inferior a uma hora, e que deverá ser feita com esponja de espuma de poliuretano limpa e úmida, seguida de secagem com estopa limpa. Preferencialmente, nunca devem ser utilizados ácidos para a limpeza, devido à possibilidade dos mesmos provocarem manchas indesejáveis nas placas (os ácidos, tais como o ácido muriático, podem atacar quimicamente materiais como os mármore e em granitos podem provocar manchas avermelhadas devido à remoção de íons de ferro eventualmente presentes).

### *3.2.9. Rejuntamento*

Para finalizar o processo de assentamento, deve-se utilizar a argamassa de rejuntamento ou simplesmente rejunte, que nada mais é que uma argamassa adequada para aplicações em juntas de assentamento.

Existem no mercado diversos tipos de rejuntas compostos por diferentes aglomerantes e agregados, que podem ser classificados, basicamente, segundo Junginger (2003), como:

- rejuntas cimentícios monocomponentes: apresentam-se como uma parte em pó que necessita apenas de adição de água imediatamente antes da aplicação. Como este é o tipo de rejunte mais comum, o termo monocomponente não acompanha sua especificação. Embora não recebam aditivos líquidos durante o preparo, podem incorporar aditivos em pó na sua formulação;

- rejuntas cimentícios bicomponentes: apresentam-se como duas partes distintas, com uma fração granular seca e outra na forma de emulsão aquosa (aditivo líquido), bastando efetuar a mistura na hora da aplicação;
- rejuntas de base orgânica: são materiais geralmente compostos por dois ou mais componentes pré-dosados que, quando misturados, formam uma pasta homogênea pronta para a aplicação. Como exemplos mais comuns existem os selantes elastoméricos, as resinas epóxi e as resinas furânicas.

A NBR 14992 – Argamassas à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios (ABNT, 2003) faz referência aos rejuntas de base cimentícia são classificadas apenas como Tipo I e Tipo II e são assim definidas:

**Rejuntamento tipo I:** Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas para uso em ambientes internos e externos, desde que observadas as seguintes condições: (a) aplicação restrita aos locais de trânsito de pedestres transeuntes, não intenso; (b) aplicação restrita a placas cerâmicas com absorção de água acima de 3% (grupos II e III – segundo NBR13817); (c) aplicação em ambientes externos, piso ou paredes, desde que não excedam 20m<sup>2</sup> e 18m<sup>2</sup>, respectivamente, limite a partir do qual são exigidas as juntas de movimentação, segundo NBR13753 e NBR13755.

**Rejuntamento tipo II:** Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas, para uso em ambientes internos e externos, desde que observadas as seguintes condições: (a) todas as condições do tipo I; (b) aplicação em locais de trânsito intenso de pedestres/transeuntes; (c) aplicação em placas cerâmicas com absorção de água inferior a 3% (grupo I – segundo NBR13817); (d) aplicação em ambientes externos, piso ou parede, de qualquer dimensão, ou sempre que se exijam as juntas de movimentação; (e) ambientes internos ou externos com presença de água estancada (piscinas, espelhos d'água etc.).

De acordo com Magalhães (2008), os rejuntas Tipo I estão praticamente banidos do mercado por terem diversas restrições e, ainda, não serem tão completos quanto os rejuntas Tipo II que, por serem flexíveis e suportarem maiores tensões, são os mais comumente utilizados. Entretanto, os rejuntas comuns ainda podem ser encontrados quando são dosados em obra com mistura de cimento e areia ou nata de cimento.

Os rejuntas industrializados possuem diversas vantagens frente aos dosados em obra, pois, de acordo com Junginger (2003), o controle de produção e a qualidade de matéria-prima, resultando em boa garantia de homogeneidade, tanto em termos estéticos quanto em propriedades mecânicas, após a aplicação, são algumas dessas vantagens. Ainda segundo o mesmo autor, os rejuntas industrializados são compostos basicamente por cimento, corantes, retentores de água, agregados miúdos selecionados e polímeros em forma de pó redispersível, além de cargas minerais específicas de cada fabricante.

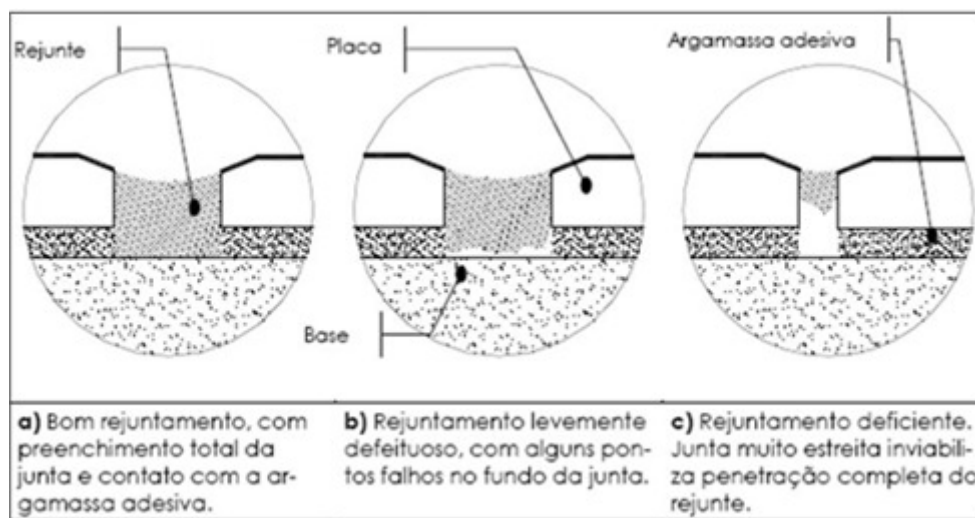
Quanto maiores as solicitações a que o revestimento está exposto, maiores também são os esforços que atuam sobre o rejunte. Por exemplo, a capacidade de deformação do rejunte é muito mais importante numa fachada que recebe insolação e está sujeita a ciclos higrotérmicos do que na maioria dos revestimentos internos, que sofrem variações dimensionais menos intensas (JUNGINGER, *op.cit.*).

Apesar de ser considerado praticamente sem muita função por usuários leigos, a argamassa de rejuntamento ou rejunte, possui diversas funções que são, segundo JUNGINGER *op. cit.*:

- Auxiliar no desempenho estético do revestimento;
- Estabelecer regularidade superficial;
- Compensar variação de bitola e facilitar assentamento das placas;
- Vedar o revestimento;
- Permitir difusão de vapor de água;
- Proporcionar alívio de tensões;
- Otimizar aderência das placas.

Este mesmo autor ainda comenta que uma determinada função pode não ter relevância em alguns casos e que nenhuma ordem de importância é dada às funções, pois determinada função pode ser mais importante que outra, dependendo da situação. Das funções citadas por Junginger *op. cit.*, uma delas tem fundamental importância na ocorrência de patologias que é vedar a passagem de agentes deletérios para trás do revestimento ou, em outras palavras, tem a função de vedar o revestimento, impedindo a passagem de água que pode levar ao surgimento de manchas provenientes de lixiviação,

danos por ciclos de secagem/umedecimento entres outros, como juntas não preenchidas ou mal preenchidas. Quanto a este último fato, Junginger *op. cit.* relata que podem ocorrer juntas preenchidas apenas superficialmente, formando uma capa frágil que pode desagregar-se após alguns meses da entrega da obra, conforme mostrado na Figura 84.



**Figura 84-Condições de rejuntamento.**

Fonte: Magalhães (2008)

Junginger *op. cit.* ressalta ainda que esta situação pode ser agravada pela adição de água ao rejunte cimentício com o objetivo de deixá-lo mais fluído facilitando sua penetração, o que pode ocasionar aumento de porosidade, queda de resistência e desagregação prematura por fissuras entre o rejunte e a placa, por fissuras no rejunte ou através do corpo do rejunte quando o mesmo não apresenta compacidade suficiente para evitar que a água transpasse. Ainda conforme Junginger *op. cit.*, o rejunte é um componente do revestimento tão essencial quanto qualquer outro para o desempenho do conjunto.

A durabilidade do sistema de revestimento não é eterna e está diretamente ligada ao estado de degradação do rejunte, bem como da sua concepção, execução e manutenção.

Caso o comportamento do rejunte, ou melhor, seu desempenho, seja prejudicado por falha de aplicação ou especificação, a vida útil do revestimento pode ficar comprometida.



Para o correto preenchimento das juntas de assentamento, deve-se amolentar a argamassa de rejuntamento de modo que fique com consistência plástica e sua aplicação deverá ser preferencialmente com auxílio de desempenadeira emborrachada, pois o uso da metálica poderá causar riscos nas placas de rocha (vide Figura 85).



**Figura 85-Aplicação do rejuntamento.**

Cumprе ressaltar que a finalização do revestimento se dá com a execução das juntas de movimentação, dessolidarização e estruturais.

Para esta etapa são sugeridos selantes dos tipos:

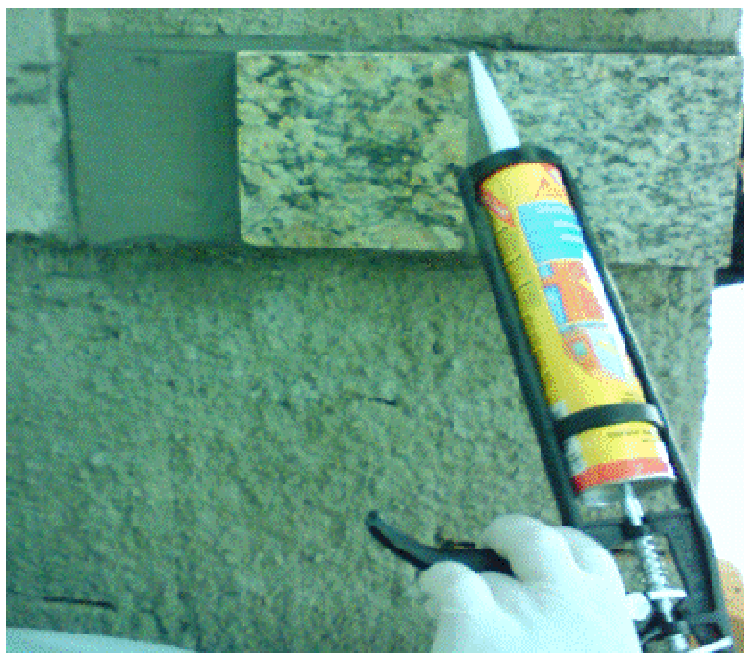
.Poliuretanos: produtos à base de polímeros sintéticos, produzidos pela reação de poliálcool e isocianato;

.Silicones: produtos à base de silício e os de cura neutra são os mais indicados;

.Silicones híbridos: produtos à base de poliéster com terminações de silano.

Importante lembrar que os materiais usados para preenchimento das juntas devem: evitar a passagem de água; permitir as movimentações de retração causadas pela hidratação do cimento, variação térmica, etc; acomodar variações dimensionais previstas em projeto; absorver movimentações de materiais diferentes; permitir mudanças de plano de fachada.

A aplicação com bisnaga está exemplificada na Figura 86.



**Figura 86-Aplicação de selante com uso de bisnaga.**

Pelo exposto percebe-se a importância da correta especificação das argamassas pois suas características afetam a aderência. Dentre as propriedades, vale destacar, a capacidade de retenção de água, a consistência e a plasticidade.

Todos os fatores que interferem na capacidade de retenção de água e na consistência da argamassa influem na aderência. Dentre eles destacam-se: a relação água/aglomerante, a relação aglomerante/agregado; a granulometria do agregado; a natureza e a qualidade do aglomerante e ainda, os aditivos incorporados à argamassa, como por exemplo os retentores de água e os incorporadores de ar. A alteração de qualquer um desses fatores na composição da argamassa modifica acentuadamente as suas propriedades e, portanto, os resultados obtidos com ela.

# CAPÍTULO 4 – ESTUDO DA ADERÊNCIA

---

Quando existe a sobreposição de dois materiais com a interveniência de um adesivo, diz-se que aderência é a capacidade de se manter estável a união entre eles. De acordo com Callister JR (2002), um adesivo é uma substância usada para colar as superfícies de dois materiais sólidos e a ruptura poderá ocorrer tanto nos materiais aderidos quanto no próprio adesivo. No caso das fachadas revestidas com placas de rochas, tem-se que os materiais aderidos são a camada de emboço e as placas de rochas; o adesivo é a camada de argamassa utilizada no assentamento das placas (podendo ser tradicional ou colante).

Os sistemas de aderência das argamassas podem ser divididos em sistemas mecânicos e químicos, conforme descrito a seguir.

## *4.1. Sistema de aderência mecânico*

Apresenta-se como o principal sistema responsável pela aderência da argamassa à base (seja ela um substrato ou elemento de revestimento) e é descrito por Sugo et al. (2001) como um sistema complexo que envolve o transporte dos fluidos e dos finos da argamassa para a interface da argamassa/base seguido da hidratação dos materiais cimentícios.

Carasek et al. (1997) identificam que o termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e uma base porosa; esta base, o substrato, geralmente é representada pela alvenaria (podendo ser esta constituída por blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular, blocos sílico calcários, etc.) ou pela estrutura de concreto moldado “in loco”.

Carasek et al. (2001) corroboram as afirmações de Sugo et al. (2001) considerando que a aderência da argamassa endurecida ao substrato ou elemento de revestimento é um fenômeno essencialmente mecânico, devido, basicamente, à penetração de pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Segundo os autores, quando a argamassa no estado plástico entra em contato

com a superfície absorvente, parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, penetra nos poros e cavidades destes materiais. No interior destes, ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal, e, transcorrido algum tempo, com a cura, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base.

Carasek (1996), também, através de estudos realizados com o MEV, observou que a aderência decorre do intertravamento principalmente de etringita ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$  – trissulfoaluminato de cálcio hidratado: um dos produtos da hidratação do cimento) no interior dos poros do substrato. Segundo a autora, este aumento local da concentração de etringita surge quando, ao se misturar o cimento Portland com água, a gipsita empregada como fonte reguladora de pega do cimento dissolve-se e libera íons sulfato e cálcio; estes íons são os primeiros a entrar em solução, seguidos dos íons aluminato e cálcio provenientes da dissolução do  $\text{C}_3\text{A}$  do cimento.

Devido ao efeito de sucção ou absorção capilar causado pela base porosa, tais íons em solução são transportados para regiões mais internas do substrato formando, no interior dos poros, o trissulfoaluminato de cálcio hidratado (etringita). Em virtude do processo mais rápido de dissolução dos íons  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{AlO}_4^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e de precipitação da etringita, este produto preenche prioritariamente os poros capilares e superficiais, deixando menos espaço para a precipitação de outros produtos de hidratação do cimento, tal como o CSH, por exemplo, ou mesmo produtos posteriores da carbonatação da cal, tal como a calcita (que aparecem em menor quantidade na região da interface).

Gallegos (1995), em seu trabalho acerca da aderência entre a argamassa e as unidades de alvenaria, identifica ser a aderência proveniente da penetração de cristais de cimento hidratado nos poros das unidades de alvenaria, sendo este fenômeno dependente da interação hídrica entre a argamassa e a unidade de alvenaria, da temperatura, da retenção de água e da composição da argamassa e da qualidade do processo construtivo. O autor também observa que análises da interface de contato entre a argamassa e a unidade de alvenaria têm identificado a etringita como a substância que forma, nos poros da unidade de alvenaria, cristais hexagonais em forma de agulha, com diâmetro de  $0,05\mu\text{m}$ .

Gallegos *op. cit.* ressalta ainda a importância do uso da cal para a manutenção da aderência, observando que as obras de alvenaria estanques e que não apresentam fissuras tem sido sempre assentadas com argamassas de cimento e cal, enquanto que as constituídas somente com o aglomerante cimento apresentam infiltrações e fissurações, sendo que isto decorre do fato de que o cimento, sem a presença da cal, produz argamassas pouco trabalháveis que geram um contato tentacular – forte, porém incompleto – na interface argamassa/unidade de alvenaria e se retrai ao avançar em seu processo de hidratação. A cal permite aumentar a extensão da aderência, endurece lentamente mantendo a argamassa “elástica” e resistindo a fissuras de maneira autógena ao ocorrer sua carbonatação.

A interação da argamassa/substrato é descrita por Carasek et al. (2001) através da *teoria dos poros ativos* – modelo proposto por Détriché (1985) e Dupin et al. (1988) – que considera o fluxo de água entre a argamassa e o substrato como a interação de dois sistemas de poros. O sistema de poros do substrato é modelado através de um conjunto de tubos cilíndricos paralelos independentes, abertos, perpendiculares à superfície da argamassa, de raios constantes ao longo do tempo e inicialmente vazio. A argamassa fresca também é encarada como um sistema de poros, aonde o raio de seus tubos vai diminuindo, à medida que progride a hidratação dos aglomerantes da argamassa. Este modelo indica que, enquanto os raios médios dos capilares da argamassa são superiores aos dos capilares do substrato, o movimento da água se efetua no sentido da argamassa para o substrato. Esta sucção é acompanhada de um aperto mecânico das partículas sólidas da argamassa pela ação da depressão dos capilares, que se traduz por uma retração quase imediata da camada de argamassa e uma aceleração da cristalização dos produtos hidratados consecutivos ao crescimento da hidratação em íons dissolvidos. O resultado desse mecanismo é uma diminuição do raio médio dos capilares da argamassa, até se tornar igual ao dos capilares do substrato. Quando o raio médio dos capilares da argamassa torna-se inferior ao dos capilares da base, o sentido do movimento da água é invertido.

Ainda segundo Gallegos *op. cit.*, a sucção, a quantidade de poros capilares e a estrutura dos mesmos (forma, textura interna e distribuição dos poros) e a textura da superfície da face de assentamento são as características da unidade de alvenaria associadas ao seu potencial de aderência com a argamassa, conforme descrito a seguir:

- a) Sucção: avaliada através do ensaio IRA – *Initial Rate of Absorption* (ASTM C-67, 1997), que expressa a avidéz de água dos poros capilares da face de assentamento da unidade de alvenaria nos primeiros momentos de seu contato com a água. Em unidades de argilas secas, varia de 10 até 160 gramas. Em unidades de blocos de concreto e blocos sílico-calcários, varia de 20 a 50 gramas.
- b) Quantidade de poros capilares: a porosidade total é a medida do espaço não ocupado pelos sólidos (nas alvenarias, varia de 25% para unidades bem compactas até 50% para unidades porosas). Como a unidade só absorve água através de seu sistema de poros capilares, a porosidade total não é um bom indicador de seu potencial de absorção. Já o volume de poros capilares varia entre 10% – para unidades muito compactas produzidas com argilas extrudadas – e 30% para unidades produzidas com argilas porosas. Considerando ainda que poros capilares com raio médio inferiores a 0,1  $\mu\text{m}$  não são considerados poros ativos (por que absorvem quantidades insignificantes de água) e descontando-se então estes poros, os novos valores de volume de poros capilares seriam de 5 a 6% para unidades compactas de blocos sílico-calcários e 8 a 9% para as unidades compactas de argila, sendo que unidades porosas de argila ainda poderiam alcançar 30%.
- c) Estrutura de poros das unidades: os poros das unidades sinterizadas podem ser assimilados a condutos cilíndricos de textura suave. Já os poros das unidades de matriz cimentícia se assemelham mais a uma sucessão de esferas secantes e são de textura rugosa, tanto devido à sua forma como devido à presença de cristais de hidratação na superfície dos agregados.
- d) Sucção e estrutura de poros da unidade de alvenaria: segundo o modelo de análise da absorção capilar que considera a estrutura porosa da unidade como um conjunto de tubos capilares cilíndricos, paralelos, abertos, perpendiculares à superfície da água e com diâmetros diversos, é possível associar ao raio médio do conjunto de poros capilares os valores fundamentais do fenômeno capilar: o peso de água absorvida pelo sistema de poros e a força capilar que é o motor da absorção capilar. O peso da água absorvida pode ser expresso pela equação:

$$\text{Peso da água} = C_1 N R^{2,5} t^{0,5}$$

Onde:

$C_1$ : constante dependente diretamente da tensão superficial e da densidade da água e inversamente proporcional à sua viscosidade dinâmica

$N$ : número de poros capilares na superfície analisada

$R$ : raio médio do conjunto de poros capilares

$t$ : tempo decorrido desde o contato da unidade com a água

- e) Sucção e estrutura dos poros da unidade de alvenaria e sua relação com a argamassa: na interação unidade de alvenaria/argamassa, os poros de maior diâmetro da unidade (acima de  $5\mu\text{m}$ ) serão inoperantes, devido ao fato de não apresentarem força capilar suficiente para vencer a força oriunda dos poros da argamassa (isto equivale a dizer que unidades de alvenaria com elevada sucção não têm que necessariamente absorver mais água da argamassa que unidades com valores de sucção intermediária). Observa-se ainda que unidades de alvenaria compostas de blocos sílico-calcários retiram mais água das argamassas que unidades de argila (como consequência de ser capilarmente ativa por mais tempo). Em termos práticos, a unidade de argila termina de absorver água uns cinco minutos depois do contato, enquanto a unidade sílico-calcária permanece absorvendo por várias vezes este tempo. Este fato leva a crer que o ensaio IRA (ASTM C-67, 1997) – que avalia a absorção de água que ocorre no primeiro minuto – pode apresentar uma medida representativa para unidades de argila, mas certamente não o será para unidades sílico-calcários.

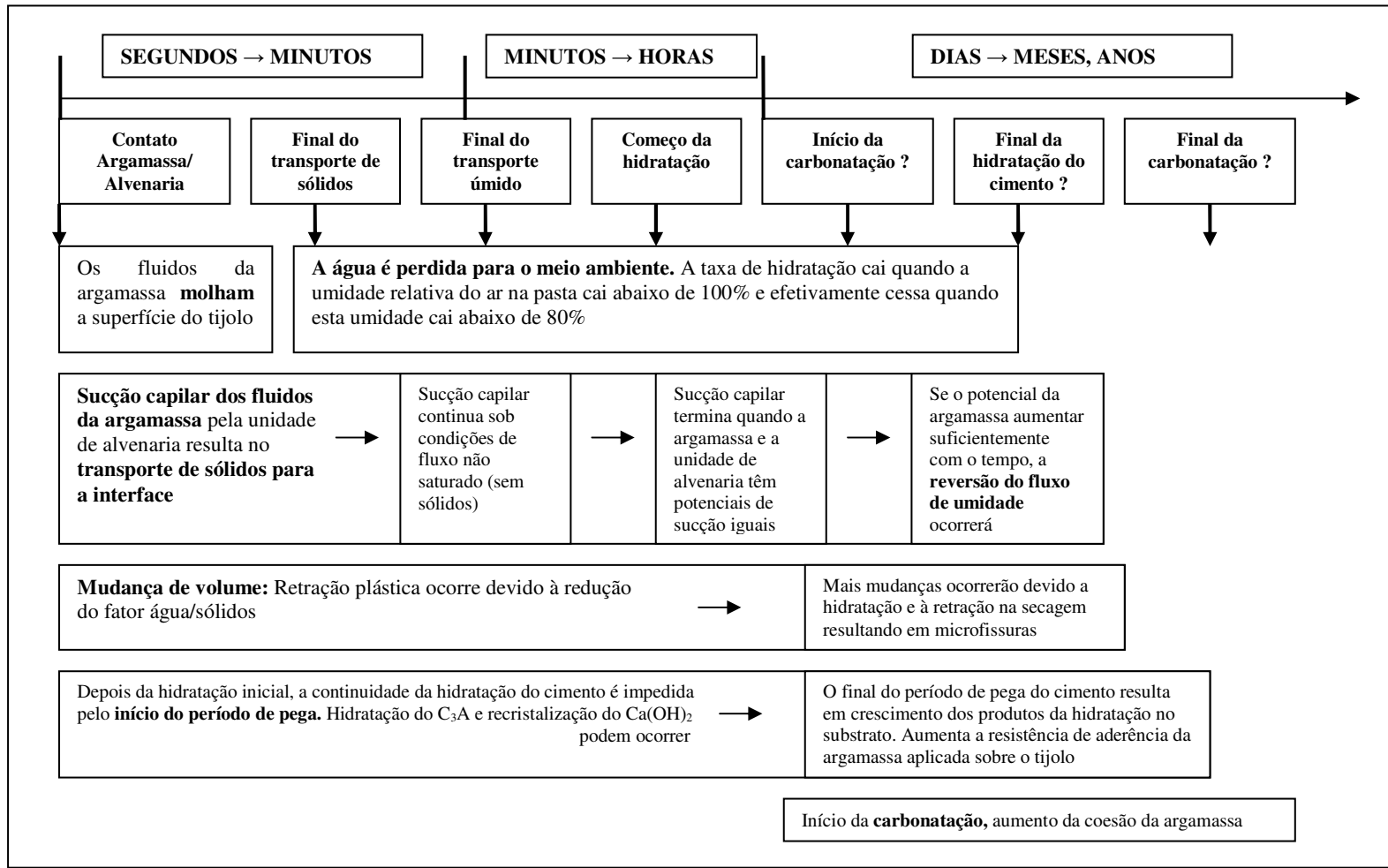
A partir da descrição do processo de formação de aderência, Sugo et al. (2001) concluíram que a sucção dos fluidos da argamassa, associada ao transporte de sólidos para a interface argamassa/unidade de alvenaria, representam um importante papel no desenvolvimento da aderência. A interação entre a unidade de alvenaria e a argamassa limita a utilidade de testes básicos, tais como o IRA (ASTM C-67, 1997), para prever a resistência de aderência. Um modelo mais complexo associado às características de sucção da unidade de alvenaria, à reologia da pasta e às propriedades de sucção, seria necessário para avaliar a compatibilidade entre a argamassa e a unidade de alvenaria. Em seu trabalho experimental, os autores mostraram que a adição de cal hidratada é benéfica para a aderência. A cal hidratada aumenta a trabalhabilidade, a retenção de umidade e contribui para o volume da pasta. Os exames dos micro constituintes na

interface argamassa/unidade de alvenaria mostraram, para tijolos compostos de argila e argamassa de cimento e de cimento/cal, que o  $\text{Ca(OH)}_2$  e o CSH foram formados (com alguma menor variação na morfologia do CSH). Esta informação não chega a contrastar, mas pelo menos complementa a opinião de vários outros autores (já citados nesta seção) que afirmam encontrar uma presença maciça de trissulfoaluminato de cálcio hidratado (etringita) na interface argamassa/unidade de alvenaria. O esquema apresentado na Figura 87 (de autoria de Sugo et al., 2001) ilustra os diferentes processos que ocorrem durante o desenvolvimento do sistema de aderência mecânica de uma argamassa à base.

Taha & Shrive (2001) também observaram haver diferentes considerações de diversos autores a respeito da existência e do papel dos cristais de  $\text{Ca(OH)}_2$  na interface argamassa/unidade de alvenaria, conforme exposto:

- a) Lange et al. (2001) observaram muito poucos cristais de  $\text{Ca(OH)}_2$  na interface argamassa/unidade de alvenaria e relataram ser sua contribuição para a resistência de aderência insignificante.
- b) Lawrence & Cao (1988), Sugo et al. (1997), Reda & Shrive (2000) e SUGO (2001) mostraram, através de investigações realizadas utilizando DRX e MEV, que existe uma considerável quantidade de  $\text{Ca(OH)}_2$  na interface argamassa/unidade de alvenaria e, ainda, que esta quantidade é substancialmente aumentada quando a cal é incluída na mistura. Cristais grosseiros de  $\text{Ca(OH)}_2$  também foram observados quando foram utilizadas unidades de alvenaria compostas de argila e na condição saturada.
- c) Chase (1984), Lawrence & Cao (1987) e Mcginley (2001) atribuíram a aderência mecânica da argamassa à unidade de alvenaria principalmente ao entrelaçamento de uma larga rede de fibras de C-S-H crescendo na superfície da unidade de alvenaria.





**Figura 87-Processos de desenvolvimento de aderência mecânica.**

Fonte: SUGO (2001)

Ainda segundo Taha & Shrive (2001), a resistência de aderência depende de vários fatores inter-relacionados que podem afetar o desenvolvimento da aderência de maneira direta (absorção superficial da unidade de assentamento, estrutura dos poros, composição da argamassa, retenção de água da argamassa e condições de cura) ou indireta (textura superficial dos materiais aplicados e habilidade do pedreiro). Enquanto as características da absorção superficiais definem a taxa e o volume de água retirada da argamassa para a unidade de assentamento, a qualidade da argamassa define a quantidade de água disponível na interface e a resistência dos produtos da hidratação do cimento, depositados nos poros superficiais da unidade de assentamento.

A qualidade requerida da argamassa não é necessariamente representada por sua resistência à compressão, porém, por outros critérios, tais como trabalhabilidade, retenção de água e plasticidade. A interação da absorção superficial da unidade da alvenaria e da qualidade da argamassa determina a eficiência de dois processos físicos que controlam o desenvolvimento da aderência na interface: *densificação* e *secagem* (GROOT, 1997 e LANGE et al., 1999). A *densificação* representa a consolidação dos produtos da hidratação na interface argamassa/unidade de assentamento, enquanto a *secagem* representa a redução da água disponível para completar o processo de hidratação na interface como resultado da sucção da unidade de assentamento. A otimização (equilíbrio) entre a água requerida e a água disponível na interface argamassa/unidade de assentamento contribui para o desenvolvimento da aderência na interface (McGINLEY, 2001 e TAHA et al., 2001).

Finalmente, Taha & Shrive (2001) também concluem, em concordância com diversos autores já citados, que a interface argamassa/unidade de assentamento é rica em trissulfoaluminato de cálcio hidratado (etringita). A etringita apresenta-se como cristais hexagonais no formato de agulha e sua formação ocorre durante os primeiros estágios da hidratação do cimento, sendo fruto da reação entre o  $C_3A$  e o gesso. Com o progresso da hidratação a etringita é usualmente convertida em monosulfoaluminato, que é mais estável que a etringita (MEHTA, 1986). A existência da etringita nas idades mais avançadas tem sido atribuída à ausência de água (provocada pela sucção da unidade de alvenaria) necessária para que o processo de hidratação continue (LAWRENCE & CAO, 1988). Taha & Shrive (2001) observaram também a presença de cristais de  $Ca(OH)_2$  na interface argamassa/unidade de assentamento.

## 4.2. Sistema de aderência químico

Taha & Shrive *op. cit.* descrevem ser largamente aceito que a aderência às alvenarias se desenvolve segundo dois mecanismos: a aderência química, onde a resistência de aderência advém de forças covalentes ou forças de van der Waals desenvolvidas entre a unidade de alvenaria e os produtos da hidratação do cimento e a aderência mecânica (descrita mais detalhadamente no item anterior) que é formada pelo intertravamento mecânico dos produtos da hidratação do cimento, transferidos para a superfície dos poros da unidade de alvenaria. Segundo os autores, Kampf (2001) mostrou que a resistência de aderência entre uma argamassa e placas de vidro atinge cerca de 1/10 da resistência de aderência entre esta mesma argamassa aplicada sobre unidade de alvenaria de tijolos, donde o pesquisador concluiu que a contribuição do sistema mecânico para a resistência de aderência é muito superior que a contribuição do sistema químico.

O que mantém as moléculas unidas nos estados sólido e líquido são as chamadas interações intermoleculares. Entretanto, o sistema de aderência químico pode ser melhorado através da introdução de aditivos, sejam com função adesiva (caso do SBR – Estireno Butadieno) ou também como redutores da tensão superficial da água (neste caso, aumentando a molhabilidade). A introdução destes produtos se apresenta como uma interessante alternativa para compensar a baixa porosidade de alguns materiais.

Do exposto, percebe-se que a resistência de aderência pode ser definida como a capacidade que a interface rocha/argamassa possui de absorver tensões normais (tração) e tangenciais (cisalhamento) a ela sem romper-se.

Assim sendo, pode-se dizer que a aderência deve ser entendida como uma conjugação de duas propriedades da interface do rocha/argamassa: a resistência de aderência à tração; a resistência de aderência ao cisalhamento, as quais são muito influenciadas pela extensão de aderência (que corresponde à razão entre a área de contato efetivo rocha/argamassa e a área total possível a ser unida) e assim resumidas:

- resistência de aderência à tração: é a resistência que a interface rocha/argamassa oferece quando submetida a uma força que atua perpendicularmente a ela no sentido de separar a placa da argamassa;
- resistência de aderência ao cisalhamento: é a resistência que a interface rocha/argamassa oferece quando submetida a uma força que age no seu plano, no sentido de separar a placa da argamassa.

Pode-se afirmar que, de modo geral para as argamassas, todos os fatores que interferem na capacidade de retenção de água e na consistência influem na aderência. Dentre eles, destacam-se: a relação água/aglomerante, a relação aglomerante/agregado; a granulometria do agregado; a natureza e a qualidade do aglomerante e ainda, os aditivos incorporados à argamassa, como por exemplo os retentores de água e os incorporadores de ar. A alteração de qualquer um desses fatores, de acordo com Aguilar *et. al.* (2004) altera as propriedades e, por extensão, qualquer variação na composição da argamassa modifica acentuadamente as suas propriedades e, portanto, os resultados obtidos com ela.

Segundo Joisel (1965) outro fator que pode provocar perda de aderência é aplicação da argamassa sobre a base seca. Quando o suporte está seco, a camada que está diretamente em contato pode sofrer uma rápida perda de água pela higroscopicidade, diminuindo sua plasticidade e não favorecendo a penetração da pasta nos interstícios.

Por tudo o que foi anteriormente discutido, percebe-se que a resistência de aderência deve ser um parâmetro fundamental para a escolha e especificação da argamassa e da técnica de assentamento.

# CAPÍTULO 5 – FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DAS ROCHAS E DAS ARGAMASSAS

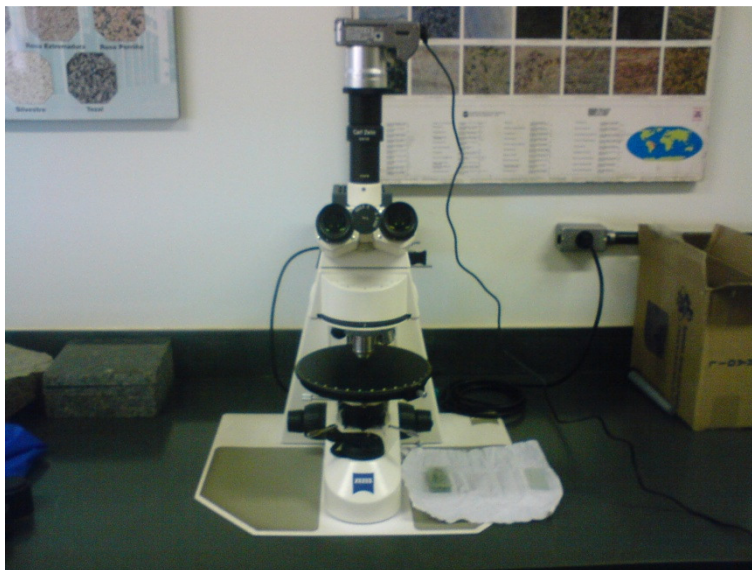
---

O programa experimental foi elaborado tendo como objetivo estudar os mecanismos de aderência de alguns tipos de rochas ornamentais ao substrato, com variações das argamassas de assentamento e análise da resistência de aderência em três períodos de tempo. Desta forma procurou-se, através dos experimentos, correlacionar as características dos materiais e seu desempenho, posto que este assunto não está bem definido na bibliografia. Para esclarecer mais ainda os mecanismos de aderência buscou-se um estudo da microestrutura da interface rocha/substrato.

Cumprе ressaltar que para efeito de análise de materiais, são vários os métodos e ferramentas de análise, porém neste trabalho foram escolhidos alguns que são aplicáveis ao material que se apresenta na forma de sólido (rochas) e em pó (argamassa) em função da possibilidade de revelar as características individuais das rochas, da argamassa e também do conjunto rocha +argamassa. Estes métodos são abordados na seqüência.

## 5.1. Microscopia petrográfica

O microscópio petrográfico (mostrado na Figura 88) é um instrumento utilizado na observação de rochas e minerais, possibilitando ampliações que podem chegar até às 400X. Neste tipo de microscópio, a fonte de luz encontra-se na parte inferior do mesmo, sendo a luz conduzida por um sistema de lentes que, atravessando a amostra de rocha, permite a sua observação. Distingue-se do microscópio ótico comum em dois pontos essenciais: (1)possui platina rotativa e (2)possui dois filtros polarizadores, chamados de nicóis, um situado abaixo da platina chamado filtro polarizador e outro acima desta chamado filtro analisador.



**Figura 88-Microscópio Petrográfico utilizado para analisar lâminas delgadas.**

A platina rotativa é muito importante para que possam ser determinadas propriedades dos minerais quando atravessados pela luz, porque a maioria dos minerais comporta-se de maneira diferente consoante a direção em que a luz os atravessa. Quando se gira a platina, pode-se variar a direção em que a luz atravessa o mineral e observam-se as suas diversas propriedades.

De uma forma simplista, pode-se dizer que a luz branca é formada por vários comprimentos de onda que vibram em todas as direções. Quando a radiação da luz atravessa os filtros, as respectivas ondas passam a vibrar apenas num único plano, então chamada luz polarizada. No microscópio petrográfico, os dois filtros, polarizador e analisador estão colocados de modo a que os respectivos planos de polarização sejam perpendiculares, isto é, o campo do microscópio apresenta-se escuro quando ambos estão inseridos.

Para a observação em luz transmitida, as amostras têm que ser o mais transparentes possível. Assim, as rochas são cortadas numa fatia muito fina, colocada numa lâmina, com aproximadamente 0,03 mm de espessura.



**Figura 89-Lâmina delgada preparada para análise ao microscópio petrográfico.**

## 5.2. Índices físicos das rochas

Os índices físicos abrangem a massa específica aparente, absorção d'água e porosidade aparente. Estes índices definem relações básicas entre a massa e o volume das amostras de um determinado tipo de rocha.

O termo “aparente” empregado para a massa específica e porosidade, indica que o volume medido para as determinações é relativo ao volume total das amostras analisadas, ou seja, o volume de sólidos mais o volume de poros ou espaços vazios.

A massa específica aparente é expressa em  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$  ou  $\text{t/m}^3$ , indicando o peso das unidades de volume de uma determinada rocha. A porosidade aparente e a absorção d'água são expressas em porcentagem, indicando respectivamente a porcentagem total de espaços vazios em um volume de rocha e a porcentagem de espaços vazios intercomunicantes nesse mesmo volume.

A massa específica aparente e a porosidade aparente fornecem indicações sobre a resistência físico-mecânica da rocha, mediante esforços compressivos e de flexão. O índice de absorção d'água, por sua vez, indica a quantidade de água que a amostra de rocha pode absorver.

Pode-se assim deduzir que os valores dos índices físicos são inter-relacionados. Por exemplo, quanto menor a densidade aferida para uma amostra, 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.

Em resumo, a porosidade aparente mostra relação direta com a resistência físico-mecânica das rochas; a absorção d'água, com a possibilidade de infiltração de líquidos; e a massa específica aparente, com os aspectos de resistência físico-mecânica.

### 5.3. Análise com microscópio eletrônico de varredura (MEV)

De acordo com Padilha & Ambrozio Filho (1985), no estudo de materiais de engenharia três tipos de microscopia são utilizados em grande extensão: microscopia ótica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia eletrônica de transmissão (MET).

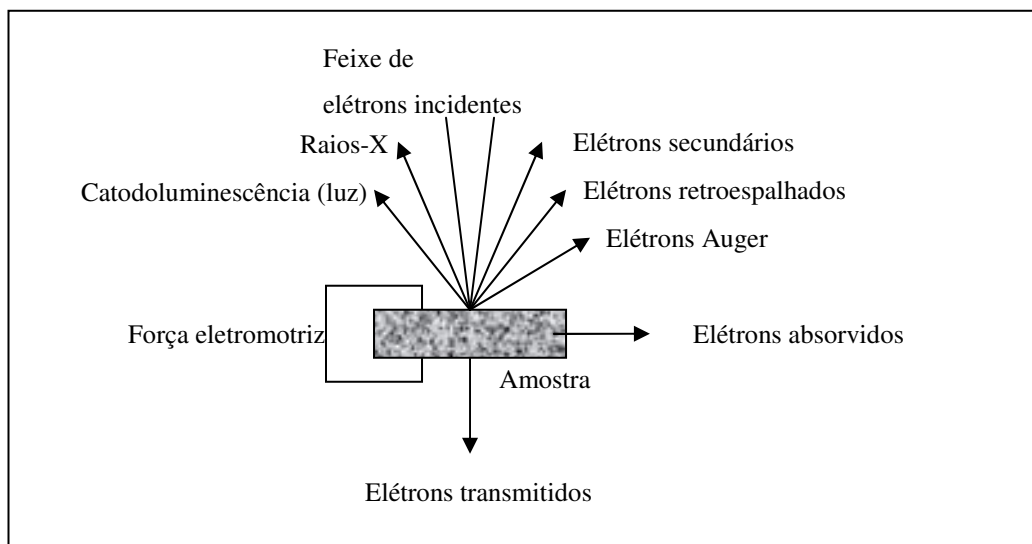
Destaca-se, entretanto, o potencial do MEV para a análise de superfícies irregulares (como no caso das amostras não polidas de argamassas e das amostras de conjuntos argamassa/bloco cerâmico que serão avaliadas neste trabalho) devido à sua excelente profundidade de foco e ampla faixa de aumentos. Este instrumento é utilizado para a análise morfológica dos materiais (avaliação da argamassa e da interface argamassa/bloco cerâmico).

Segundo Goldstein (1982), a formação de imagem no MEV se dá através de elétrons de alta energia que são focados em um feixe fino, o qual é varrido sobre a superfície da amostra. Interações complexas do feixe de elétrons com os átomos da amostra produzem uma larga variedade de produtos de radiação.



Componentes desta radiação são coletados pelos detectores específicos e o sinal resultante é amplificado e exibido num tubo de raios catódicos ou tela de televisão, varrido em sincronismo com a varredura da amostra.

Brandão (2001) identifica na Figura 90 os processos de interação possíveis durante a incidência de um feixe de elétrons em uma amostra sólida.



**Figura 90-Processos de interação possíveis.**

Fonte: BRANDÃO (2001)

Os elétrons Auger apresentam energia levemente superior a 1.500 eV e profundidade de escape entre 2 e 20Å e são utilizados em espectroscopia Auger (PADILHA & AMBROSIO FILHO, 1985).

Os elétrons secundários apresentam energia relativamente baixa (< 100eV) e provém de uma área (volume) relativamente pequena da amostra (< 10nm). Apresentam excelente resolução e potencial para formação de imagens com elevados aumentos máximos (30.000 a 100.000X). O contraste dependerá da massa específica do material da amostra (materiais com menores massas específicas serão observados com tonalidades mais escuras e materiais com maiores massas específicas serão observados com tonalidades mais claras), bem como da topografia da amostra (os topos apareceram com tonalidades mais claras e os fundos dos vales com tonalidades mais escuras; superfícies planas apresentaram tonalidades médias) (BRANDÃO, 2001).

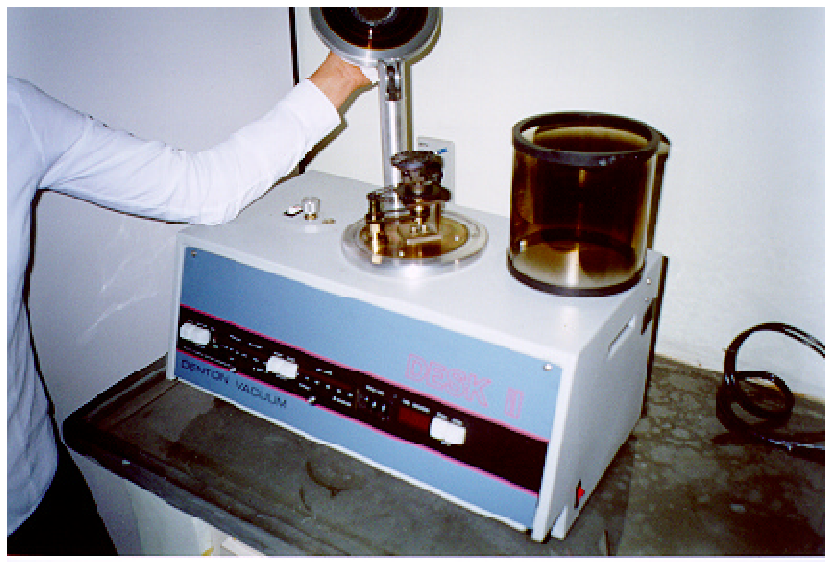
Os elétrons retroespalhados apresentam energia relativamente alta (20 a 25keV) e provém de uma área (volume) mediana da amostra (aproximadamente 100nm de diâmetro). Apresentam média resolução e potencial para formação de imagens com medianos aumentos (máx. 5.000X). O contraste, assim como no caso dos elétrons secundários, dependerá também da massa específica do material da amostra, da topografia da amostra e ainda da composição química (número atômico médio) do material da amostra. Os detectores do tipo COMPO ou TOPO podem respectivamente priorizar nas análises a composição química (incentivam o contraste – as fases de maior número atômico aparecem mais claras e as de menor mais escuras) ou a topografia (minimiza o efeito da composição química e maximiza o efeito topográfico da amostra conforme BRANDÃO, 2001).

Os elétrons absorvidos correspondem à fração dos elétrons primários que perdem toda sua energia na amostra, constituindo a chamada corrente da amostra (PADILHA & AMBROSIO FILHO, 1985).

Os raios-X são utilizados na microanálise do material. De acordo com a Lei de Moseley, a energia dos fótons emitidos do volume irradiado da amostra é proporcional ao número atômico. O volume excitado para a radiação-X é dado pelo espalhamento do feixe primário de elétrons com o núcleo do átomo. A zona excitada é maior que o diâmetro do feixe, devido a mudanças no momento do elétron. O volume dos raios-X produzidos é determinado essencialmente pela energia do feixe primário; entretanto, o formato deste volume depende particularmente do número atômico (PADILHA & AMBROSIO FILHO, 1985).

Os elétrons transmitidos são utilizados na microscopia eletrônica de transmissão (PADILHA & AMBROSIO FILHO, 1985) e a catodoluminescência (luz emitida) é analisada utilizando-se equipamentos específicos para esta finalidade. Segundo Brandão (2001), o vértice do feixe de elétrons deve apresentar o menor diâmetro possível (aproximar-se o quanto for possível de um ponto). Quanto menor este diâmetro um maior nível de detalhes poderá ser percebido na amostra (ou seja, maior será o aumento máximo potencial). O instrumento a ser utilizado na realização deste trabalho apresenta este diâmetro da ordem de 5nm (o que, no limite, permitiria obter aumentos da ordem de até 100.000X). Brandão (2001) observa ainda a necessidade de preparo da amostra

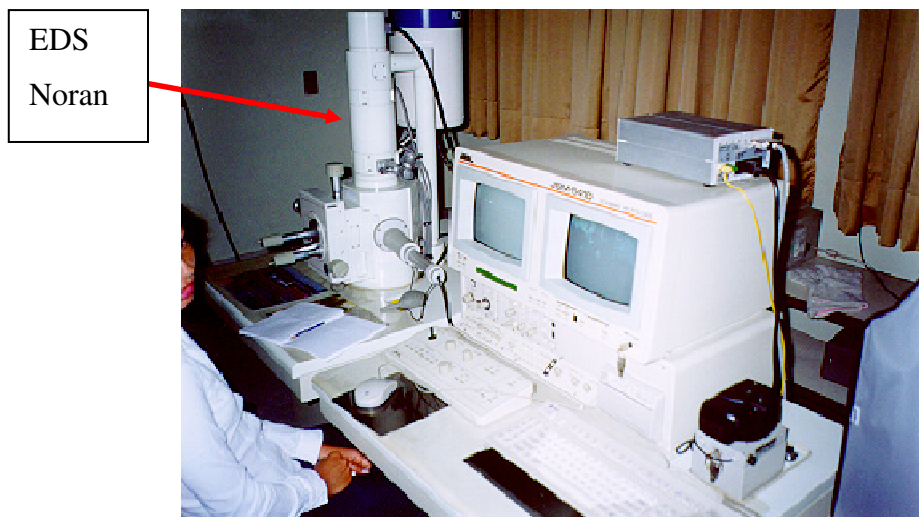
para que a mesma se torne condutora (através, por exemplo, da metalização desta utilizando-se uma liga de ouro e paládio em equipamento DESK II (pela técnica de *sputter*) como na Figura 91.



**Figura 91-Equipamento Desk II.**

A amostra condutora é aterrada para que se dissipe a carga elétrica negativa de sua superfície oriunda da absorção dos elétrons do feixe primário. A cobertura condutora e o contato com o porta-amostras também permitem a remoção do calor gerado pela interação do feixe de elétrons com a amostra. Posteriormente, a amostra é posicionada na câmara do MEV, onde é colocada no vácuo apropriado, da ordem de  $10^{-5}$  a  $10^{-6}$  Torr, para que então se proceda a sua análise.

A Figura 92 apresenta um exemplo de MEV, sendo que este modelo possui acoplado a ele uma microsonda EDS.



**Figura 92-MEV JEOL 5410 com EDS acoplado.**

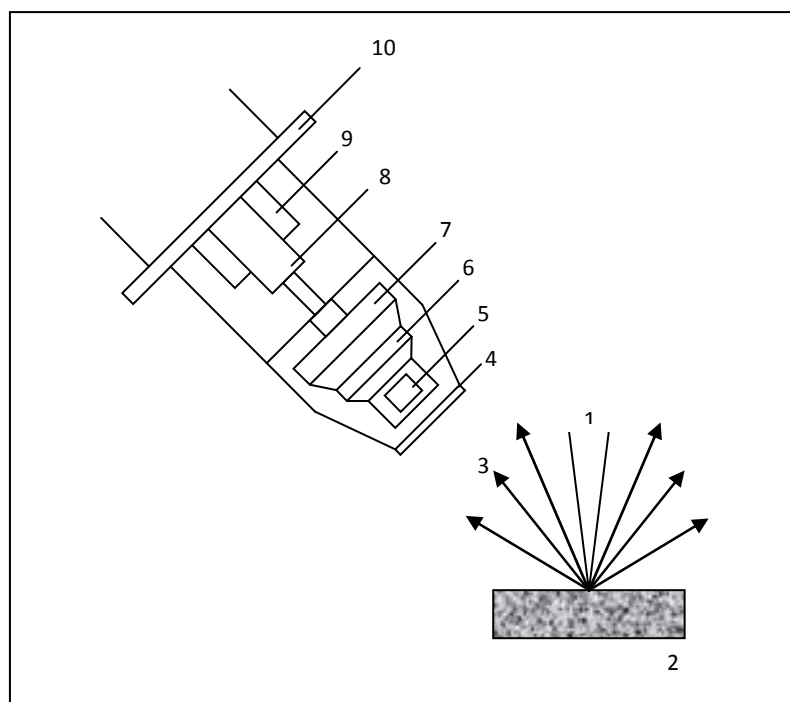
## 5.4. Análise utilizando-se microanalisador EDS

A utilização do microanalisador EDS (espectrômetro dispersivo em energia) tem como finalidade, nesta análise, a identificação dos constituintes da argamassa, do corpo-de-prova de rocha e da interface argamassa/rocha através de análise química.

Segundo Brandão (2001), as principais características deste instrumento são:

- a) Apresenta somente um componente essencial: o detector de estado sólido, constituído de silício (Si) dopado com lítio (Li).
- b) O equipamento não apresenta partes móveis.
- c) É gerado um espectro simultâneo.
- d) Apresenta funcionamento conceitualmente simples.
- e) É relativamente barato (em comparação com os demais utilizados para este tipo de análise).

O esquema da Figura 93 ilustra os principais constituintes do microanalisador EDS em conjunto com o feixe de elétrons incidentes e os raios-X emitidos pela amostra (BRANDÃO, 2001).



**Figura 93-Principais constituintes do EDS.**

Fonte: BRANDÃO (2001)

**Legenda:**

- 1 – feixe de elétrons incidentes
- 2 – amostra
- 3 – raios-X emitidos pela amostra
- 4 – colimador de raios-X
- 5 – armadilha para elétrons (campo magnético que age como um filtro para impedir a passagem de elétrons e permitir que só passem raios-X)
- 6 – janela
- 7 – cristal detector de raios-X
- 8 – “dedo frio” (filamento condutor de calor, para garantir temperaturas abaixo de 200°C negativos na região, por contato com nitrogênio líquido)
- 9 – sonda de aço inox
- 10 – flange de vácuo

Exemplifica-se este instrumento através do microanalisador EDS NORAN, modelo TN-M3055, utilizando em conjunto o software VOYAGER (fazem parte da Figura 92).

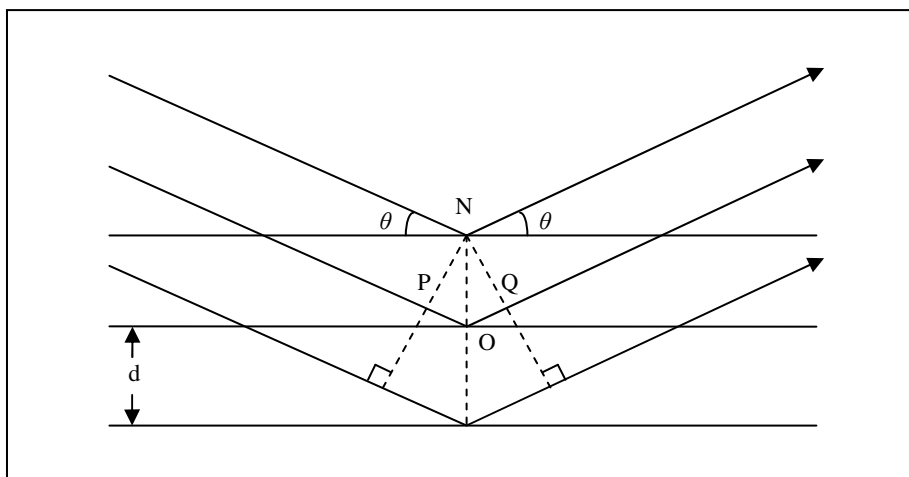
## 5.5. Análise utilizando-se difração de raios-X (DRX)

Segundo Padilha & Ambrozio Filho (1985), o método de difração de raios-X é de grande importância na análise mineralógica/microestrutural, por fornecer informações sobre a natureza e os parâmetros do reticulado cristalino, assim como detalhes a respeito do tamanho, da perfeição e da orientação dos cristais. A utilização deste instrumento neste trabalho esta relacionada com a identificação de fases para subsidiar as análises do MEV (por exemplo, definir a relação portlandita/calcita e a estimativa da quantidade de fase amorfa pela visualização do domo de amorfização gerado no espectro). Padilha & Ambrosio Filho *op. cit.* ainda observam que o estudo do espectro de difração obtido através deste instrumento possibilita a determinação da fração volumétrica de cada fase (considerando, porém, a dificuldade de detecção de fases com frações volumétricas menores que 3 – 5%, devido ao fato de seus picos se confundirem com a radiação de fundo, além da superposição pelas raiais das fases majoritárias).

Segundo Brandão (2001), a estrutura repetitiva (identificada pela distância interplanar –  $d$ ) torna possível a difração de raios-X. Segundo Padilha & Ambrozio Filho *op. cit.*, se um feixe de raios-X com uma dada frequência incidir sobre um átomo isolado, elétrons deste átomo serão excitados e vibrarão com a frequência do feixe incidente.

Ainda segundo Brandão (2001), cada átomo funciona como um núcleo de espalhamento da radiação (o espalhamento ocorrerá em todas as direções do espaço). A interferência construtiva se dará somente segundo determinadas direções, no caso, quando os átomos estiverem regularmente espaçados em um reticulado cristalino e a radiação incidente apresentar comprimento de onda da ordem de grandeza deste espaçamento (PADILHA & AMBROSIO FILHO, 1985).

Um exemplo disto pode ser observado na Figura 94, onde um feixe monocromático de raios-X, com comprimento de onda  $\lambda$ , incide com um ângulo  $\theta$  em um conjunto de planos cristalinos com espaçamento  $d$  (PADILHA & AMBROSIO FILHO, 1985).



**Figura 94-Difração de raios-X por um cristal.**

Fonte: PADILHA & AMBROSIO FILHO (1985)

Só ocorrerá reflexão, isto é, interferência construtiva, se a distância extra percorrida por cada feixe for um múltiplo inteiro de  $\lambda$ . Por exemplo, o feixe difratado pelo segundo plano de átomos percorre uma distância  $PO + OQ$  a mais do que o feixe difratado pelo primeiro plano de átomos. A condição para que ocorra interferência construtiva é, segundo Padilha & Ambrozio Filho (1985) dada por:

$$PO + OQ = n\lambda = 2d \sin \theta$$

Onde:  $n = 1, 2, 3, 4 \dots$

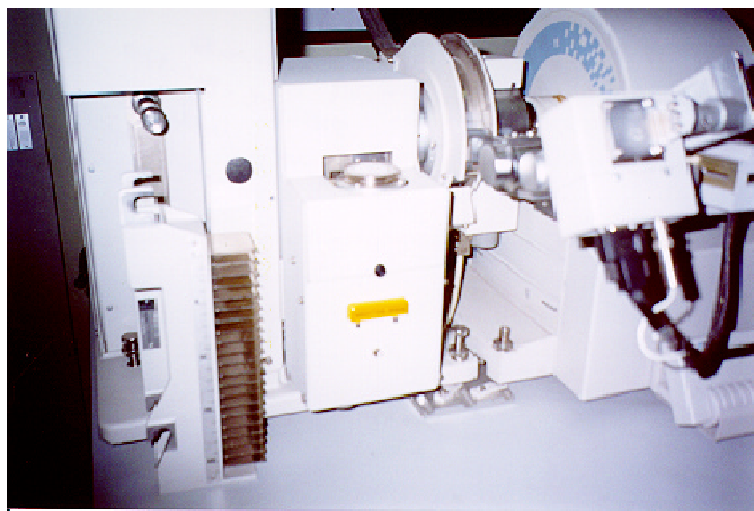
Esta equação é conhecida como Lei de Bragg e os ângulos  $\theta$  para os quais ocorre difração são chamados ângulos de Bragg. As direções para as quais ocorre difração (interferência construtiva) são determinadas pela geometria do reticulado.

Em sua operação, o instrumento gera os raios-X, a partir de um tubo de raios-X que é refrigerado a água. No goniômetro, a amostra submetida a esta radiação gira de um ângulo  $\theta$ , enquanto o detector gira de um ângulo  $2\theta$ . O detector com monocromador (cristal curvo), ao receber os raios difratados, transforma-os em pulsos elétricos, que vão a um sistema de análise que identifica os picos.

Pela Lei de Bragg são calculadas as distâncias interplanares “d”, que permitem, levando-se em consideração também as intensidades das raiais, pela consulta ao banco

de dados do ICDD (International Center for Diffraction Data), a identificação das fases cristalinas componentes da amostra.

Um exemplo deste instrumento pode ser visualizado Figura 95 (difratômetro Phillips X'Pert-APD, com controlador PW-3710).



**Figura 95-Equipamento Phillips PW-3710.**

## 5.6. Análise utilizando-se fluorescência de raios-X (FRX)

A fluorescência de raios-X (FRX, ou energy dispersive X-ray fluorescence – EDXRF) é gerada pela perturbação dos orbitais eletrônicos dos átomos, que pode ser realizada pelo bombardeamento da espécie com elétrons de alta energia, raios-X de maior energia ou partículas aceleradas carregadas. O bombardeamento de elétrons da espécie resulta em um contínuo da energia de raios-X e radiações características de cada elemento (JESUS FILHO, 1999). Qualitativamente, observa-se que a intensidade da emissão do contínuo aumenta com o crescimento do número atômico do elemento, com o aumento da corrente do feixe de elétrons e com o aumento do potencial de aceleração do elétron (JESUS FILHO, 1999).

De acordo com a AMPTEK INC. (2007), quando uma fonte primária de raios-X advinda de um tubo de raios-X ou alguma fonte radioativa atingem uma amostra, os raios-X podem ser absorvidos pelos átomos ou dispersados através do material. O



processo em que os raios- X são absorvidos pelo átomo transferindo toda sua energia a um elétron da camada mais externa é chamado de “efeito fotoelétrico”. Durante este processo, se os raios-X primários tiverem energia suficiente, os elétrons são emitidos a partir dos orbitais internos, criando vacâncias. Estas vacâncias apresentam uma condição instável para o átomo.

Visto que o átomo retorna a sua condição estável, os elétrons dos orbitais exteriores são transferidos aos orbitais internos e neste processo elástico libera raios-X característicos, cuja energia é a diferença entre as duas energias de ligação dos orbitais correspondentes. Os raios-X emitidos através deste processo são chamados “Fluorescência de raios-X” ou FRX.

O processo de detecção e análise destas emissões é conhecido por “Análise da Fluorescência de raios-X”. Na maioria dos casos, os orbitais mais internos K e L são envolvidos na detecção realizada através da FRX. Um espectro de raios-X típico para uma amostra submetida a radiação exibirá múltiplos picos de diferentes intensidades.

Ainda segundo esta mesma fonte (AMPTEK INC., 2007), os raios-X característicos são denominados como K, L, M ou N para explicitar os orbitais que os deram origem. Outras denominações, tais como alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) ou gama ( $\gamma$ ) são utilizadas para denotar os raios-X que originaram das transições dos elétrons de orbitais mais elevados. Conseqüentemente, raios-X do  $K_{\alpha}$  são produzidos através de uma transição de um elétron do orbital L para o orbital K, e raios-X do  $K_{\beta}$  são produzidos através de uma transição de um elétron do orbital M para o orbital K, e assim sucessivamente.

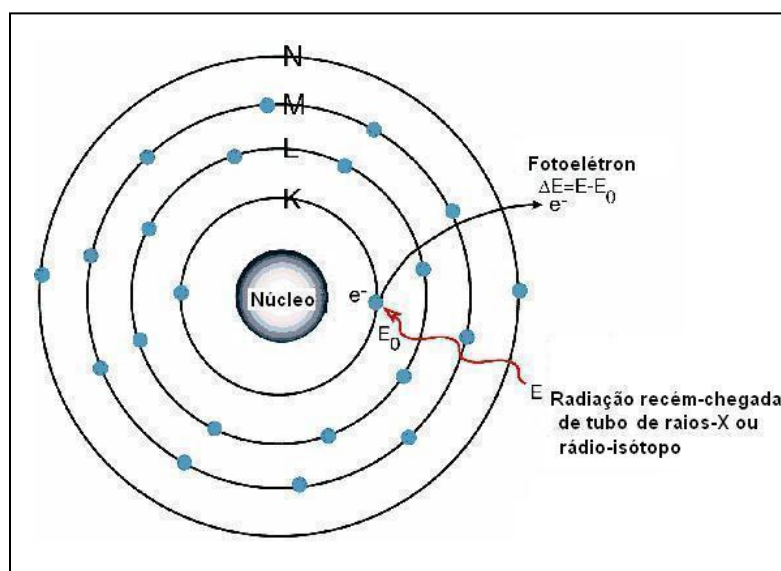
Uma vez que dentro dos orbitais existem órbitas múltiplas de elétrons (com energias de ligação mais elevadas e mais baixas), uma designação adicional é feita utilizando-se  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  ou  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e assim por diante, para denotar transições dos elétrons destas órbitas no mesmo orbital mais baixo.

De acordo com a AMPTEK INC. (2007), a Fluorescência de raios-X é largamente utilizada para avaliação dos elementos que compõem os materiais. Uma vez que o método é rápido e não destrutivo, é freqüentemente escolhido para aplicações de campo, bem como na produção industrial na área de controle de materiais.

Dependendo da aplicação, a FRX pode ser obtida não só através de raios-X, mas também através de outras fontes de excitação primárias, tais como partículas alfa, prótons ou feixe de elétrons de alta energia.

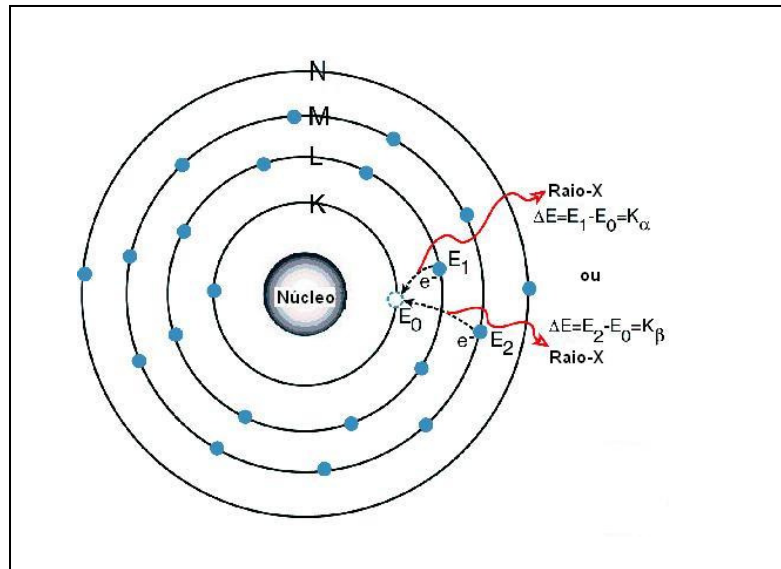
Às vezes, visto que o átomo retorna à sua condição estável, ao invés de emitir raios-X característicos, ele transfere a energia de excitação diretamente a um dos elétrons exteriores, fazendo com que seja emitido para fora do átomo (este elétron é chamado de Elétron Auger). Este processo compete com a FRX, sendo que elétrons Auger são mais prováveis em elementos de baixo orbital Z que em elementos de alto orbital Z.

A seguir, é apresentada uma seqüência de figuras (da 96 a 99) que ilustra o processo da FRX e da obtenção de elétrons Auger (AMPTEK INC., 2007).



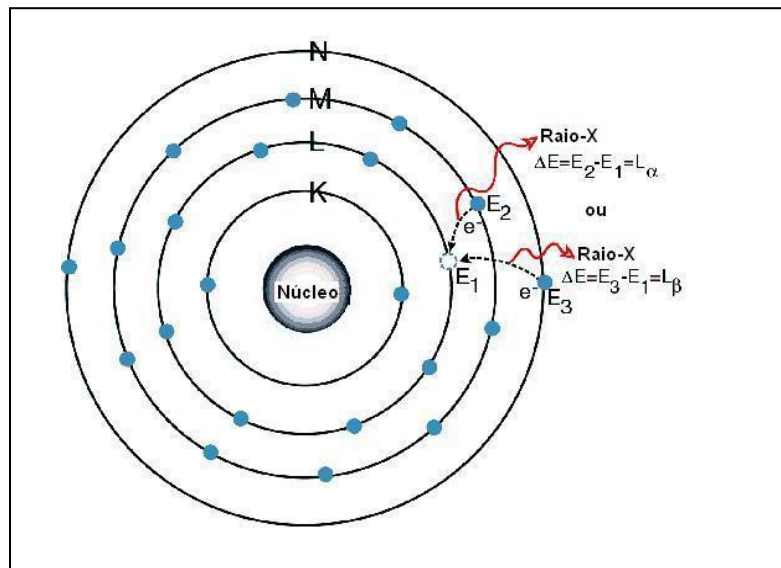
**Figura 96-Um elétron no orbital K é lançado para fora do átomo pela ação externa de uma excitação de raios-X primários criando uma vacância.**

Fonte: AMPTEK INC. (2007)



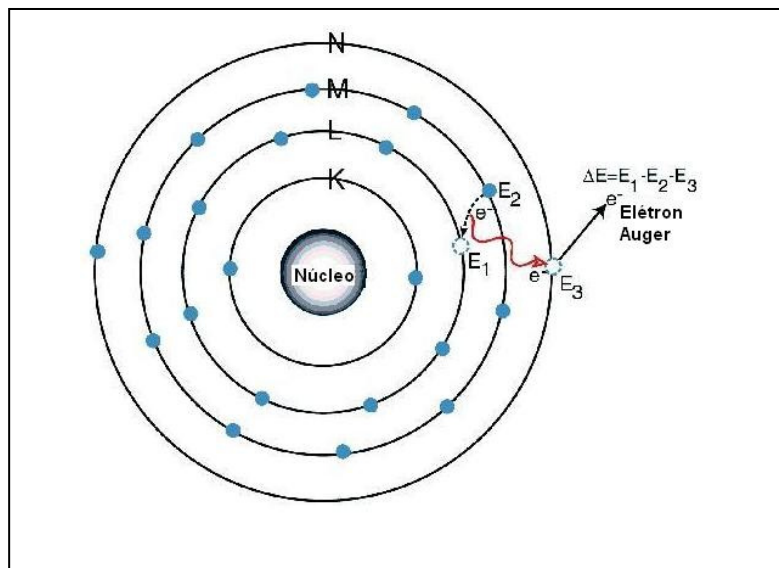
**Figura 97-**Um elétron do orbital L ou M “salta” para preencher a vacância. Neste processo são emitidos raios-X característicos originais para este elemento, que por sua vez produz a vacância no orbital L ou M.

Fonte: AMPTEK INC. (2007)



**Figura 98-**Quando a vacância é criada no orbital L, seja pela excitação primária dos raios-X, seja pelo evento precedente, um elétron do orbital M ou N “salta” para ocupar a vacância. Neste processo são emitidos raios-X característicos originais para este elemento, que por sua vez produz a vacância no orbital M ou N.

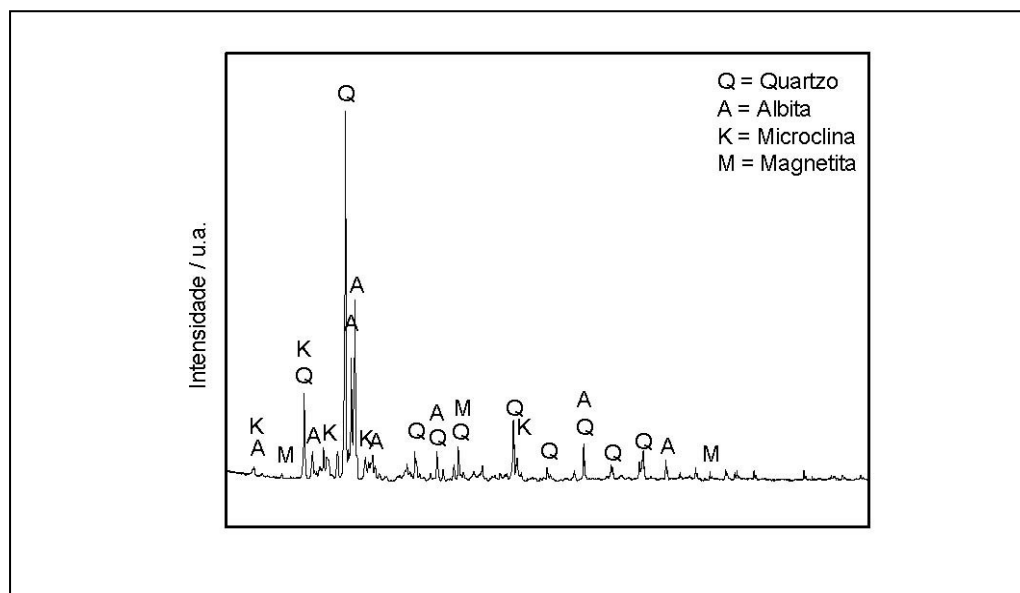
Fonte: AMPTEK INC. (2007)



**Figura 99-Elétron Auger: ocorre quando a energia de excitação de um átomo interno é transferida para um dos elétrons exteriores fazendo com que este elétron seja emitido para fora do átomo.**

Fonte: AMPTEK INC. (2007)

A Figura 100 mostra um espectro típico (meramente ilustrativo) obtido através da análise pela FRX de uma amostra qualquer de areia, onde são mostrados os picos representativos dos componentes.



**Figura 100-Espectro típico da análise pela FRX de uma amostra de areia.**

Fonte: Babisk (2009)

## CAPÍTULO 6 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

---

Neste trabalho tratou-se precipuamente da avaliação da resistência de aderência do sistema rocha+argamassa. Entretanto, face à diversidade de rochas e argamassas disponíveis nos mais diversos componentes e traços bem como de técnicas de assentamento, foram selecionadas algumas combinações que foram julgadas mais convenientes por representarem a prática mais freqüente na atividade de confecção de revestimentos de fachada de edifícios com rochas ornamentais.

Foram confeccionados 4 painéis em alvenaria de blocos cerâmicos, sendo cada um identificado pela argamassa de assentamento utilizada, a saber: o primeiro com argamassa tradicional (cimento e areia, preparada no canteiro de obra); o segundo com argamassa AC-II; o terceiro com argamassa AC-III; o quarto também com AC-III, porém neste caso as amostras de rocha foram preparadas utilizando-se um produto hidro-óleo-repelente, através de imersão da amostra por cinco minutos e secagem ao ar.

Em cada painel foram assentados 2 corpos-de-prova (comprimento de 10cm, largura de 10cm e espessura de 2 cm), de cada um dos oito tipos litológicos. Além disso, os ensaios de arrancamento foram efetuados para as idades de 28 dias, 6 meses e 1 ano, contados a partir do assentamento. Cada painel foi montado com 48 corpos-de-prova. Levando-se em conta que são quatro painéis, tem-se um total de 192 corpos-de-prova.

Cumprе ressaltar que a norma ABNT NBR 13.528 – *Determinação da Resistência de aderência à tração – Método de Ensaio* (1995) preconiza a idade de 28 dias como a referência para se executar o ensaio de arrancamento entretanto neste trabalho buscou-se, além da resistência alcançada na idade especificada pela norma, conhecer a evolução dos valores através do tempo, razão pela qual foram assentados exemplares para arrancamento com seis meses e um ano. Os painéis executados podem ser vistos na Figura 101.

Conforme já mencionado, as intempéries tem forte influência sobre os materiais. Por esta razão, os painéis foram executados e mantidos expostos ao tempo.

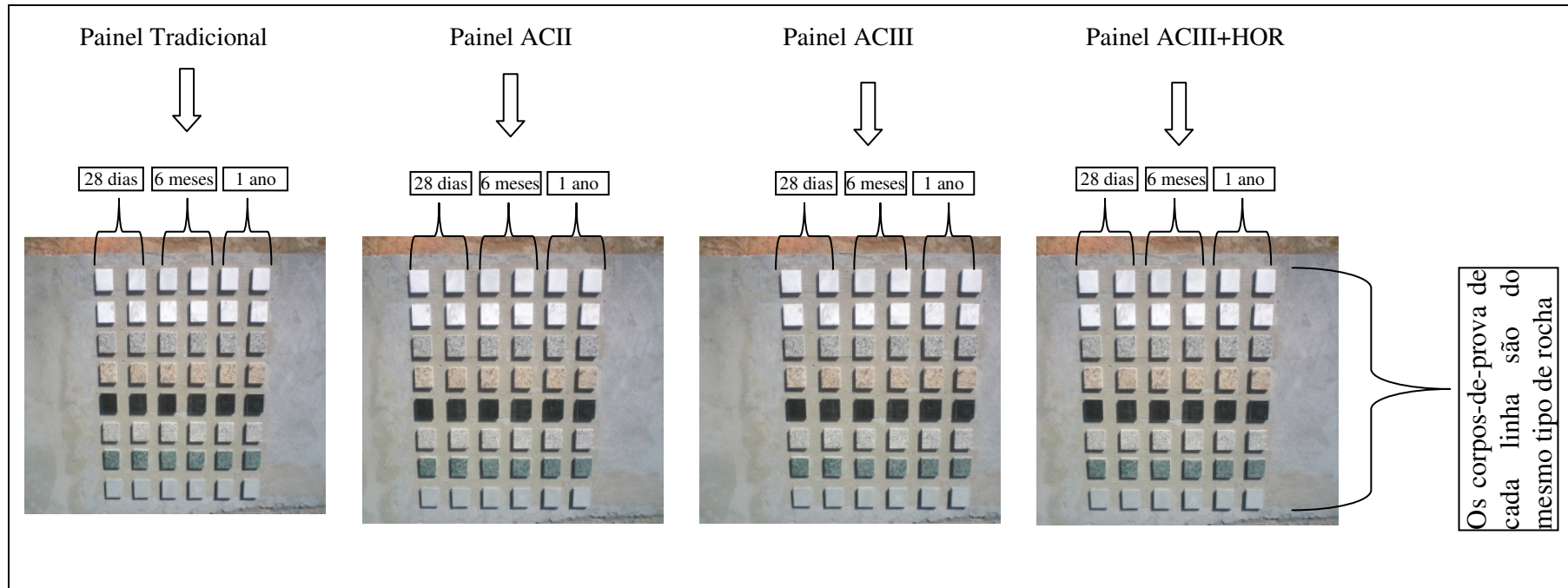


Figura 101-Vista geral dos painéis.

## 6.1. A argamassa tradicional

A opção pelos blocos cerâmicos como elementos constituintes da alvenaria foi função da larga utilização deste material, tanto por construtoras, como também pelo usuário final quando pratica a modalidade de autoconstrução. Define-se o bloco cerâmico como componente de alvenaria que possui furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que os contêm. Os blocos são classificados como de vedação (comuns e especiais) e estruturais (comuns e especiais). Neste trabalho foram utilizados blocos de simples vedação.

Para assentamento dos blocos foi utilizada argamassa industrializada Reboco Pronto Imar, composta por cimento, areia e aditivo.

### 6.1.1. Cimento

Em função das características de maior rapidez de início e fim de pega, bem como a obtenção do adequado módulo de elasticidade nas primeiras idades (fundamentais para atender a cronogramas cada vez mais enxutos das obras de hoje em dia), o cimento escolhido foi o CP II-E-32, por ser corriqueiro seu uso nesta região. Desta forma, acredita-se estar novamente trabalhando com produto de corriqueira utilização no mercado da construção civil.

Observa-se ainda que este tipo de cimento, além de ser utilizado na argamassa confeccionada no canteiro de testes (traço 1:4, cimento e areia), também é o aglomerante presente no reboco pronto e também na preparação do chapisco.

### 6.1.2. Areia

A areia (de granulometria fina) utilizada na argamassa tradicional no traço 1:3 (cimento e areia) preparada no canteiro de teste foi, antes de sua utilização, selecionada em peneira de arroz (2,4mm de abertura de malha) para retirada de impurezas.

De outro lado, a areia presente no reboco pronto (utilizado no assentamento dos blocos) segue as recomendações básicas das especificações deste material, sendo considerada quartzosa e de granulometria fina a média.

Vale lembrar que para uma correta utilização, a areia deve também passar pelas seguintes análises: Torrões de argila (NBR-7218); Material pulverulento (NBR-7218); Matéria orgânica (NBR-7220).

## 6.2. Estudo da argamassa colante (AC)

Dada a dificuldade em se encontrar informações sobre a caracterização do material antes da mistura (SILVA & CINCOTTO, 2004), e como diferentes fabricantes alegam que a determinado material é conferido um desempenho melhor devido à incorporação de “aditivos”, observou-se a necessidade da realização de um estudo ao nível da microestrutura previamente ao estudo do comportamento mecânico da argamassa colante.

A argamassa colante é um produto pulverulento industrializado à base de cimento Portland e areia selecionada, que deve ser misturado com adequada quantidade de água na obra para utilização. De acordo com Fiorito (1994), a argamassa colante é uma mistura constituída de aglomerantes hidráulicos, agregados minerais e aditivos. A argamassa AC-I normalmente é fabricada com cimento Portland, areia suficientemente fina e aditivo retentor de água adequado que produz melhorias para a aplicação, inclusive o aumento de aderência. Já as argamassas AC- II, AC- III e AC-I-E, AC-II-E, AC III-E, além de conterem este tipo de aditivo em maior teor, contêm outros que também aumentam a aderência e possibilitam outras propriedades desejáveis para estes tipos de argamassas e podem até permitir certa flexibilidade após o endurecimento.

O custo das argamassas colantes varia bastante de um tipo para outro (visto que suas formulações são diferentes, principalmente o teor dos polímeros), variando também o desempenho, decorrendo ser necessário estabelecer critérios apropriados para escolha adequada da argamassa a utilizar, tendo presente a aplicação que se tem em vista.



Atualmente, as argamassas colantes são normalizadas pela ABNT através da norma NBR 14081 (Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Especificação), a qual especifica os tipos apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13-Recomendações das argamassas colantes**

<b>Tipo da argamassa colante</b>	<b>Aplicações</b>	<b>Tempo em aberto (minutos)</b>
AC-I	Ambientes internos exceto saunas, churrasqueiras, estufas e outros revestimentos especiais	$\geq 15$
AC-II	Pisos e paredes externos	$\geq 20$
AC-III	Onde se necessita de alta resistência à tensões de cisalhamento, apresentando aderência superior à dos tipos AC-I e AC-II	$\geq 20$
AC-I-E AC-II-E AC-III-E	Similares às anteriores, porém com tempo em aberto estendido	Com acréscimo de no mínimo 10 minutos nos especificados acima

Fonte: NBR 14081

Desta forma, procedeu-se à caracterização da argamassa colante AC-III ainda na forma de pó antes da mistura com água, através da determinação da granulometria, da área superficial específica, assim como de seus constituintes (fases e elementos químicos), através da difração e fluorescência de raios-X. As informações do fabricante sobre o pó da argamassa incluem apenas a densidade aparente além dos principais componentes, como o cimento, areia quartzosa e aditivos (não especificados). As medidas para o proporcionamento para a mistura com água também são incluídas nas recomendações.

Tem-se que as propriedades mecânicas de um material são função da sua composição química e da sua microestrutura. A dificuldade em se encontrar na literatura pertinentes dados com os quais possam ser comparados os achados do presente estudo é um limitador do ponto de vista da determinação da efetividade dos métodos utilizados, por

não haver uma padronização, ainda que represente uma contribuição para o melhor conhecimento do material.

#### Material de estudo:

Foi escolhida a argamassa colante ACIII (pó industrializado, previamente à manipulação com água), pois de todas as disponíveis, esta é a que possui maior carga polimérica e pressupõe-se maior aderência com as rochas.

#### Métodos para análise:

Granulometria

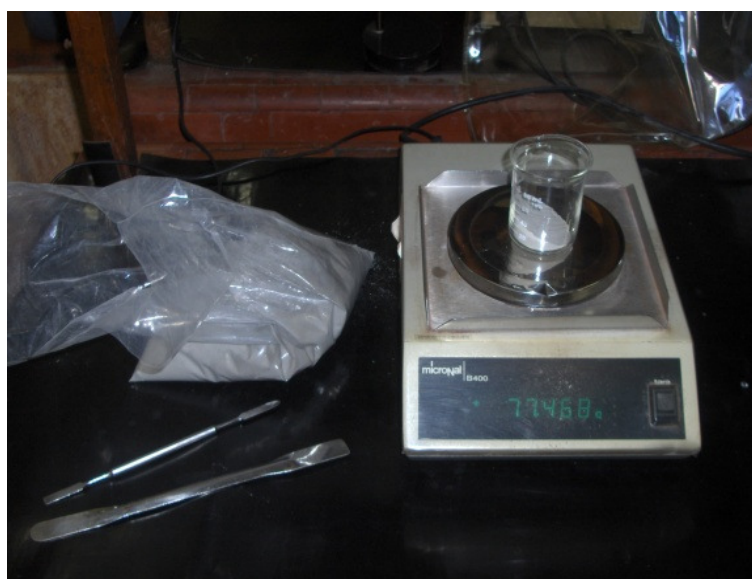
Área Superficial Específica (ASE)

Difração de Raios X (DRX)

Fluorescência de Raios X (FRX)

### *6.2.1. Granulometria*

Consiste na determinação do tamanho e da distribuição das partículas no pó da argamassa. Por se tratar de um material composto por cristais de areia de grande diâmetro e pós muito finos, observou-se a necessidade de se realizar um peneiramento prévio, para a identificação das partículas de maior tamanho, previamente ao estudo das partículas menores. A amostra tem 25g, conforme Figura 102.



**Figura 102-Pesagem da amostra no estado anidro.**

O ensaio, então, foi executado em duas fases: a primeira, referente à preparação da amostra via úmida; e a segunda, que submete a amostra ao granulômetro propriamente dito. As peneiras utilizadas na via úmida foram ABNT 180 – MESH 100, ABNT 106 – MESH 150 e ABNT 38 – MESH 400.

**Primeira fase:**

O peneiramento foi realizado sob irrigação constante por água corrente e agitação manual, conforme Figura 103.



**Figura 103-Peneiramento e separação de partículas via úmida.**

Do material retido nas peneiras (Figura 104) foram separadas frações que compõem a amostra, levadas para secagem em estufa a 120°C por 24 horas e posterior pesagem para a determinação da massa correspondente a cada fase granulométrica.



**Figura 104-Fases após a separação por peneira.**

Depois de retirada da estufa, obtiveram-se as massas constantes na Tabela 14.

**Tabela 14-Material retido**

Abertura (Mesh)	Tamanho da Partícula ( $\mu\text{m}$ )	Material Retido (g)
#100	147	7,25
#150	104	2,22
#400	38	7,57
Passante	<38	7,96

A partir da fração que passou pela última peneira utilizada (MESH 400) foi obtida uma polpa para análise através de Granulometria a Laser com a lente de 50mm.

#### **Segunda fase:**

Granulometria a Laser (Granulômetro SyMPatec modelo Helos BA). Utilizou-se solução hexametáfosfato de sódio 0,05% para fazer a referência para a leitura. Além disso, a amostra foi submetida à agitação mecânica e por ultra-som. Observou-se que, dos 32% da amostra original que passaram pela última peneira, cujo maior tamanho identificado pela granulometria a laser foi  $51,50\mu\text{m}$ , 84% das partículas apresentaram tamanho abaixo de  $30,45\mu\text{m}$ . Trata-se, portanto, de material com porção representativa muito fina, o que justifica uma análise posterior da área superficial específica. Foram gerados pelo software acoplado ao granulômetro o Anexo 1 (representa graficamente a distribuição por tamanho dos grãos) e Anexo 2 (indica os valores numéricos).

### 6.2.2. Área Superficial Específica / B.E.T. multipontos

As referências usuais para os materiais de construção civil em relação à área superficial são fornecidas a partir do método de Blaine. Entretanto, este é um teste capaz de detectar apenas o índice de finura. A avaliação da área superficial é importante por ser determinante do grau de compacidade da pasta obtida, o que redundará em maior ou menor resistência em função do arranjo dos grãos após a mistura com água. O volume de água necessário para se conseguir uma mistura manipulável e ao mesmo tempo resistente após a pega será função da ASE total do pó e é diretamente proporcional a esta. A determinação da adsorção física de moléculas de gás em uma superfície sólida serve como base para uma técnica de análise importante para a medição da superfície específica do material. Em 1938, Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett e Edward Teller publicaram um artigo e utilizaram a sigla BET, composta pelas iniciais de seus nomes para designar tal técnica.

O preparo da amostra foi através de peneiramento a seco até 150  $\mu\text{m}$ . O equipamento utilizado foi o NOVA 1200 – Quantachrome Corporation e o software para tratamento dos dados é o NOVA Enhanced Data Reduction Software. Em função da finura da argamassa optou-se pelo uso do nitrogênio como adsorvato para obtenção das curvas BET .

Os resultados indicam:

- Densidade da amostra após o peneiramento:  $2,91\text{g/cm}^3$
- Área superficial total na amostra:  $11,5318\text{m}^2$
- ASE:  $1,0686\text{m}^2/\text{g}$  ou  $1.068,6\text{m}^2/\text{kg}$

Conforme indicado no Anexo 3, a ASE do cimento Portland é tida como da ordem de 350 a 600  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Então o valor obtido de  $1.068,6\text{m}^2/\text{kg}$  para a argamassa colante mostra que esta tem uma ação física e química mais intensa na formação da microestrutura da pasta, posto que sua reação é mais rápida. Com isso são asseguradas propriedades e características importantes da mistura, ou seja, sua reologia.

Este alto valor de área superficial específica é compatível com os achados da granulometria a laser, que apresentou porcentagem significativa de partículas finas, com diâmetro abaixo de  $30,45\mu\text{m}$ .

BET multipontos sob diferença de pressão  $p/p_0$  de 0,090 a 0,240 e transformação em massa BET entre 319,500 a 798,750 indica a possibilidade de se realizar a transformação isoterma original, por massa em função do gradiente de pressão, em um gráfico BET multipontos e é indicadora da formação de monocamada de forma a identificar de fato a ASE da amostra.

### *6.2.3. Difração de Raios X (DRX)*

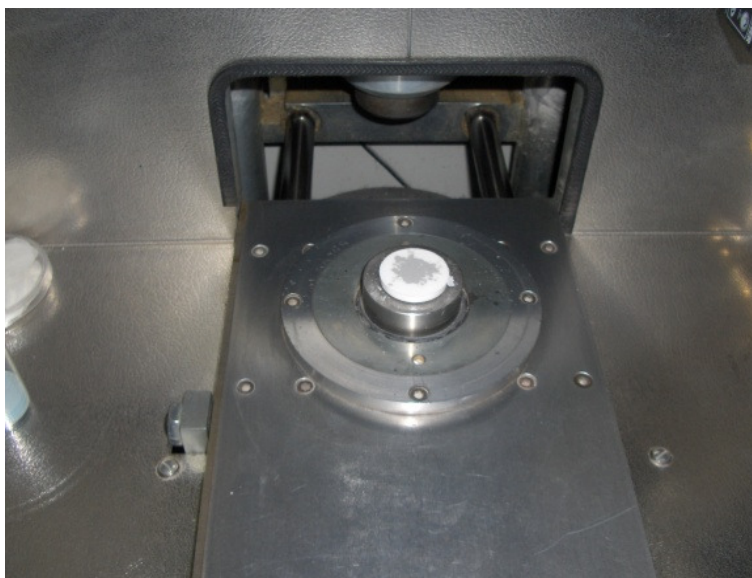
Preparo da amostra: moagem manual (gral de ágata) seguida de prensagem do pó no porta-amostra conforme apresentado na Figura 105.. A amostra foi então inserida no Difratorômetro, para as análises.

O difratômetro PW 3710 MPD Control Phillips estava ajustado conforme os seguintes parâmetros: 40 kV e 20 mA

Escaneamento: normal

Step size:  $0,06^\circ$

Programa: High Score



**Figura 105-Amostra posicionada para análise por DRX.**

A DRX é um método utilizado com o objetivo de caracterização de minerais e substâncias inorgânicas. Conta com vários programas e bancos de dados que possibilitam determinar os compostos químicos presentes na amostra avaliada, através da obtenção de gráficos e utilizando como referência um banco de dados contendo os parâmetros dos diferentes compostos químicos já catalogados. Desta forma, foi feita a identificação das fases cristalinas presentes na amostra do pó da argamassa avaliada, mostrada no Anexo 4.

A fase predominante foi a Calcita, com a identificação de óxido de cálcio, óxido de magnésio ou dolomita.

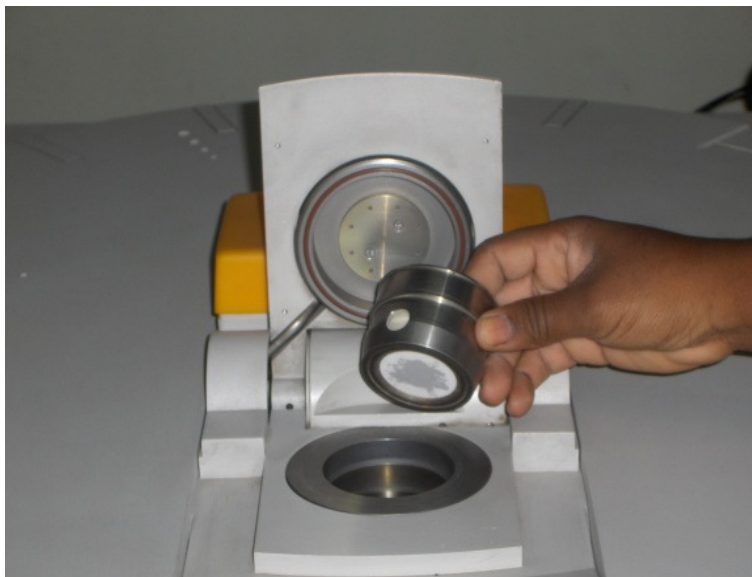
Magnesita também foi identificada em quantidade significativa, além da areia calcítica, com baixa ocorrência de silício.

Presença também das fases  $C_3S$  e  $C_2S$  (Iarnita), além da suposição de ocorrência de gesso (gipsita), provavelmente devido ao cimento no estado anidro existente no material avaliado. Identificação de fase amorfa com predominância de alumínio.

#### *6.2.4. Fluorescência de Raios x (FRX)*

Preparo da amostra: pó da argamassa prensado, no formato de uma pastilha, utilizando-se pó de ácido bórico.

A FRX tem como objetivo a identificação dos elementos químicos presentes na amostra, de forma a complementar e elucidar os achados da DRX. Também utiliza um banco de dados como base para a comparação com os gráficos obtidos, identificação esta realizada pelo programa de computador acoplado ao Espectrômetro PW 2400X Phillips, cujo porta-amostra é mostrado na Figura 106.



**Figura 106-Colocação da amostra no Espectrômetro.**

Foram identificados os seguintes elementos, segundo a quantidade ou nível em relação ao volume total da amostra:

ALTO: Ca, O

MÉDIO: Si, Mg

BAIXO: Al, Sr, Fe, S, K, P

TRAÇOS: Pb, Ni, Mn, Cr, Ti, Cl, Na

Estes achados corroboram aqueles obtidos pela DRX na medida em que o Ca encontrado em alta quantidade refere-se ao cimento presente na argamassa. O Si que aparece em nível médio provém da areia constituinte da amostra.

### 6.3. Execução dos painéis de teste

Todos os painéis foram construídos simulando as mesmas condições de exposição às quais estão submetidas as fachadas das edificações, ou seja, não ficaram protegidos em ambiente abrigado. Ao contrário, ficaram expostos ao ar livre e submetidos à todas intempéries.

Por se tratar de substrato para todos os assentamentos, inicialmente foram tomados cuidados para que os painéis fossem executados como rotineiramente são feitos nas



edificações. Os 4 painéis de alvenaria foram executados sobre uma estrutura de base, vista na Figura 107 .



**Figura 107-Execução das cintas de concreto para suporte aos painéis de alvenaria.**

Na seqüência houve a colocação da primeira fiada de blocos conforme Figura 108.



**Figura 108-Execução dos painéis de teste.**

Após a execução dos painéis foi aguardado o mínimo de 14 dias para aplicação das argamassas de revestimento (conforme recomendação da norma ABNT NBR 7200, 1998). Antes também da aplicação das argamassas foi realizado o preparo de base, com aplicação de chapisco, inclusive permitindo-se as mesmas condições de exposição que uma fachada qualquer estaria submetida.

Inicialmente foi executado o chapisco, utilizando-se traço 1:3 (cimento e areia) para preparação da base.

Após aguardar um prazo mínimo de 3 dias, foi executada uma camada de regularização, denominada emboço, utilizando-se argamassa industrializada para todos os painéis e até este momento, todos os quatro painéis estavam com a mesma condição construtiva, sendo que a partir deste momento entraram as variáveis: três argamassas colantes e uma tradicional.

Neste sentido, as condições de execução dos painéis foram controladas, e a argamassa industrializada foi preparada, como visto na Figura 109.



**Figura 109-Argamassadeira utilizada no preparo da argamassa industrializada.**

Entretanto, sabe-se que nem todas as edificações utilizam as argamassas industrializadas, fazendo opção pelas preparadas na própria obra. Neste sentido, em um dos painéis foi utilizada esta opção, sendo a areia selecionada como visto na Figura 110 para mistura na argamassa tradicional.



**Figura 110-Peneiramento da areia para argamassa tradicional.**

É importante salientar que as argamassas devem ser aplicadas com energia suficiente para conferir a maior extensão possível de aderência ao substrato, ou seja, evitar a presença de vazios que poderiam comprometer a resistência aos esforços de tração. Um aspecto do emboço pode ser visto na Figura 111.



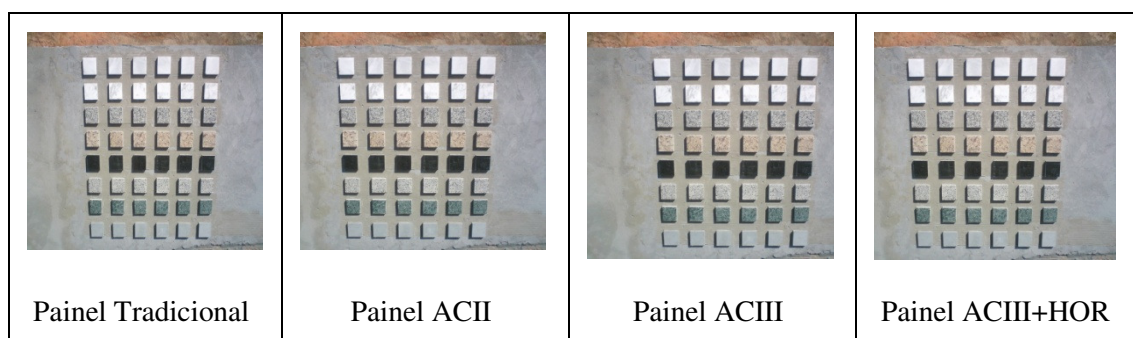
**Figura 111-Desempenamento do emboço.**

A aplicação do revestimento argamassado sobre as alvenarias de blocos cerâmicos (painéis teste) foi realizada observando-se adequada plasticidade das argamassas confeccionadas mecânica e tradicionalmente, utilizando-se 3,5 litros de água no traço mecânico e fator água/cimento 0,55 para o traço tradicional.

Algumas observações qualitativas puderam ser recolhidas. Segundo observações obtidas informalmente junto aos operários que ali trabalhavam, tais como pedreiros e serventes, pôde-se verificar que a massa apresentava "leveza", "boa liga" e que também "puxava bem". Dados inerentes ao processo, pois estas observações coloquiais refletem a trabalhabilidade e reatividade dos componentes da argamassa utilizada.

De acordo com os procedimentos utilizados, foram observados intervalos entre os processos construtivos dos painéis em questão. Isso ocorreu em função da necessidade de se aguardar as etapas de aplicação e sarrafeamento.

Após a confecção dos painéis, partiu-se para a aplicação dos corpos-de-prova das rochas utilizando-se as argamassas tradicional e colantes, conforme mostrado na Figura 112, sendo que cada painel recebeu as amostras de rochas na mesma seqüência, variando somente a argamassa de assentamento.



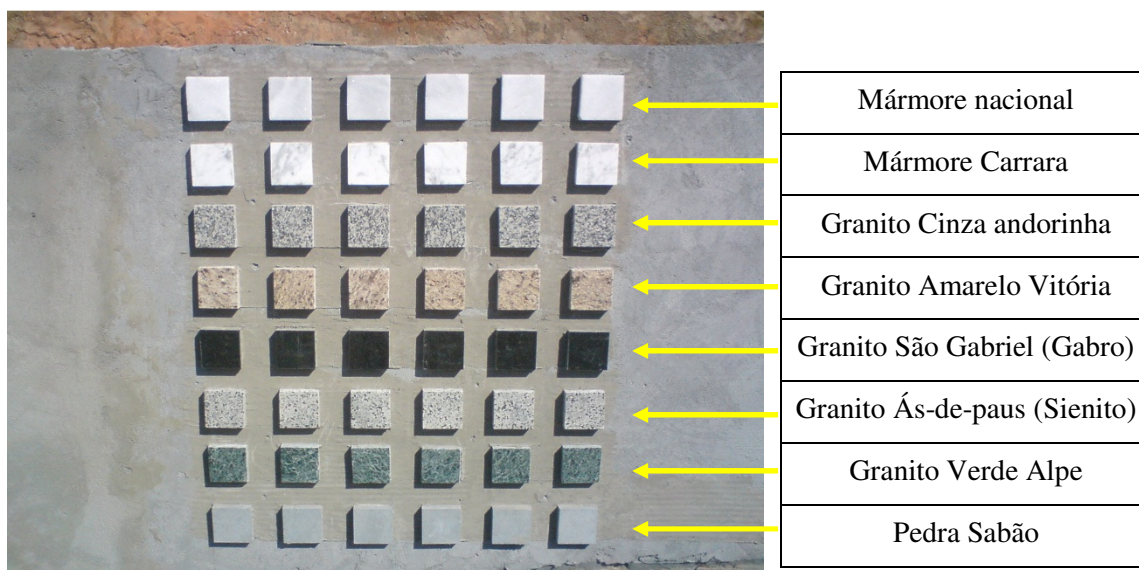
**Figura 112-Vista dos painéis.**

Vale lembrar que a mão-de-obra utilizada foi a mesma em todas as etapas para se evitar variações indesejáveis que poderiam afetar os resultados, como energia de aplicação das argamassas.

## 6.4. Seleção e análise das variedades litológicas

Não obstante a existência de ampla variedade de revestimentos pétreos, foram escolhidos oito tipos em função de suas maiores utilizações como revestimentos e de acordo com Frazão (2002) “A qualidade de uma rocha pode ser avaliada, também, a partir de informações sobre seu desempenho apresentado em obras e em condições de

serviços semelhantes ao pretendido, além das informações fornecidas pelos ensaios tecnológicos”. As amostras selecionadas estão identificadas na Figura 113.



**Figura 113-Identificação das amostras de rochas usadas nos painéis de teste.**

Todos os ensaios de caracterização foram executados no laboratório de rochas do CPMTCC - Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa, vinculado ao IGC/UFMG.

#### 6.4.1. Caracterização petrográfica

A petrografia é o ramo da ciência geológica dedicado ao estudo da constituição, textura, origem e classificação das rochas, utilizando técnicas de reconhecimento tais como a análise macroscópica, a microscopia óptica e eletrônica e a análise geoquímica. O material deve ser estudado conforme o preconizado pela ABNT NBR 12768 - *Rochas para revestimento - Análise petrográfica*. Neste sentido será utilizado como base o trabalho de Oliveira (1998).

A identificação da composição mineralógica, bem como as possíveis condições de microfissuramento da rocha estarão diretamente ligados com prováveis manifestações patológicas que podem ocorrer na interface rocha/argamassa. As patologias podem ser associadas às possibilidades de penetração da pasta de aglomerante até se atingir a superfície do revestimento e também com as reações deletérias de certos constituintes da rocha ornamental com os produtos da hidratação do cimento.

## 6.4.2. Índices físicos

A norma aplicável é a ABNT NBR 12766 - *Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente*.

### 6.4.2.1. Massa Específica Aparente

Uma rocha no seu estado natural apresenta-se como um conjunto de minerais interligados e ocupando um determinado volume (que é a soma dos minerais e dos vazios entre eles). A maior ou menor quantidade de vazios implicará em modificações no grau de compactidade que por sua vez irá modificar a porosidade. Pelo fato da massa específica aparente ser afetada pela umidade, torna-se necessário determiná-la no estado seco e no estado saturado.

$$\rho_{asec} = \frac{M_{sec}}{V_{asat}} = \frac{M_{sec}}{M_{sat} - M_{sub}}$$

$$\rho_{asat} = \frac{M_{sat}}{V_{sat}} = \frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_{sub}}$$

Onde:

$\rho_{asec}$  : Massa específica aparente no estado seco

$\rho_{asat}$  : Massa específica aparente no estado saturado

$M_{sec}$  : massa da amostra no estado seco

$M_{sat}$  : massa da amostra no estado saturado

$M_{sub}$  : massa da amostra submersa

### 6.4.2.2. Absorção

A quantidade de água (ou um líquido qualquer) capaz de penetrar os poros define uma importante propriedade das rochas. Pode ser entendida como a capacidade da rocha em absorver e reter o líquido nos seus poros. A absorção é sempre determinada para um estado de saturação completa dos poros pelo líquido e corresponde ao máximo teor de umidade que a rocha pode alcançar.

$$\alpha_a = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} \times 100$$

No geral as propriedades das rochas são muito influenciadas pela absorção de água, pois exemplares com alta absorção apresentam aumento na massa específica aparente saturada, dentre outras, mas por outro lado a resistência mecânica diminui, por enfraquecimento das ligações intergranulares.

#### **6.4.2.3. Porosidade**

Já a porosidade é a relação, em porcentagem, entre o volume de espaços vazios e o volume aparente total.

$$\eta_a = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sat} - M_{sub}} \times 100$$

A porosidade influi sobre todas as demais propriedades das rochas, pois conforme mostra Verçoza (1975), quanto menor a porosidade, maior massa resistente tem a rocha, sua cor será mais carregada, etc.

#### **6.4.2.4. Outros ensaios**

Convém lembrar que uma *norma* é o conjunto de regras que fixam condições de execução de uma atividade e/ou a elaboração de um produto. No Brasil, o órgão encarregado pela normatização é a ABNT, sendo que para uma correta especificação das rochas em função do uso pretendido, outros ensaios podem ser requeridos, quais sejam:

- Tenacidade;
- condutividade térmica;
- dilatação térmica;
- reatividade;
- adesividade;
- alterabilidade;
- desgaste e abrasão;
- impacto;

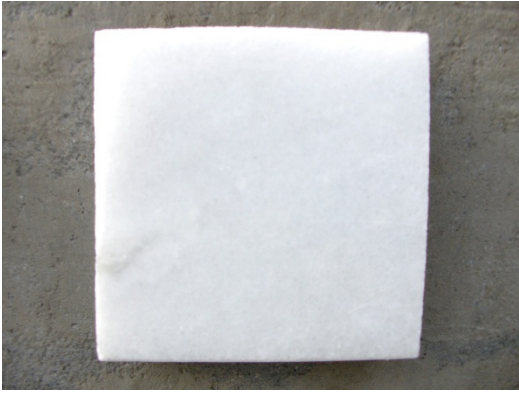
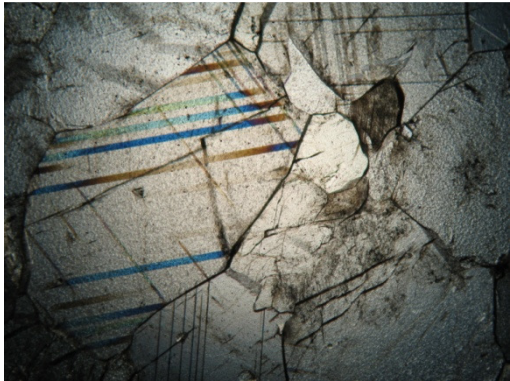
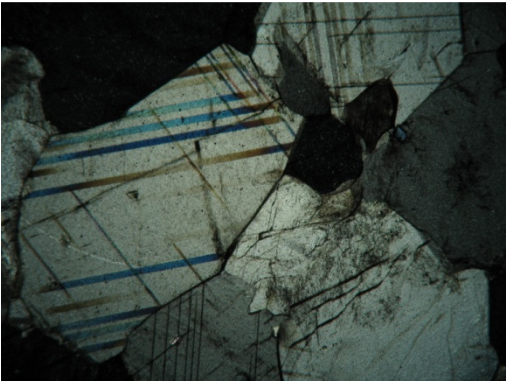
- esmagamento;
- compressão uniaxial;
- módulo de elasticidade;
- tração;
- flexão.


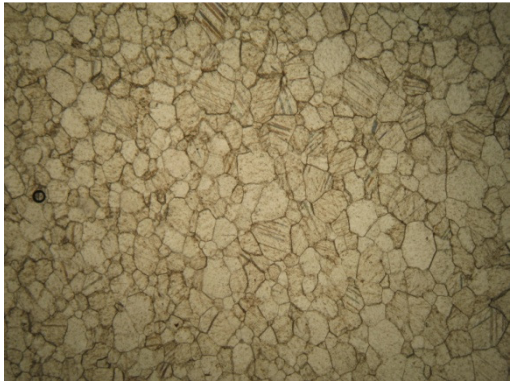
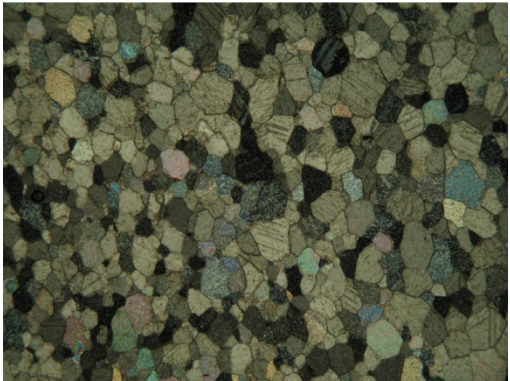
Os ensaios mencionados são minuciosamente descritos em Frazão (2002), que também mostra que as propriedades dos materiais rochosos que interessam para o seu emprego numa obra são chamadas de *propriedades de engenharia* ou *tecnológicas*, sendo usual adotar a designação *tecnológicas* para as propriedades de interesse à construção civil. A adequação de um material para uma aplicação particular não pode ser definida sem o conhecimento de seus parâmetros tecnológicos e sem levar em conta as condições às quais o material estará submetido.


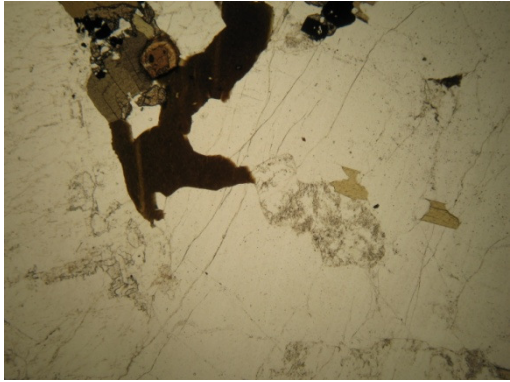
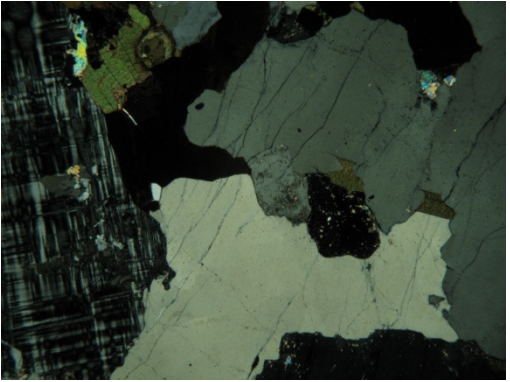
No presente trabalho, os ensaios requeridos para qualificação das amostras estão apresentados nas Fichas de 1 a 8, na seqüência. A descrição petrográfica destes materiais em detalhes pode ser encontrada, por exemplo, em Campello (2000) e Souza (2000).


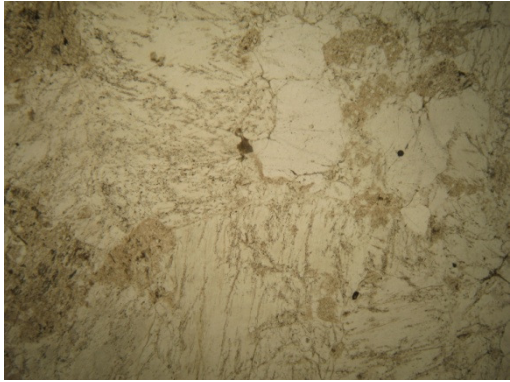
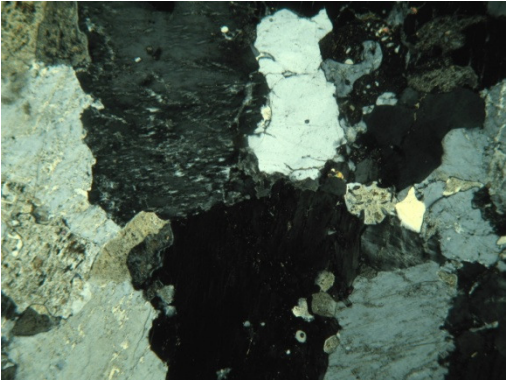
Para a realização dos ensaios físicos, as amostras foram preparadas e analisadas conforme a NBR 12766 supracitada e os resultados encontram-se no Anexo 5.


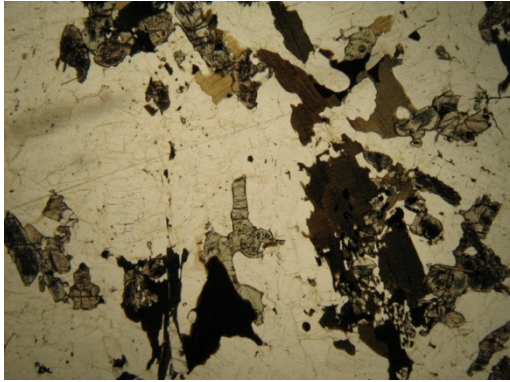
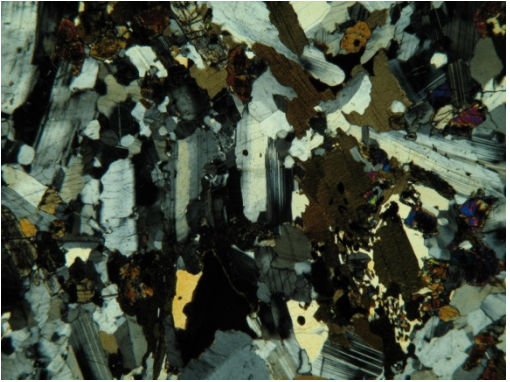



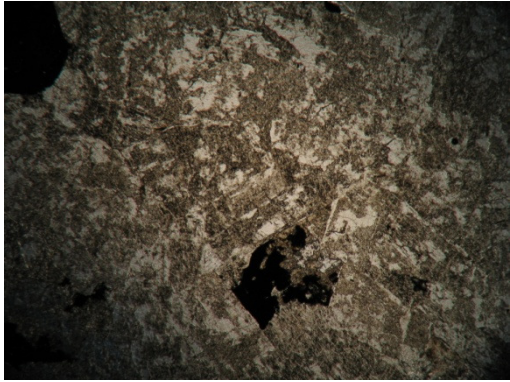
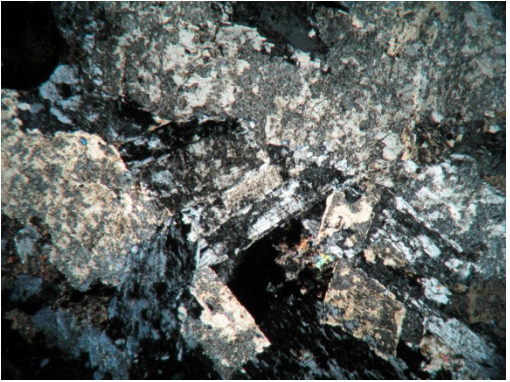
Ficha 1	
Grupo: Calcárias	
Variedade: Mármore	
Denominação Comercial: Branco Espírito Santo	
Amostra: MES	
Fotografia do corpo-de-prova	
	
Composição: 100% de Calcita + dolomita; grãos grossos a médios.	
Fotografias de lâmina petrográfica	
	
MES – Nicóis Paralelos. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23	MES – Nicóis Cruzados. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23
Classificação: Mármore	
Características Físicas	
Massa Específica Aparente Seca	2,38 (g/cm <sup>3</sup> )
Massa Específica Aparente Saturada	2,40 (g/cm <sup>3</sup> )
Porosidade Aparente	2,18 (%)
Absorção de água	0,92 (%)


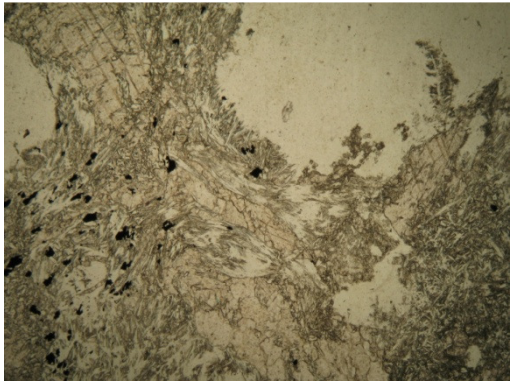
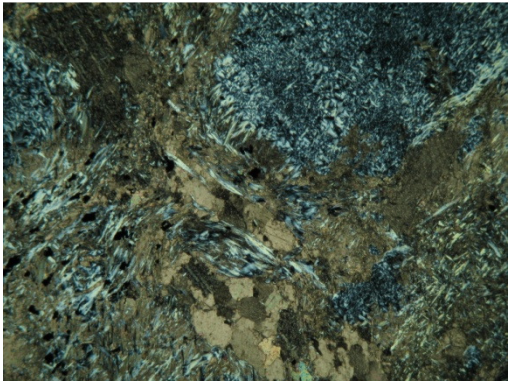
Ficha 2	
Grupo: Calcárias	
Variedade: Mármore	
Denominação Comercial: Branco Carrara	
Amostra: MCA	
Fotografia do corpo-de-prova	
	
Composição: 100% de Calcita + dolomita; grãos finos.	
Fotografias de lâmina petrográfica	
	
MCA – Nicóis Paralelos. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23	MCA – Nicóis Cruzados. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23
Classificação: Mármore.	
Características Físicas	
Massa Específica Aparente Seca	2,65 (g/cm <sup>3</sup> )
Massa Específica Aparente Saturada	2,68 (g/cm <sup>3</sup> )
Porosidade Aparente	3,15 (%)
Absorção de água	1,19 (%)


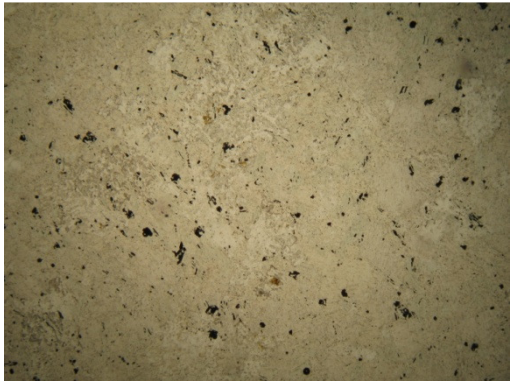
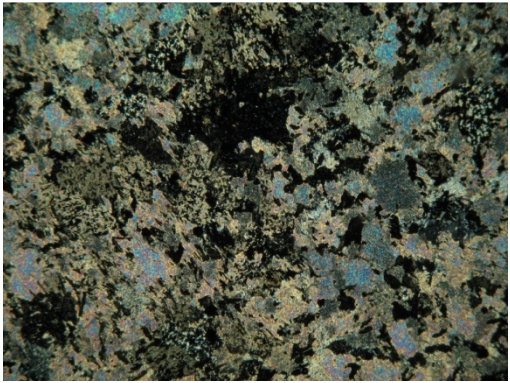
<b>Ficha 3</b>	
Grupo: Quartzo-Feldspáticas	
Variedade: Granito	
Denominação Comercial: Cinza Andorinha	
Amostra: GCA	
Fotografia do corpo-de-prova	
	
Composição: Titanita, Quartzo, 20% de Biotita, 23% de Plagioclásio, 33% de Microclina micropertítico (ou Feldspato alcalino).	
Fotografias de lâmina petrográfica	
	
GCA – Nicóis Paralelos. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23	GCA – Nicóis Cruzados. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23
Classificação: Granito.	
Características Físicas	
Massa Específica Aparente Seca	2,68 (g/cm <sup>3</sup> )
Massa Específica Aparente Saturada	2,69 (g/cm <sup>3</sup> )
Porosidade Aparente	0,68 (%)
Absorção de água	0,26 (%)

Ficha 4	
Grupo: Quartzo-Feldspáticas	
Variedade: Granito	
Denominação Comercial: Amarelo Vitória	
Amostra: GAV	
Fotografia do corpo-de-prova	
	
Composição: Acessórios, Granada, 10% de Biotita, 20% de Plagioclásio, 25% de Quartzo, 34% de Feldspato potássico micropertítico.	
Fotografias de lâmina petrográfica	
	
GAV – Nicóis Paralelos. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23	GAV – Nicóis Cruzados. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23
Classificação: Granito	
Características Físicas	
Massa Específica Aparente Seca	2,62 (g/cm <sup>3</sup> )
Massa Específica Aparente Saturada	2,63 (g/cm <sup>3</sup> )
Porosidade Aparente	1,06 (%)
Absorção de água	0,40 (%)

<b>Ficha 5</b>	
Grupo: Feldspáticas	
Variedade: Gabro	
Denominação Comercial: Granito São Gabriel	
Amostra: FGA	
Fotografia do corpo-de-prova	
	
Composição: Quartzo, Hornblenda, 15% de Biotita, 15% de Hiperstênio, 60% de Plagioclásio (andesina - labradorita).	
Fotografias de lâmina petrográfica	
	
FGA – Nicóis Paralelos. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23	FGA – Nicóis Cruzados. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23
Classificação: Gabro.	
Características Físicas	
Massa Específica Aparente Seca	2,93 (g/cm <sup>3</sup> )
Massa Específica Aparente Saturada	2,93 (g/cm <sup>3</sup> )
Porosidade Aparente	0,49 (%)
Absorção de água	0,17 (%)

<b>Ficha 6</b>	
Grupo: Feldspáticas	
Variedade: Sienito	
Denominação Comercial: Granito Ás de Paus	
Amostra: FSI	
Fotografia do corpo-de-prova	
	
Composição: Pertita (60-75%), Nefelina (15%), Hornblenda (20%) Biotita e Cancrinita (5%).	
Fotografias de lâmina petrográfica	
	
FSI – Nicóis Paralelos. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23	FSI – Nicóis Cruzados. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23
Classificação: Sienito.	
Características Físicas	
Massa Específica Aparente Seca	2,60 (g/cm <sup>3</sup> )
Massa Específica Aparente Saturada	2,60 (g/cm <sup>3</sup> )
Porosidade Aparente	0,38 (%)
Absorção de água	0,15 (%)

Ficha 7	
Grupo: Serpentiníticas	
Variedade: Serpentinito	
Denominação Comercial: Granito Verde Alpe	
Amostra: SVA	
Fotografia do corpo-de-prova	
	
Composição: Serpentina e clorita.	
Fotografias de lâmina petrográfica	
	
SVA – Nicóis Paralelos. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23	SVA – Nicóis Cruzados. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23
Classificação: Serpentinito.	
Características Físicas	
Massa Específica Aparente Seca	2,70 (g/cm <sup>3</sup> )
Massa Específica Aparente Saturada	2,71 (g/cm <sup>3</sup> )
Porosidade Aparente	0,52 (%)
Absorção de água	0,19 (%)

<b>Ficha 8</b>	
Grupo: Serpentiníticas	
Variedade: Esteatito	
Denominação Comercial: Pedra Sabão	
Amostra: SPS	
Fotografia do corpo-de-prova	
	
Composição: Talco e dolomita.	
Fotografias	
	
SPS – Nicóis Paralelos. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23	SPS – Nicóis Cruzados. Objetiva 2,5x/0,075 pol, Ocular 10x/23
Classificação: Esteatito.	
Características Físicas	
Massa Específica Aparente Seca	2,79 (g/cm <sup>3</sup> )
Massa Específica Aparente Saturada	2,79 (g/cm <sup>3</sup> )
Porosidade Aparente	0,44 (%)
Absorção de água	0,16 (%)

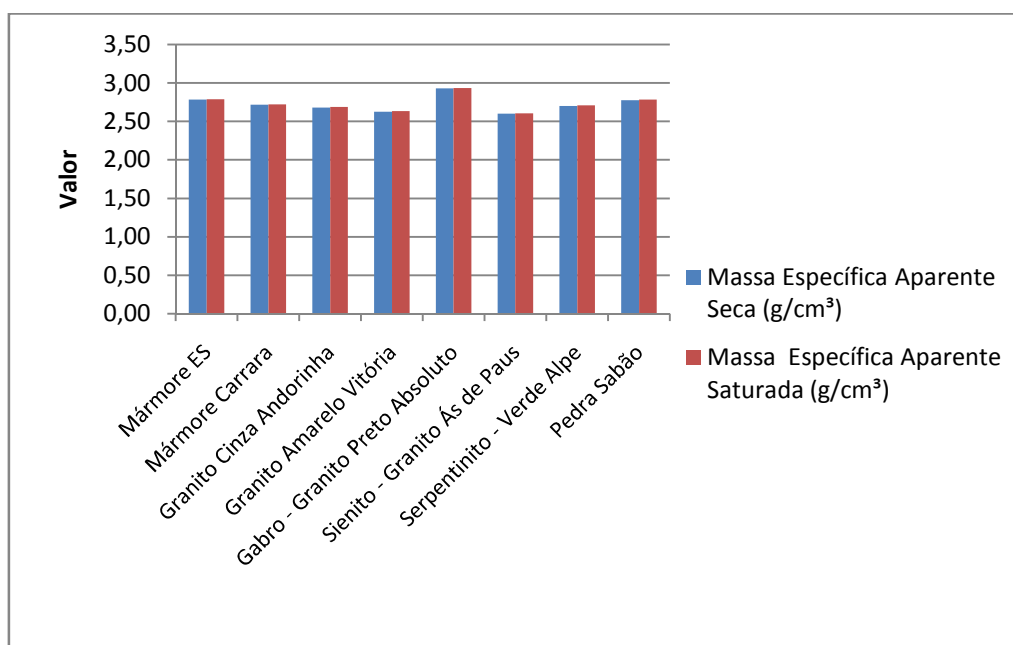


Após a realização dos ensaios de caracterização, os resultados foram compilados na Tabela 15.

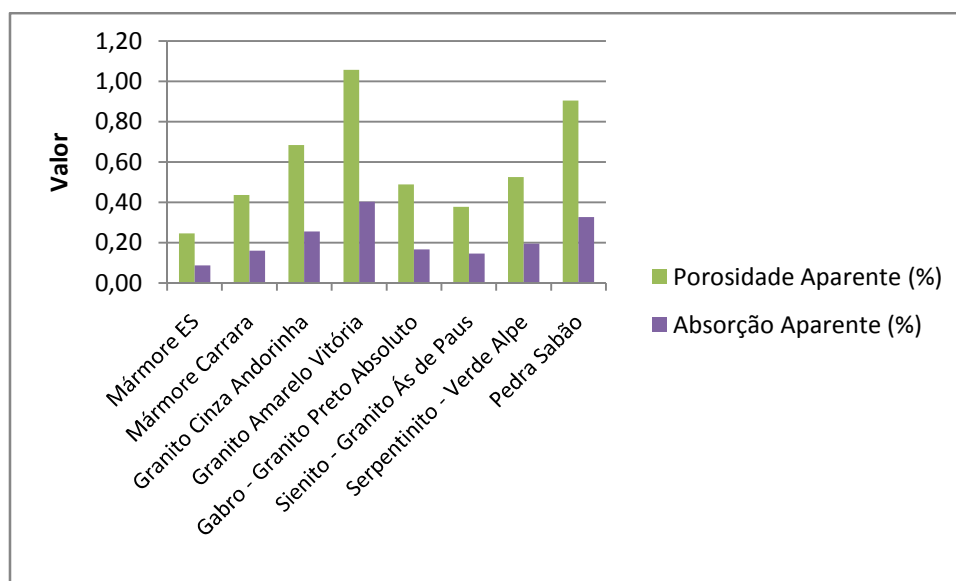
**Tabela 15- Características tecnológicas das amostras analisadas**

Variedade litológica	Massa Específica Aparente Seca (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asec}$	Massa Específica Aparente Saturada (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asat}$	Porosidade Aparente (%) $\eta_a$	Absorção Aparente (%) $A_a$
Mármore ES	2,38	2,40	2,18	0,92
Mármore Carrara	2,65	2,68	3,15	1,19
Granito Cinza Andorinha	2,68	2,69	0,68	0,26
Granito Amarelo Vitória	2,62	2,63	1,06	0,40
Gabro - Granito Preto Absoluto	2,93	2,93	0,49	0,17
Sienito - Granito Ás de Paus	2,60	2,60	0,38	0,15
Serpentinito - Verde Alpe	2,70	2,71	0,52	0,19
Pedra Sabão	2,79	2,79	0,44	0,16

Os dados podem também ser resumidos nos Gráficos 1 e 2.



**Gráfico 1-Comparativo de massas específicas aparentes para os diversos tipos de rochas analisadas.**



**Gráfico 2-Comparativo de porosidade e absorção aparentes para os diversos tipos de rochas analisadas.**

Entretanto, Frascá (2007) mostra na Tabela 16 alguns parâmetros desejáveis para escolha de materiais:

**Tabela 16-Especificações para algumas rochas**

Norma	Tipo de rocha	Aplicação	$\rho$	$\alpha$	$\sigma_c$	$\sigma_{tf}$	$\sigma_f$
ASTM C615/03	Granito		$\geq 2.560$	$\leq 0,4$	$\geq 131$	$\geq 10,34$	$\geq 8,27$
ASTM C503/05	Calcita Mármore	Exterior	$\geq 2.595$	$\leq 0,20$	$\geq 52$	$\geq 7$	$\geq 7$
	Dolomita Mármore		$\geq 2.800$				
ASTM C568/03	Calcários	I – Baixa Densidade	$\geq 1.760$	$\leq 12$	$\geq 12$	$\geq 2,9$	n.e.
		II – Média Densidade	$\geq 2.160$	$\leq 7,5$	$\geq 28$	$\geq 3,4$	
		III –Alta Densidade	$\geq 2.560$	$\leq 3$	$\geq 55$	$\geq 6,9$	
ASTM C1527/03	Travertino	I - Exterior	$\geq 2.305$	$\leq 2,5$	$\geq 52$	$\geq 6,9$	$\geq 6,9$
		II - Interior			$\geq 34,5$	$\geq 4,8$	$\geq 4,8$
ASTM C616/03	I- Arenito ( $\geq 60\%$ sílica livre)		$\geq 2.003$	$\leq 8$	$\geq 27,6$	$\geq 2,4$	n.e.
	II-Arenito Quartzítico ( $\geq 90\%$ sílica livre)		$\geq 2.400$	$\leq 3$	$\geq 68,9$	$\geq 6,9$	
	III-Quartzito ( $\geq 95\%$ sílica livre)		$\geq 2.560$	$\leq 1$	$\geq 137,9$	$\geq 13,9$	

Nota:  $\rho$ = densidade aparente ( $\text{Kg/m}^3$ );  $\alpha$ = absorção d'água(%);  $\sigma_c$ =resistência à compressão uniaxial (MPa);  $\sigma_{tf}$ = resistência à tração na flexão (MPa);  $\sigma_f$ = resistência na flexão (MPa); n.e.=não especificado.

Fonte: FRASCÁ (2007)

Cotejando-se as duas tabelas, verifica-se que todas as amostras estariam credenciadas ao uso como material de revestimento. É interessante observar que, como já preconizado, as rochas calcárias apresentaram os menores valores de massa específica aparente e os maiores de porosidade e absorção. Este binômio precisa ser levado em consideração quando da escolha e especificação de materiais para revestimento, pois por um lado ajuda a desenvolver a aderência entre as rochas e argamassa, principalmente se for a tradicional mas, por outro lado, facilita os manchamentos.

## 6.5. Ensaio de arrancamento

O ensaio destinado à determinação da resistência de aderência, também conhecido como ensaio de arrancamento ou *pull-off test*, é preconizado pelo anexo A (Determinação da resistência de aderência de revestimentos cerâmicos assentados com argamassa colante) da norma ABNT NBR 13755 - *Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas com utilização de argamassa colante – Procedimento*.

O ensaio deve ser realizado a partir do assentamento das placas de rochas ornamentais, pelo menos após 28 dias a contar do assentamento. Sobre a superfície a ser avaliada (no caso, os exemplares de cada tipo de rocha) são coladas placas metálicas (vide Figura 114), utilizando-se geralmente cola à base epóxi.

As placas devem ser quadradas, fabricadas em aço, com 100mm de lado e para haver uma discretização da área de aplicação da carga, antes da realização do ensaio, o revestimento é cortado perpendicularmente ao seu plano, tangenciando a placa colada, utilizando-se serra corta mármore. A profundidade deste corte deve ser tal que o mesmo penetre cerca de 5mm na base.

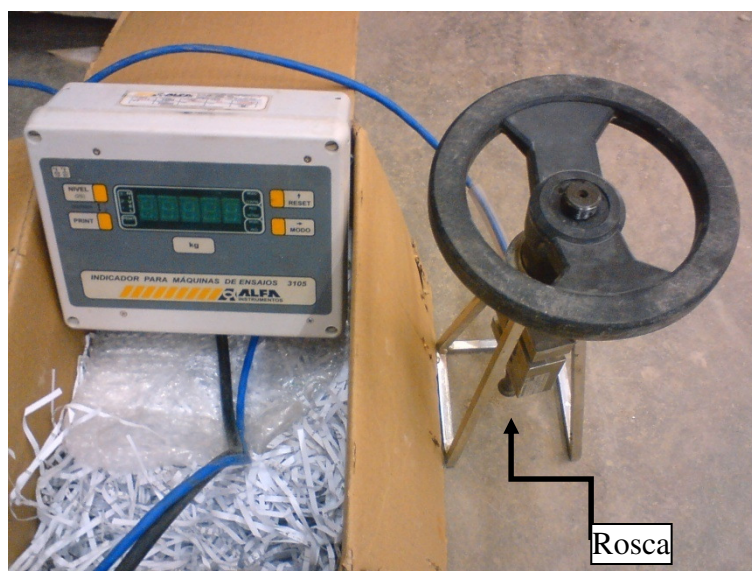
De acordo com a norma ABNT NBR 13755 para fins de aceitação de um revestimento, esta ocorrerá se de cada grupo de 06 ensaios (uma série), pelo menos quatro valores forem iguais ou superiores a 0,3 MPa. Neste ponto faz-se necessário o seguinte esclarecimento: como não existe ainda uma norma para ensaio de arrancamento de revestimento com rochas e levando-se em conta a necessidade de algum valor de referência, optou-se por assumir o valor mínimo desejável de 0,30 MPa para a

resistência de aderência à tração (ou seja, o mesmo valor que é recomendado para revestimentos cerâmicos).



**Figura 114-Placa de aço colada ao corpo-de-prova de rocha.**

Após a cura da cola procede-se ao arrancamento utilizando-se equipamento apropriado para tal (visto na Figura 115), sendo acoplado na placa metálica através de rosca ou encaixe.



**Figura 115-Equipamento para ensaio de arrancamento.**

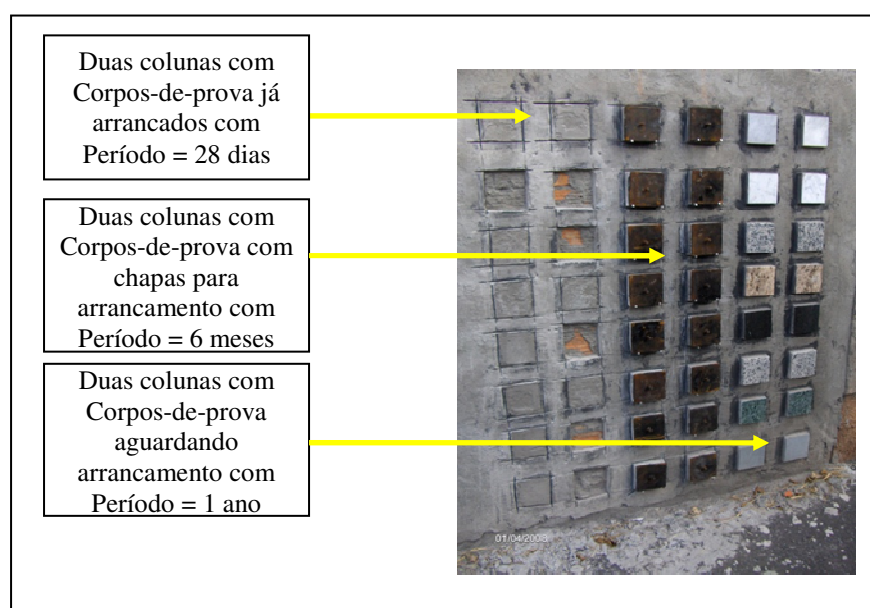
O resultado obtido (carga lida na máquina) é dividido pela área da placa metálica e a tensão de arrancamento (denominada  $R_a$ ) é expressa em MPa, conforme a equação:

$$Ra = \frac{Carga}{Área} = \frac{Carga}{100cm^2}$$

Também são anotadas as superfícies obtidas na ruptura, ou seja, tipo de ruptura ocorrida, a saber:

- a) ruptura na interface placa de rocha ornamental/argamassa colante;
- b) ruptura no interior da argamassa colante;
- c) ruptura na interface argamassa colante/substrato;
- d) ruptura no interior da argamassa do substrato;
- e) ruptura na interface substrato/base;
- f) ruptura no interior da base;
- g) ruptura na interface pastilha/cola;
- h) ruptura na interface cola/placa de rocha ornamental.

Para os objetivos propostos neste trabalho, não foram feitas estas anotações, somente os valores numéricos da tensão de arrancamento foram avaliados.



**Figura 116-Primeira etapa de arrancamentos: corpos-de-prova de rocha arrancados com idade de 28 dias.**

Assim, após o assentamento de todas as peças, aguardou-se o período de 28 dias, quando então foram extraídos os corpos-de-prova. Para os períodos subsequentes de 6 meses e 1 ano, existem ainda quatro colunas em cada painel, duas para cada período. Na idade de 28 dias, cada um dos quatro painéis ficou com a configuração apresentada na Figura 116.

Após a conclusão de todos os ensaios de arrancamento, os resultados relativos aos períodos de 28 dias, 6 meses e 1 ano foram apresentados na Tabela 17-Resultados dos ensaios de arrancamento, sendo que cada variedade possui dois corpos-de-prova.

Na Tabela 18-Médias dos resultados de arrancamento, são apontados os valores da média para cada variedade, por ser a medida mais efetiva no caso de variáveis com baixo número de exemplares, permitindo a apresentação dos gráficos e discussões que se seguem, observando que são apresentadas em função do grupo ao qual pertencem.

Observa-se na Tabela 19-Indicadores estatísticos por variedade de rocha, que para todas as variedades que comercialmente são englobadas como “granitos”, o desvio padrão (SD) sempre é maior em relação aos “mármore”. Assim, as variedades apresentam características muito distintas entre si, o que naturalmente redundará em desempenhos diferentes. Isto mostra o risco de generalizações indevidas e caracterizações inadequadas.

Tabela 17-Resultados dos ensaios de arrancamento

	CP	Cimento + Areia			ACII			ACIII			ACIII + PRODUTO		
		1 mês	6 meses	12 meses	1 mês	6 meses	12 meses	1 mês	6 meses	12 meses	1 mês	6 meses	12 meses
Mármore Nacional	1	0,27	0,37	0,36	0,48	0,45	0,64	0,41	0,49	0,54	0,48	0,51	0,64
	2	0,27	0,35	0,35	0,51	0,45	0,57	0,40	0,55	0,54	0,45	0,54	0,48
Mármore Carrara	3	0,27	0,31	0,34	0,44	0,48	0,64	0,38	0,51	0,61	0,32	0,54	0,56
	4	0,30	0,28	0,32	0,48	0,42	0,64	0,39	0,55	0,54	0,32	0,54	0,64
Granito Cinza	5	0,19	0,32	0,34	0,51	0,45	0,64	0,34	0,58	0,57	0,32	0,51	0,58
	6	0,21	0,30	0,33	0,44	0,45	0,64	0,57	0,61	0,57	0,32	0,58	0,64
Granito Amarelo	7	0,21	0,47	0,47	0,22	0,48	0,48	0,29	0,38	0,51	0,32	0,32	0,64
	8	0,25	0,35	0,39	0,32	0,45	0,50	0,33	0,49	0,57	0,48	0,45	0,58
Sienito	9	0,24	0,21	0,28	0,41	0,45	0,51	0,46	0,49	0,57	0,38	0,45	0,39
	10	0,24	0,12	0,24	0,44	0,42	0,25	0,30	0,49	0,54	0,41	0,45	0,64
Gabro	11	0,26	0,27	0,29	0,41	0,42	0,42	0,30	0,49	0,52	0,38	0,42	0,42
	12	0,38	0,29	0,32	0,41	0,45	0,48	0,28	0,49	0,51	0,35	0,58	0,44
Verde Alpe	13	0,29	0,34	0,37	0,41	0,00	0,28	0,35	0,32	0,41	0,32	0,26	0,39
	14	0,29	0,35	0,35	0,25	0,45	0,30	0,30	0,32	0,57	0,44	0,42	0,51
Pedra Sabão	15	0,21	0,28	0,32	0,44	0,45	0,32	0,24	0,42	0,61	0,32	0,54	0,58
	16	0,25	0,25	0,27	0,44	0,45	0,48	0,31	0,39	0,57	0,38	0,54	0,55

Notas: (1)CP: Corpo-de-prova

(2)Os valores estão apresentados em MPa

Tabela 18-Médias dos resultados de arrancamento

	Cimento + Areia			ACII			ACIII			ACIII + PRODUTO		
	1 mês	6 meses	12 meses	1 mês	6 meses	12 meses	1 mês	6 meses	12 meses	1 mês	6 meses	12 meses
Mármore Nacional	0,27	0,36	0,36	0,50	0,45	0,61	0,41	0,52	0,54	0,47	0,53	0,56
Mármore Carrara	0,29	0,30	0,33	0,46	0,45	0,64	0,39	0,53	0,58	0,32	0,54	0,60
Granito Cinza	0,20	0,31	0,34	0,48	0,45	0,64	0,46	0,60	0,57	0,55	0,55	0,61
Granito Amarelo	0,23	0,41	0,43	0,40	0,47	0,49	0,31	0,50	0,54	0,40	0,39	0,61
Sienito	0,24	0,17	0,26	0,43	0,44	0,38	0,38	0,49	0,56	0,40	0,40	0,52
Gabro	0,32	0,28	0,31	0,41	0,45	0,45	0,29	0,49	0,52	0,37	0,50	0,43
Verde Alpe	0,29	0,35	0,36	0,33	0,23	0,29	0,33	0,32	0,49	0,38	0,34	0,45
Pedra Sabão	0,23	0,27	0,30	0,44	0,45	0,40	0,28	0,41	0,59	0,35	0,54	0,57

Tabela 19-Indicadores estatísticos por variedade de rocha

	Cimento + Areia			ACII			ACIII			ACIII + PRODUTO		
	1 mês	6 meses	12 meses	1 mês	6 meses	12 meses	1 mês	6 meses	12 meses	1 mês	6 meses	12 meses
Média "Mármore"	0,28	0,33	0,34	0,48	0,45	0,62	0,40	0,53	0,56	0,40	0,54	0,58
SD "Mármore"	0,01	0,04	0,02	0,03	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,11	0,01	0,03
Média "Granito"	0,25	0,30	0,33	0,42	0,42	0,44	0,34	0,47	0,54	0,41	0,45	0,53
SD "Granito"	0,04	0,08	0,06	0,05	0,09	0,12	0,07	0,09	0,04	0,07	0,09	0,08



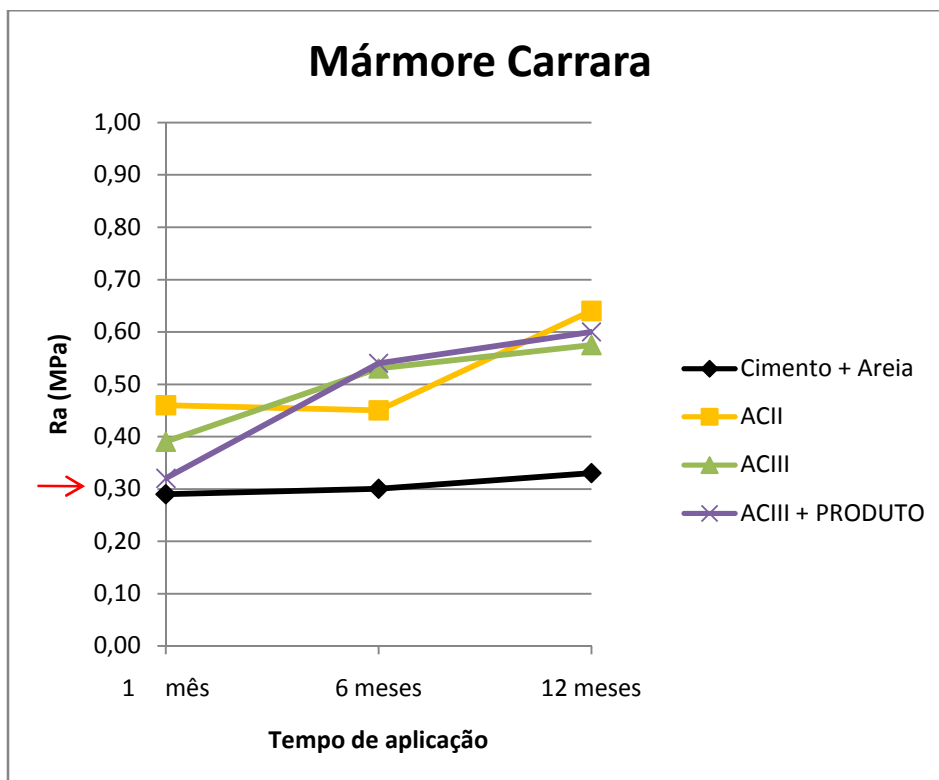
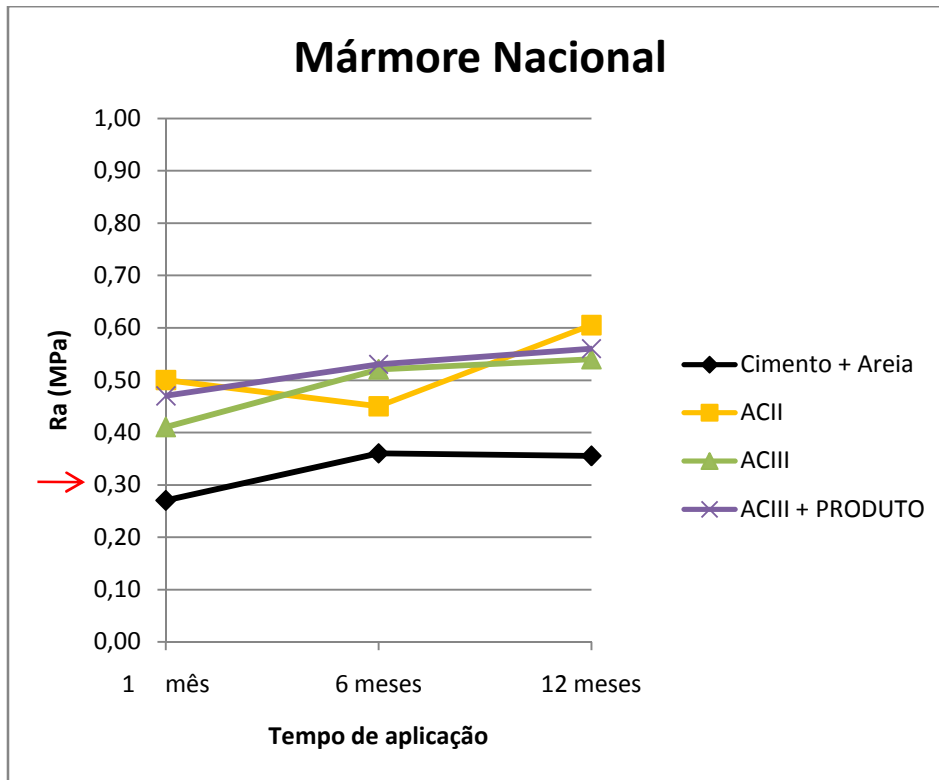
## **I - Grupo das Calcárias**

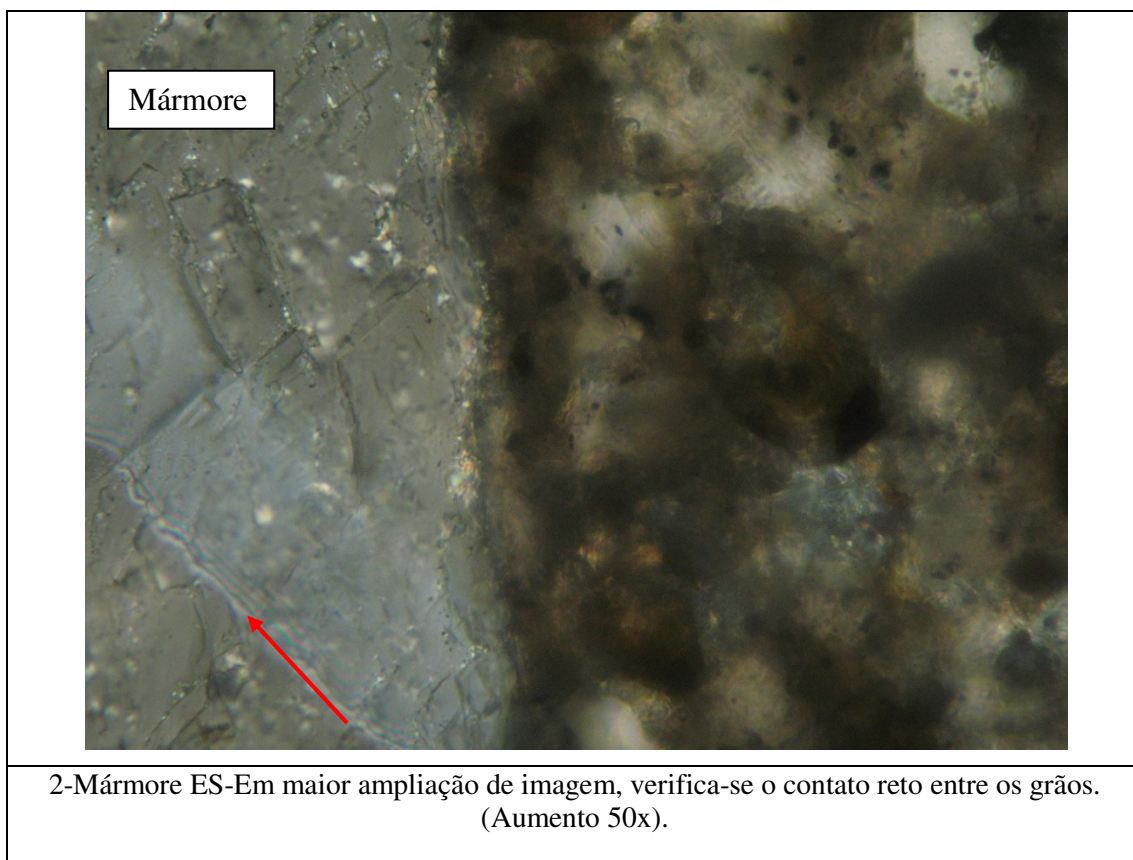
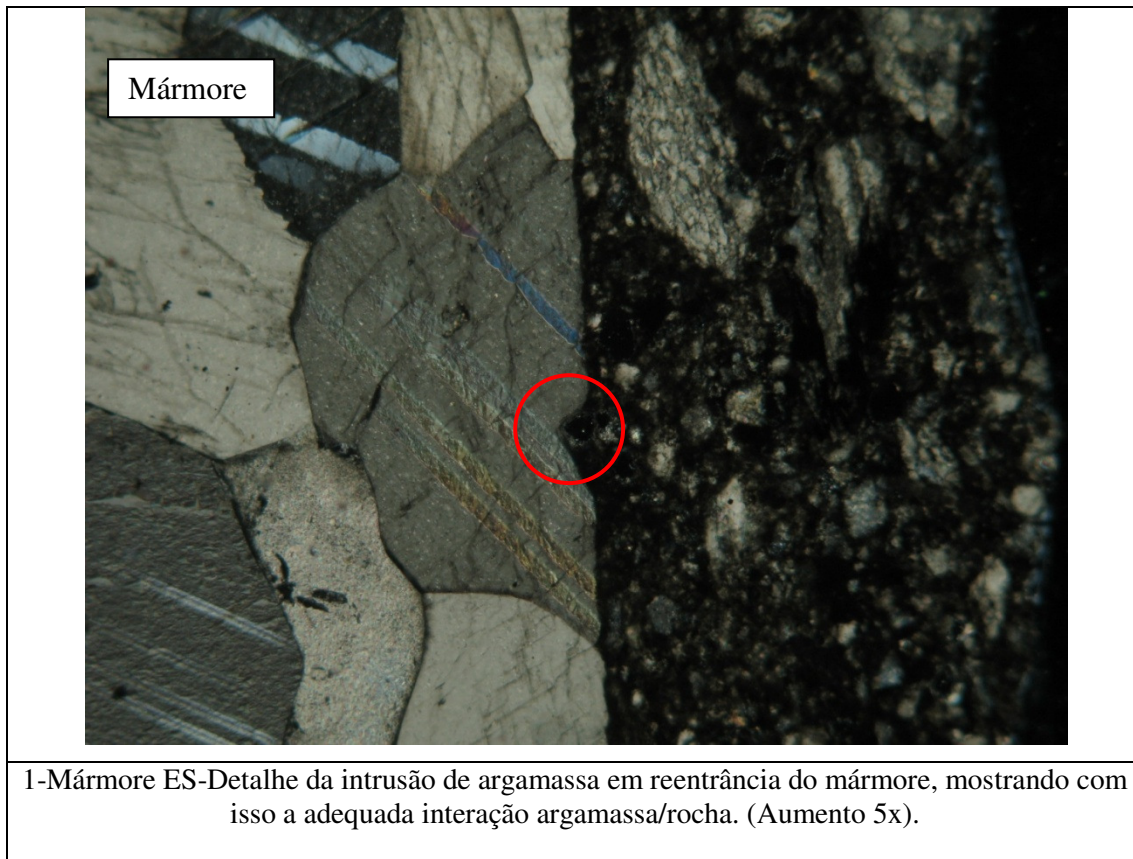
As duas variedades de calcário assentados com argamassa tradicional apresentaram aos 28 dias resistência de arrancamento inferior ao mínimo de 0,30 MPa, entretanto aos 6 meses houve discreto aumento e ambos superaram esta marca. A utilização da argamassa ACIII conduziu ao resultado mais elevado e parece que a utilização de HOR não afetou o desempenho. Convém destacar que os mármore, por sua natureza, costumam ser bastante susceptíveis à manchas. Por isso, cuidado adicional deve ser tomado com a escolha da argamassa, pois poderão ser contaminados por produtos de hidratação do cimento, geralmente acinzentados. Nestes casos uma solução bastante eficiente é a utilização de impermeabilizantes no tardo das peças que funcionam como barreira e evitando-se possíveis migrações de materiais da argamassa, preferencialmente aqueles de ação sub-superficial em lugar dos que formam filme, pois pode haver comprometimento da aderência.

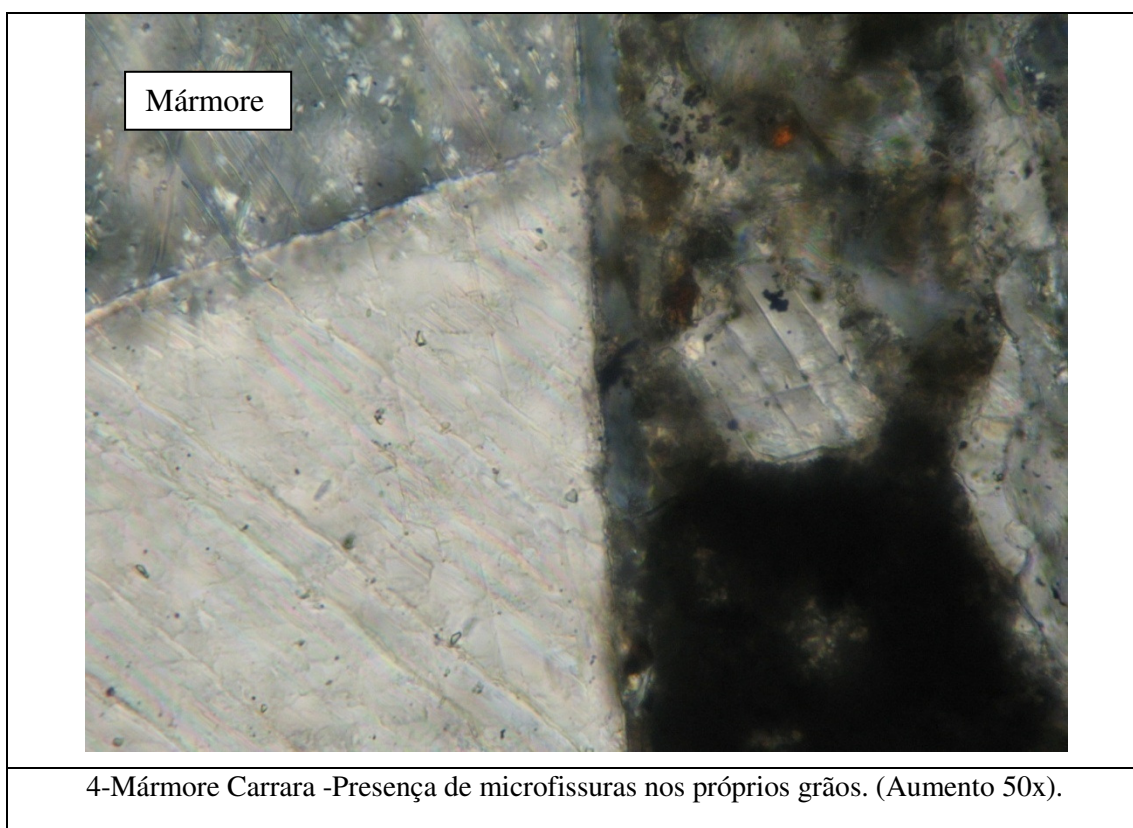
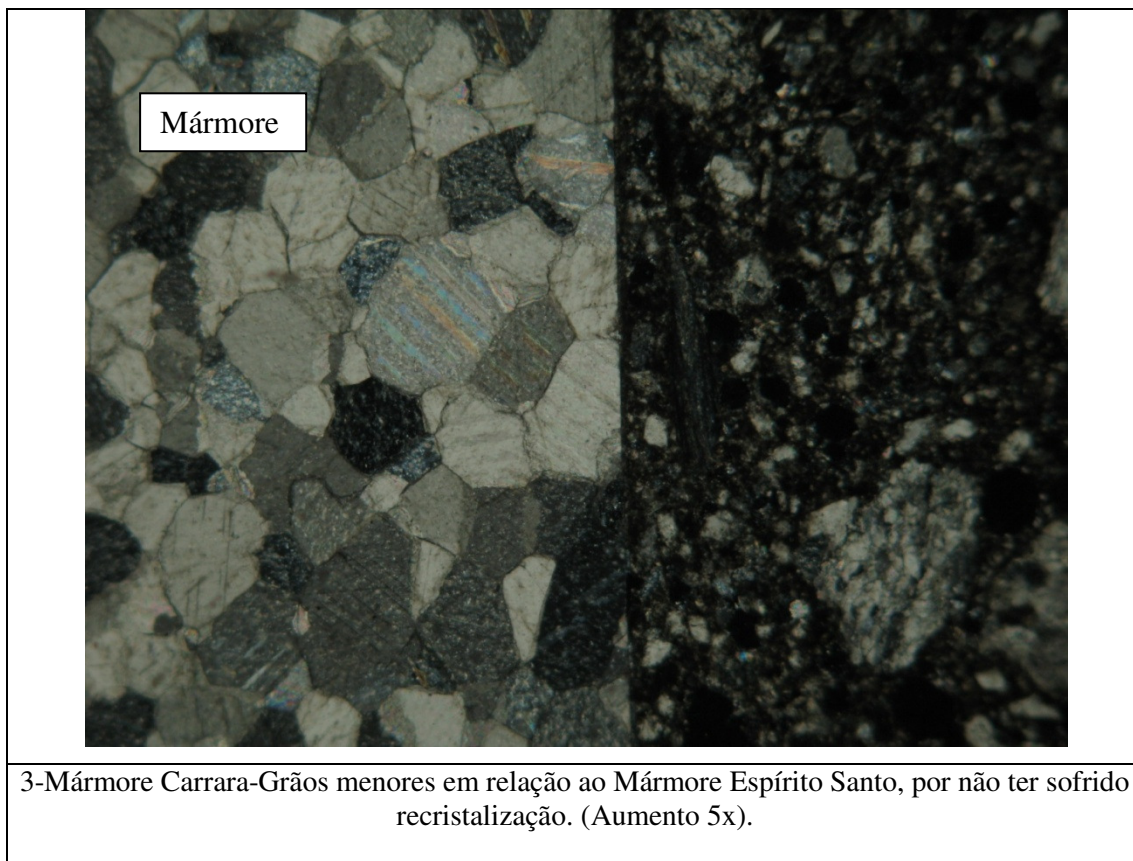
Para 12 meses, o sistema Mármore Nacional praticamente não ganhou resistência e o Carrara elevou de forma discreta, mas ambos superaram a marca mínima de 0,30 MPa, ambos usando argamassa tradicional. O aspecto que pode ser destacado é a porosidade: os calcários apresentaram porosidade acima de 2,18% e 3,15%, respectivamente. De um lado esta característica permite maior ancoragem dos produtos de hidratação do cimento e conseqüentemente aumentando a resistência de aderência, mas convém lembrar que a possibilidade de manchas é maior, pois permite uma maior circulação de fluidos pela rede de poros.

Em todas as situações envolvendo os calcários percebe-se um contato bem definido entre rocha e argamassa, evidenciando que a formulação adequada da argamassa de assentamento é fundamental para que consiga obter uma correta fixação das rochas. Não seria interessante, por exemplo, que houvesse falhas na camada de contato entre os materiais, pois estas falhas estariam contribuindo para a diminuição da extensão da aderência.

Com o uso da argamassa AC III e também ACIII+HOR, percebeu-se um avanço de 32% de 1 mês para 6 meses e mais 6% para 1 ano, denotando a ação dos polímeros destas argamassas.





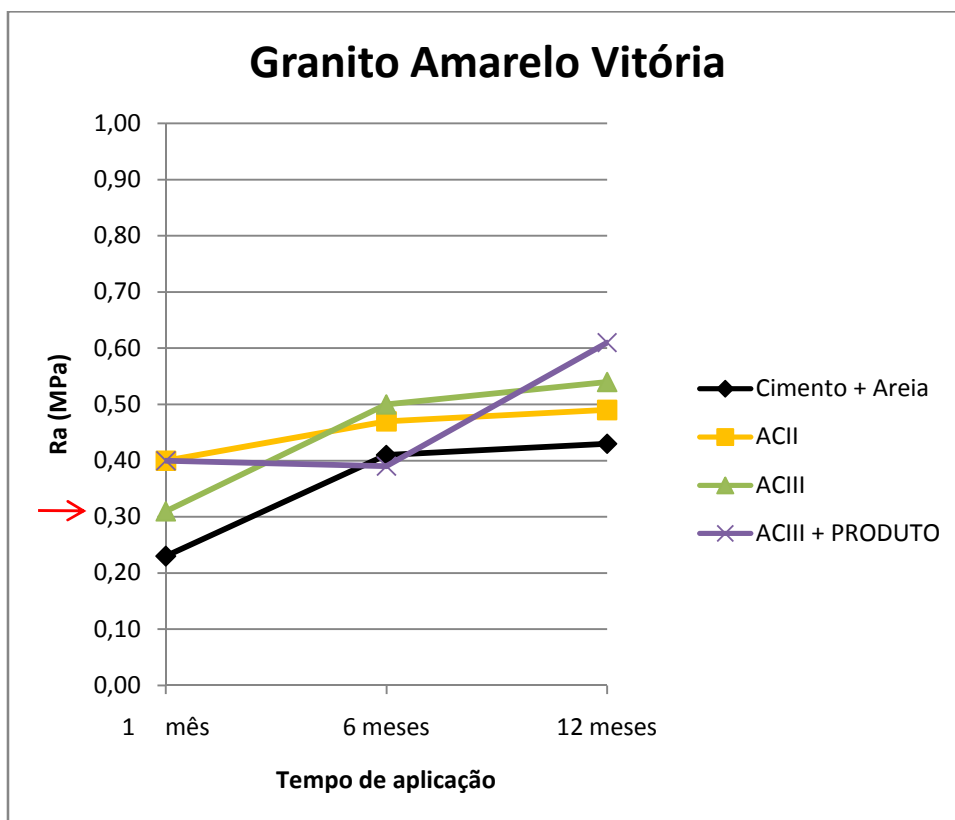
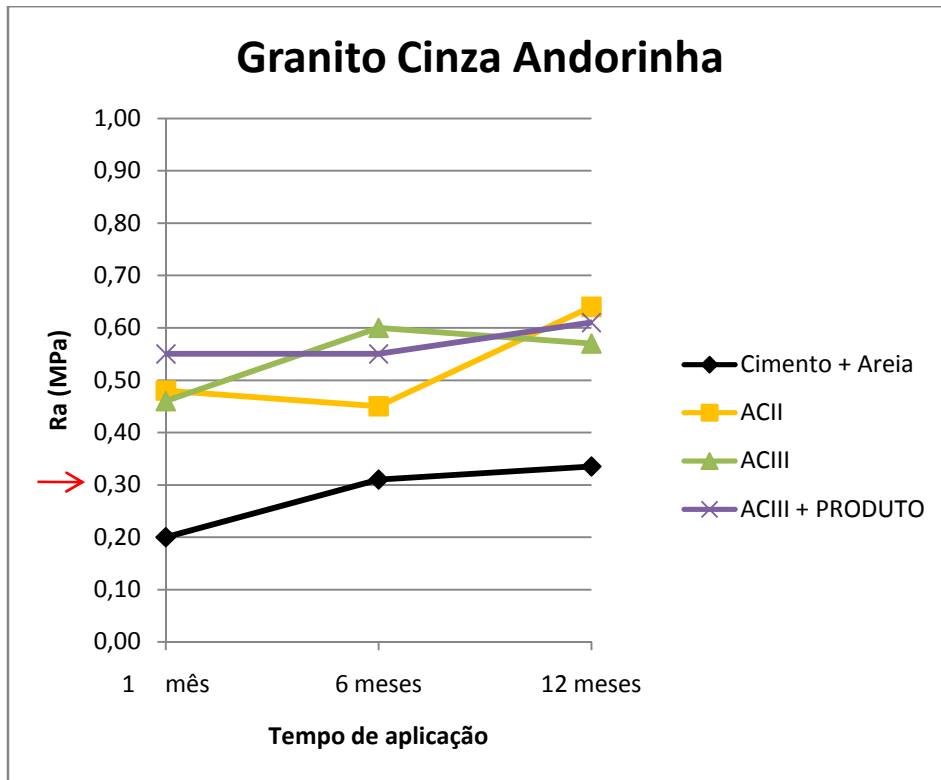


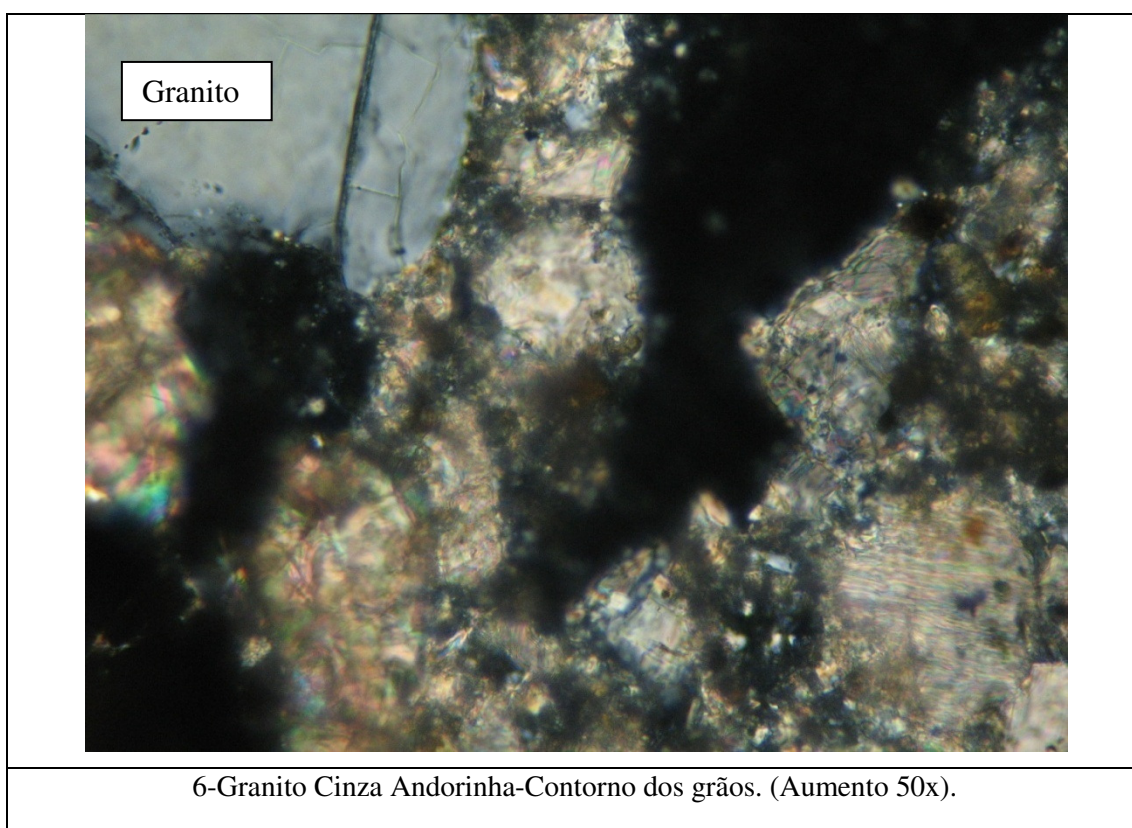
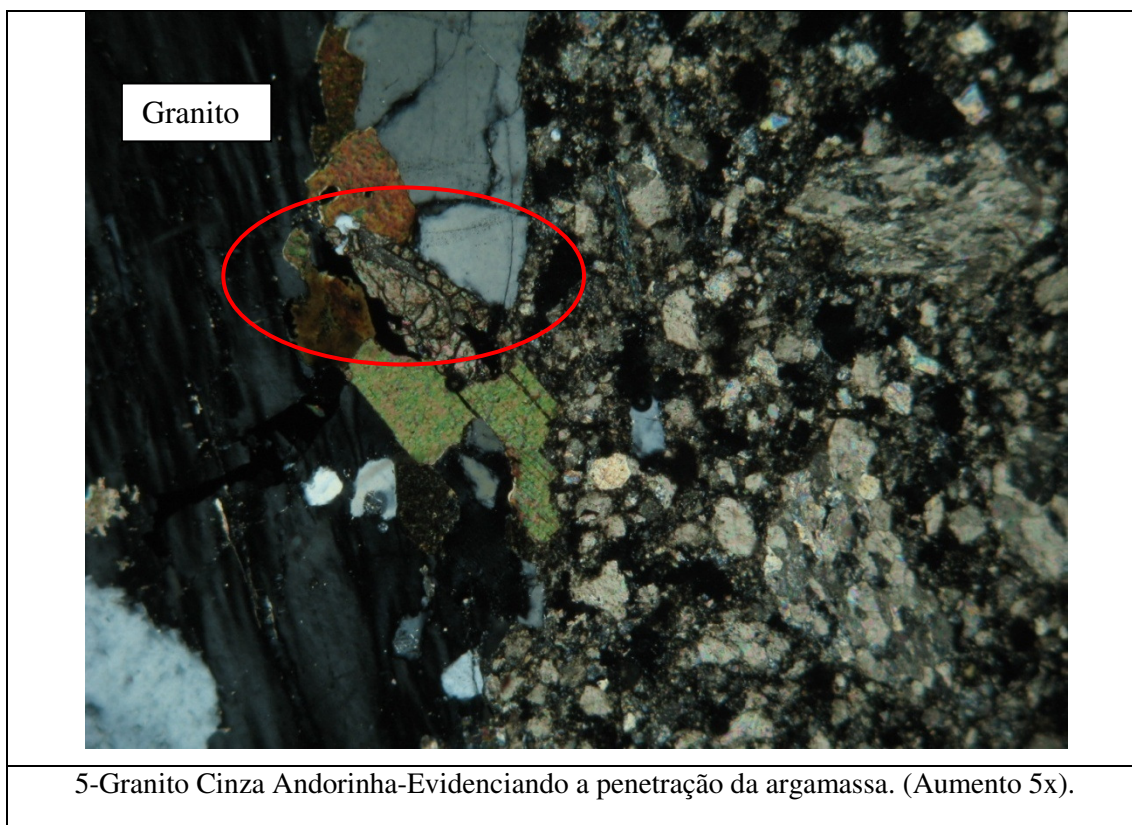
## II - Grupo das Quartzofeldspáticas

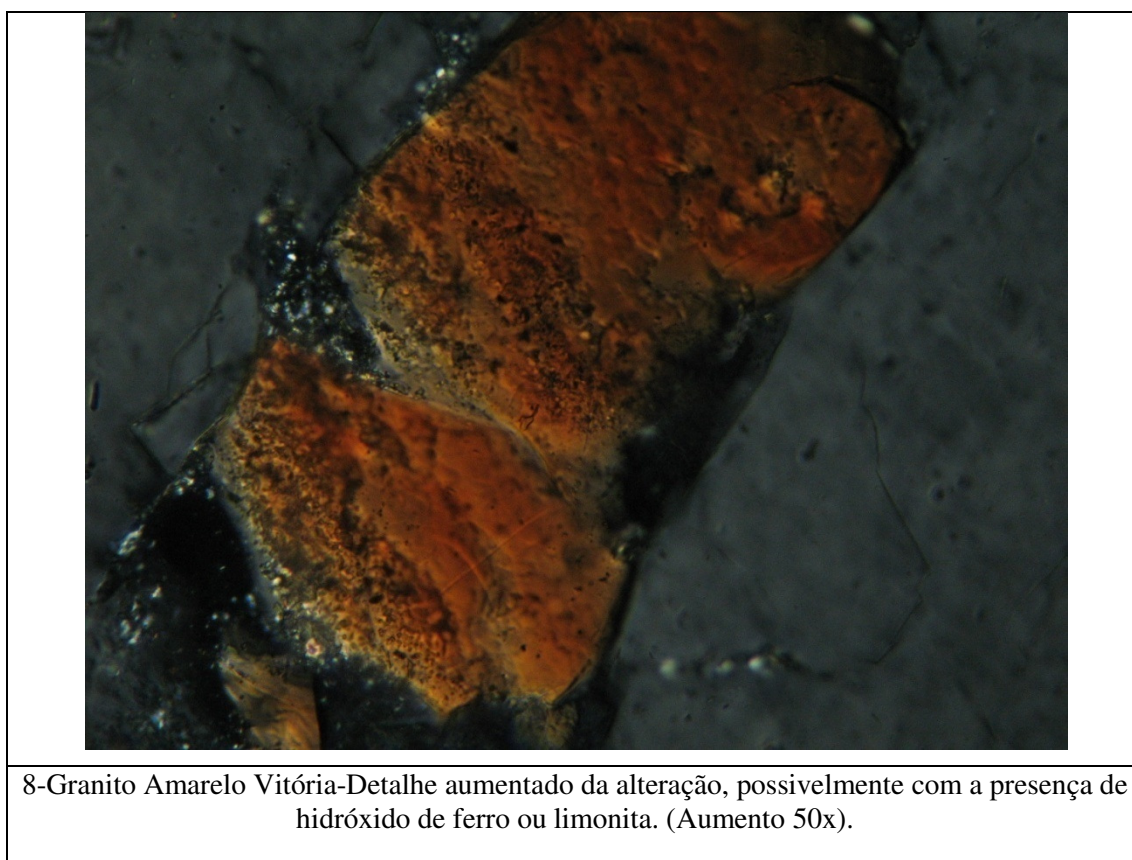
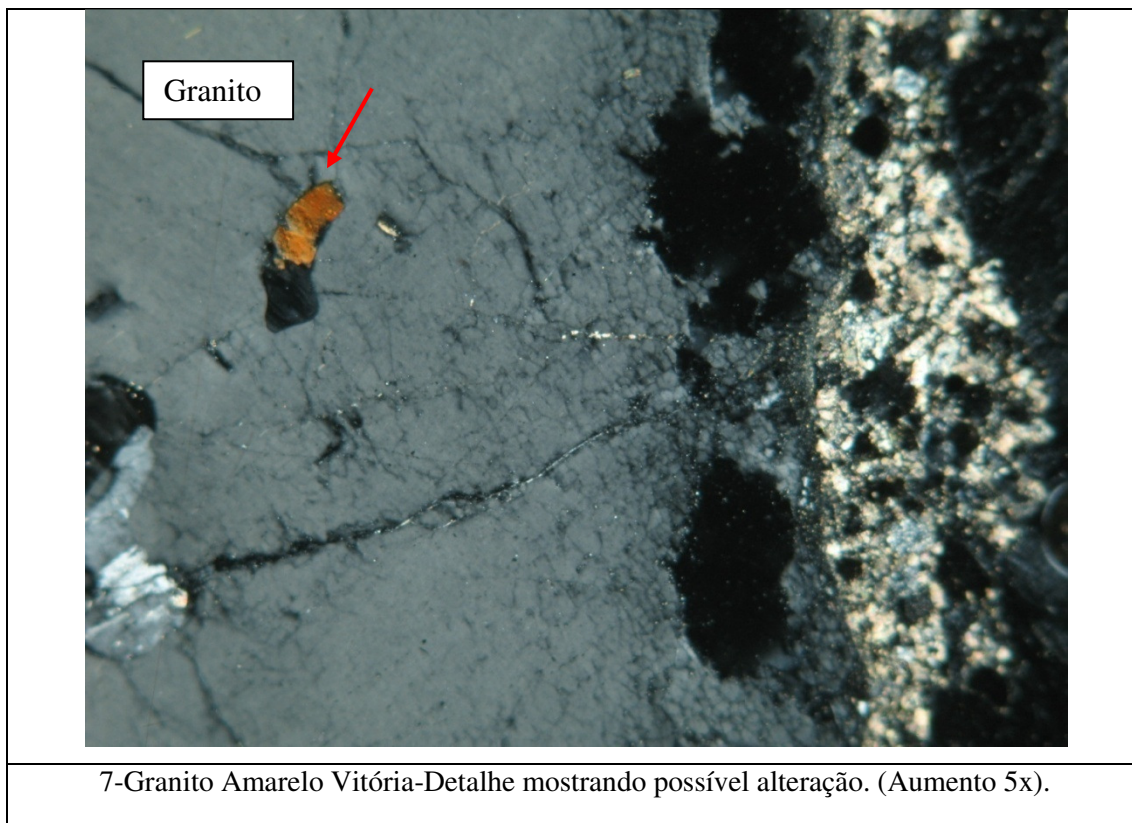
No grupo destas rochas, os granitos não alcançaram a resistência mínima estabelecida aos 28 dias. Como o Cinza Andorinha apresenta porosidade de 0,68% e o Amarelo Vitória de 1,06% é provável que esta diferença de valores tenha influenciado na resistência aos 6 meses, já que o Cinza Andorinha ficou em 0,30 MPa e o Amarelo Vitória alcançou 0,40 MPa. A utilização da argamassa ACIII também mostrou evolução parecida indicando que a porosidade tem interferência direta na aderência. A utilização de HOR conduziu a uma discreta diminuição nos valores de arrancamento, porém mantendo o valor próximo de 0,40 MPa, que supera o mínimo exigido por norma.

Na idade de 6 meses, o Amarelo Vitória, usando a argamassa tradicional apresentou ganho de resistência proporcionalmente maior que o Cinza Andorinha. Muito provavelmente isso deve-se à sua porosidade maior, o que permite uma maior presença da etringita, que é um dos produtos de hidratação do cimento responsável pela ancoragem mecânica. Porém, aos 12 meses usando-se a argamassa AC-III, a situação se inverte, pois o Cinza Andorinha superou o Amarelo Vitória e isto pode ser devido à presença dos polímeros na formulação da argamassa. Neste caso, é importante ressaltar que os materiais mais acinzentados são mais susceptíveis à presença de umidade. Ocorre que no afã de se conseguir uma argamassa tradicional mais plástica, é aumentada a quantidade de água que posteriormente irá aflorar na rocha, apresentando um aspecto de manchamento que permanecerá de forma indelével na rocha.

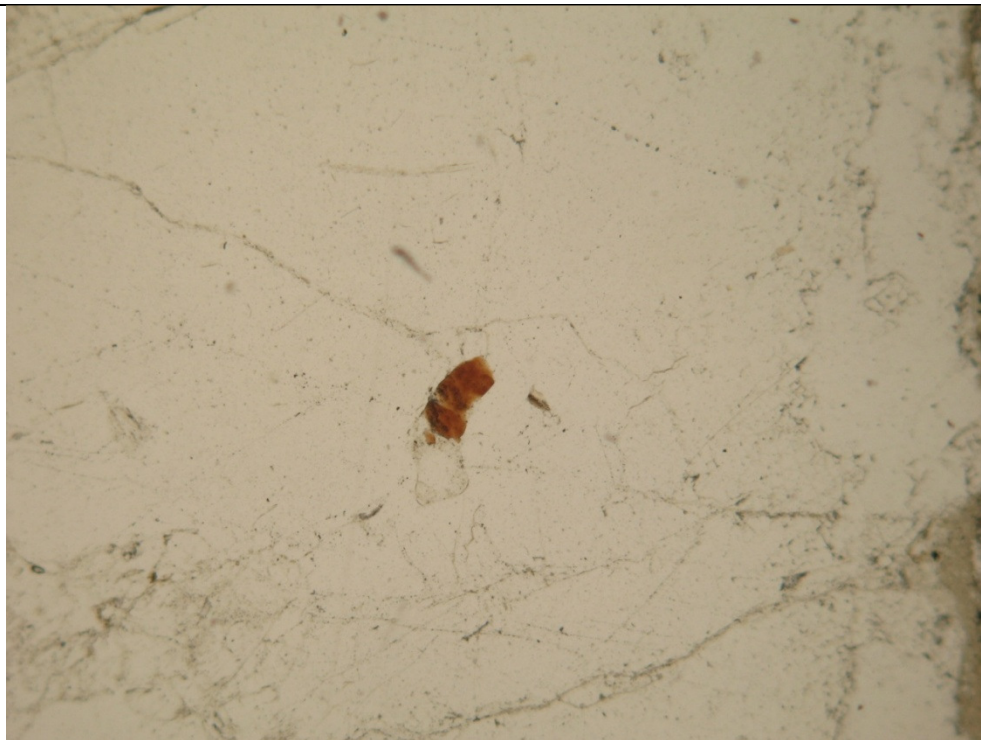
O destaque que se deu ao elemento ferruginoso na microfotografia se explica, pois como é sabido não existe rocha que seja amarela *in natura* de modo que os materiais ditos amarelos, não são originalmente desta cor mas apresentam esta coloração em função das alterações que os constituintes vão sofrendo com o passar do tempo. A água pode alcançar estes elementos no interior da rocha de duas formas: através das intempéries (de fora para dentro) ou pela presença de água em excesso na argamassa (de dentro para fora). Porém, independente do caminho, ao alcançar os elementos ferruginosos é certa a formação de óxidos e hidróxidos e posterior manchamento das placas.



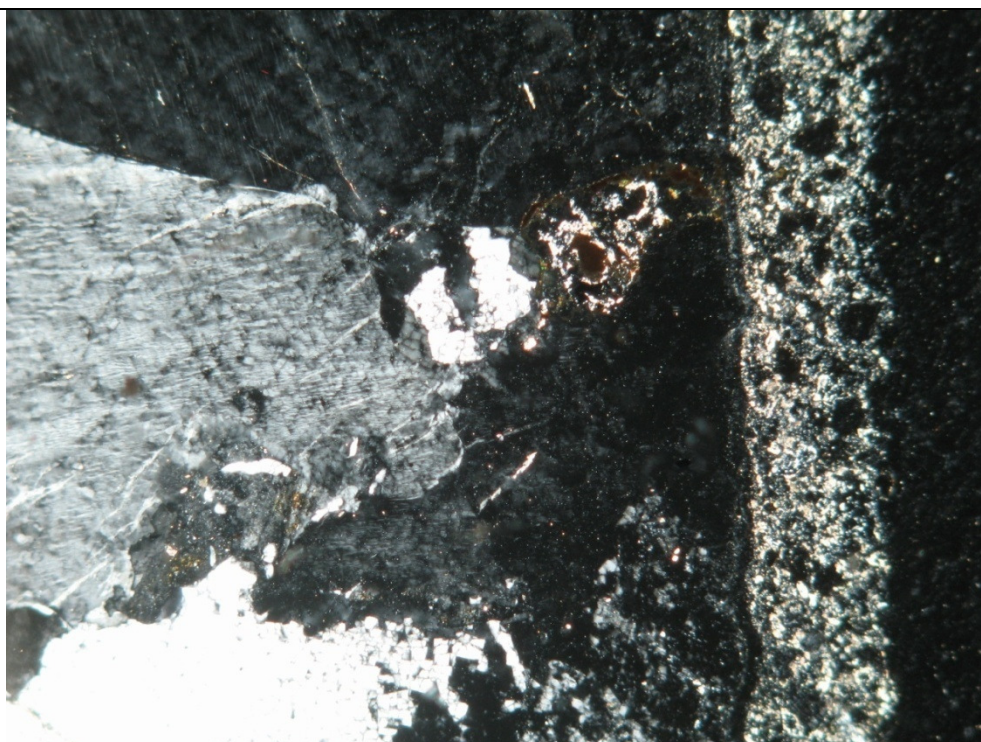




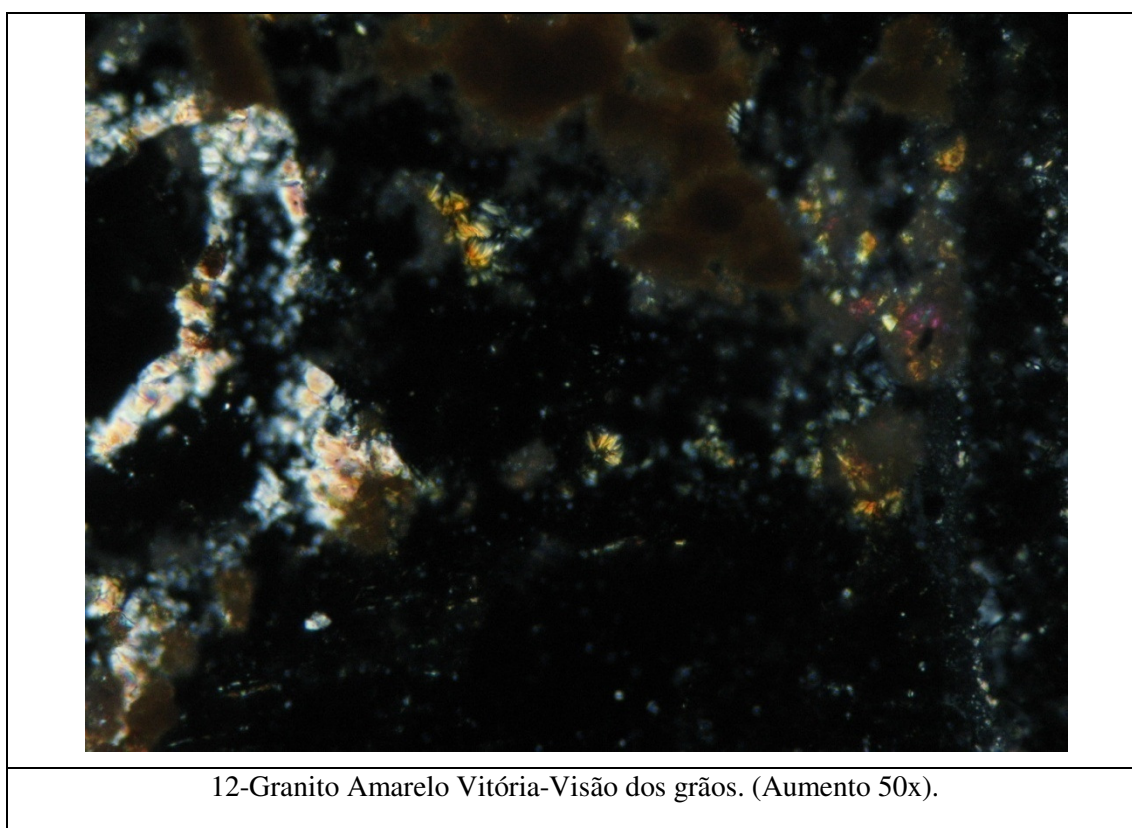
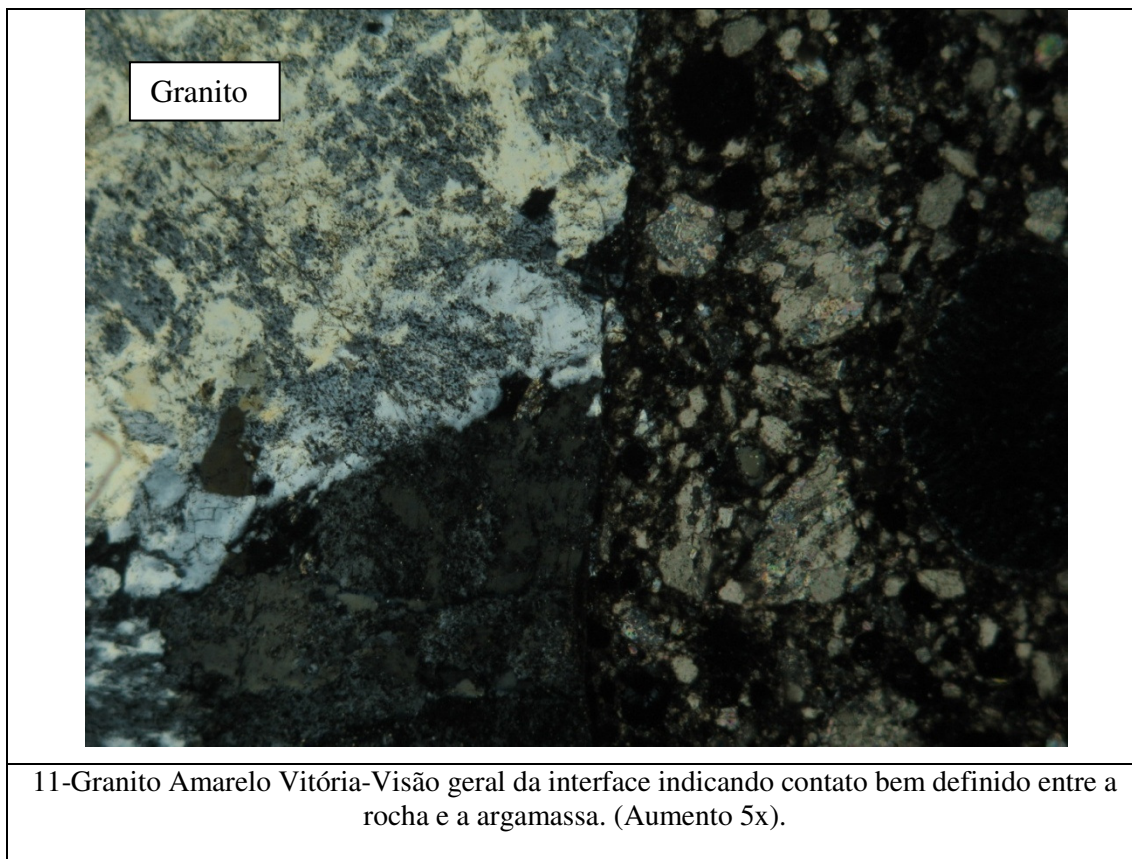




9-Granito Amarelo Vitória-Detalhe da mesma alteração anterior mas com nicóis paralelos. Notar também a rede capilar na rocha. (Aumento 5x).



10-Granito Amarelo Vitória-Lâmina anterior com nicóis cruzados. (Aumento 50x).

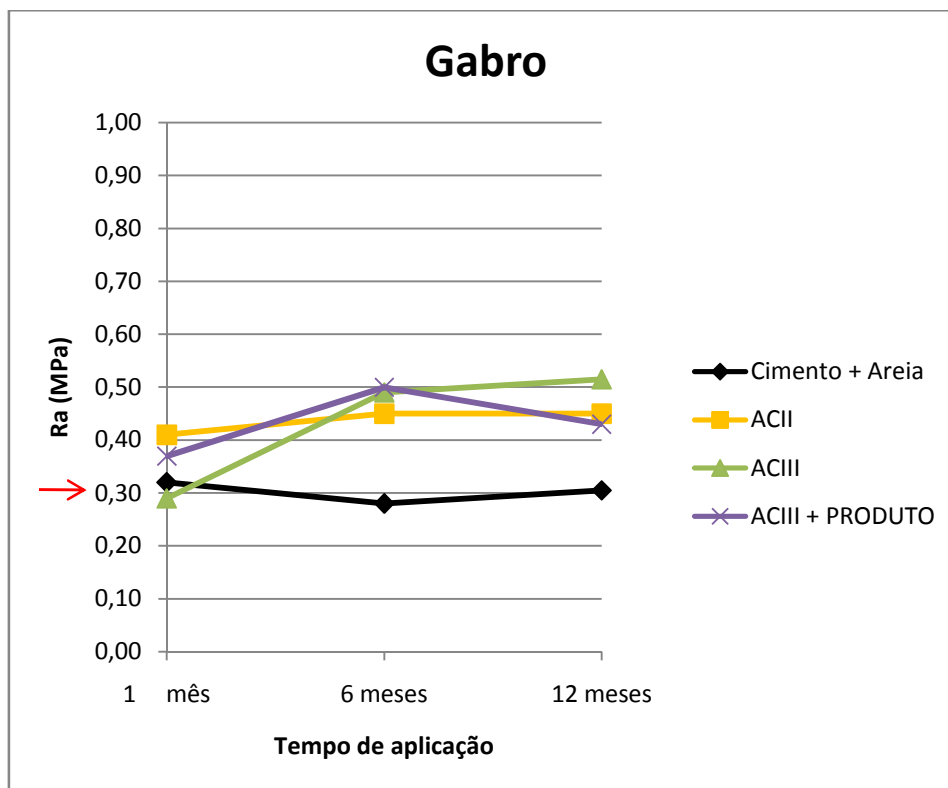
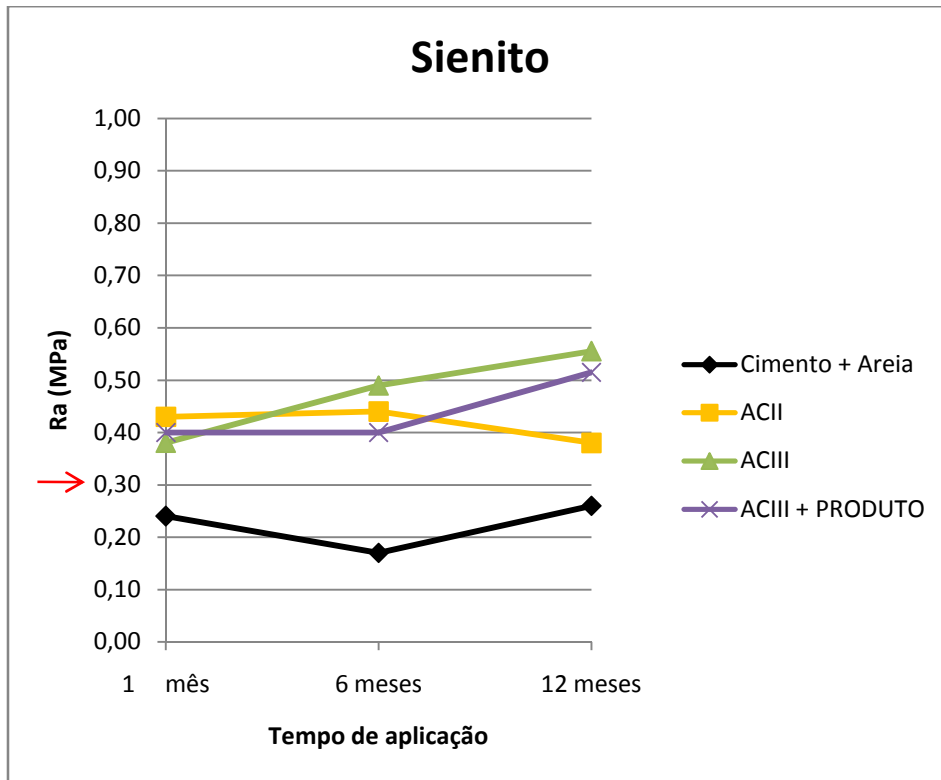


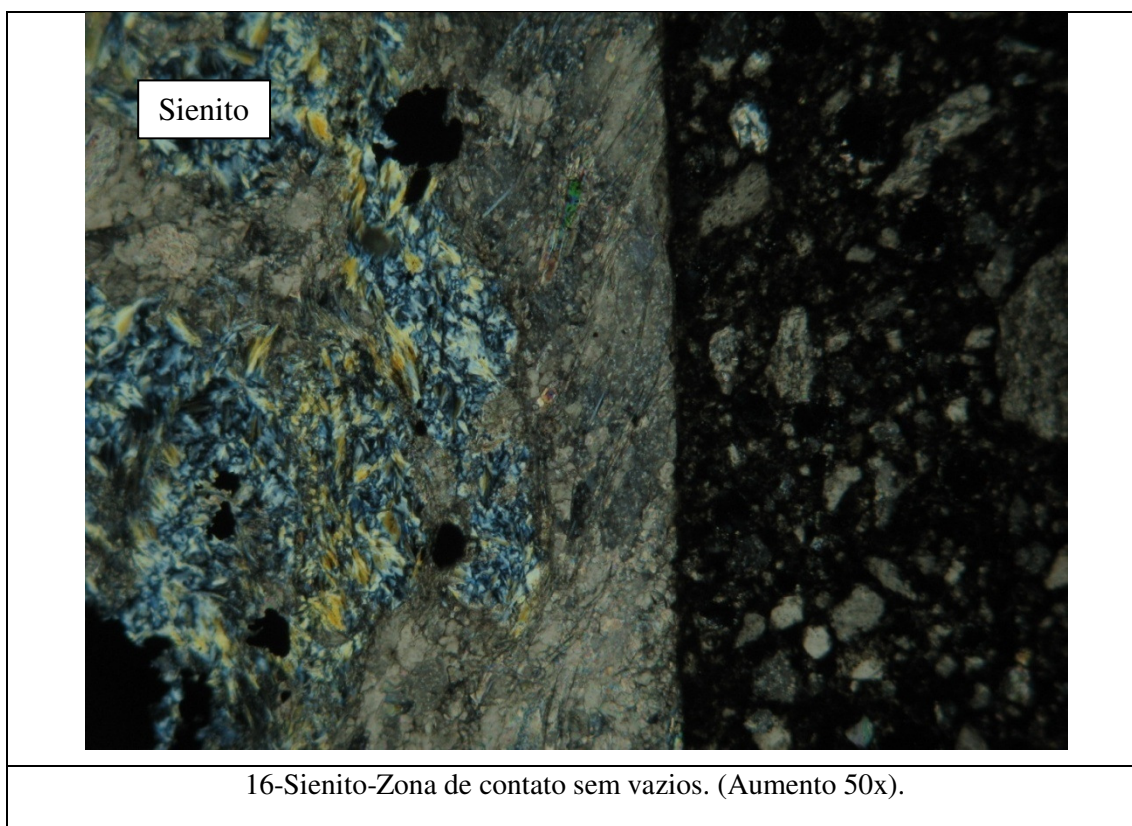
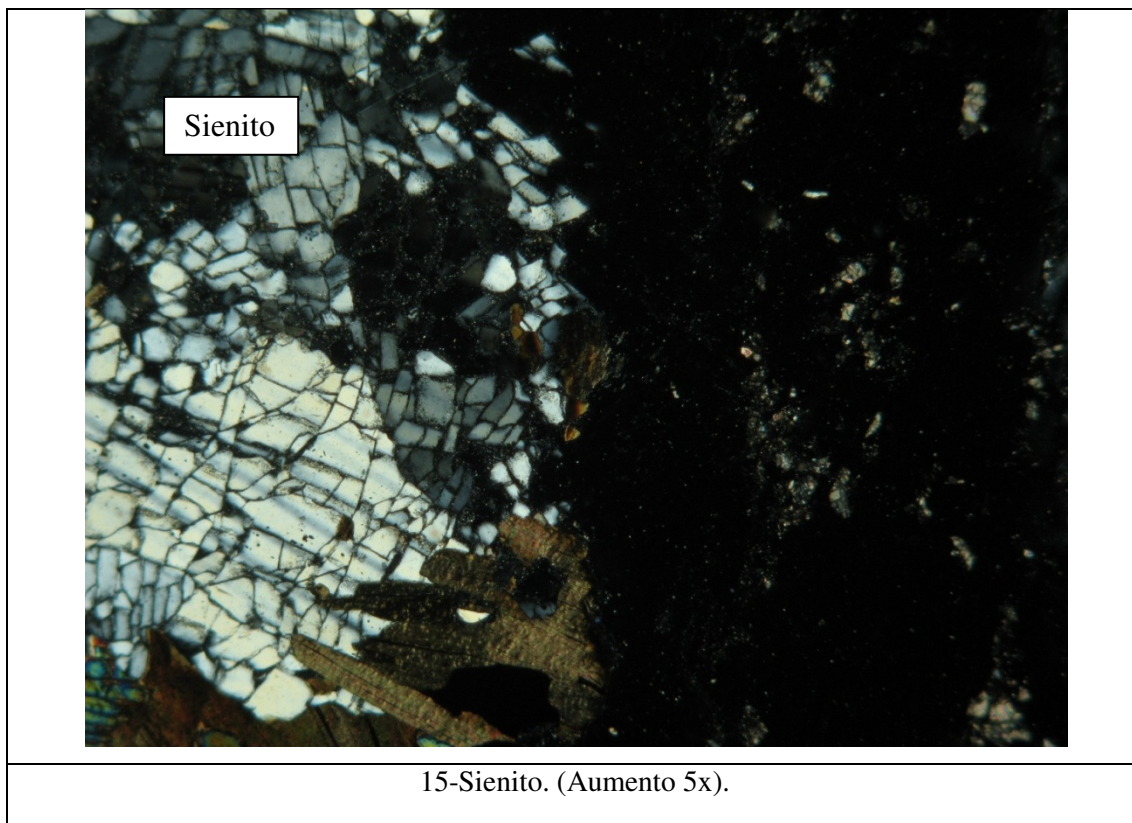
### III - Grupo Feldspáticas

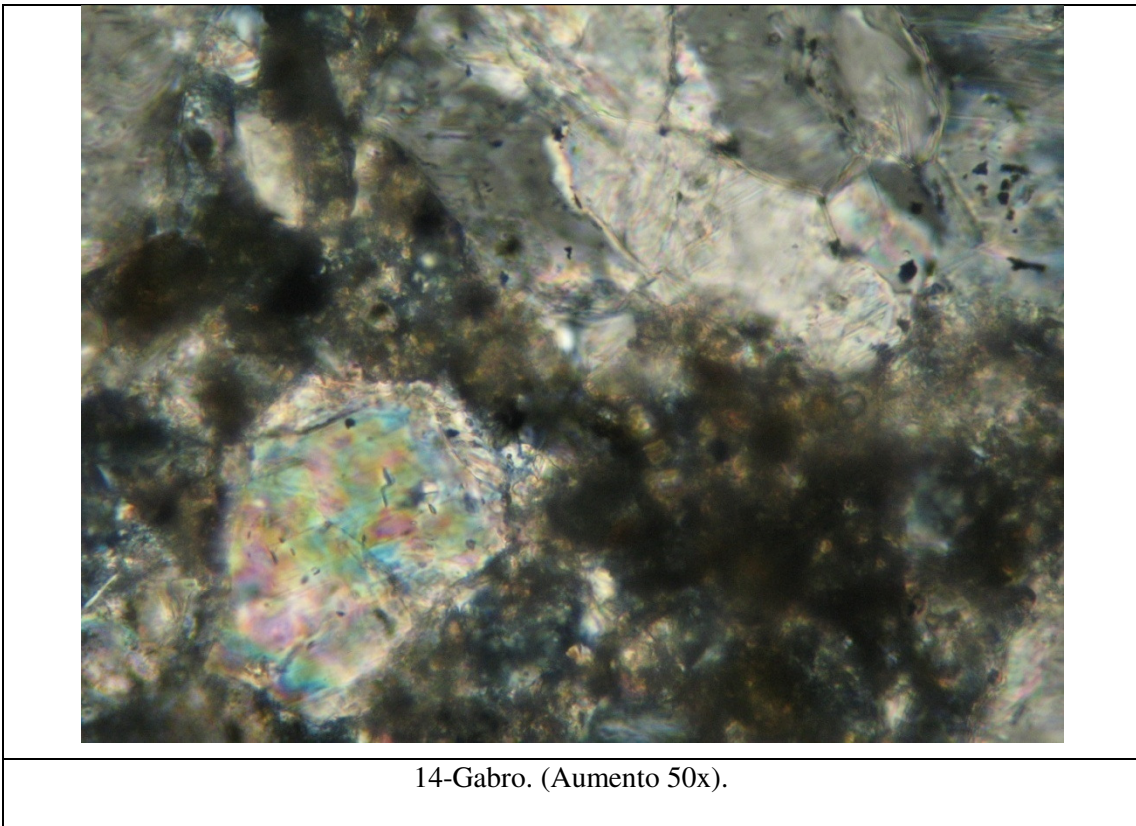
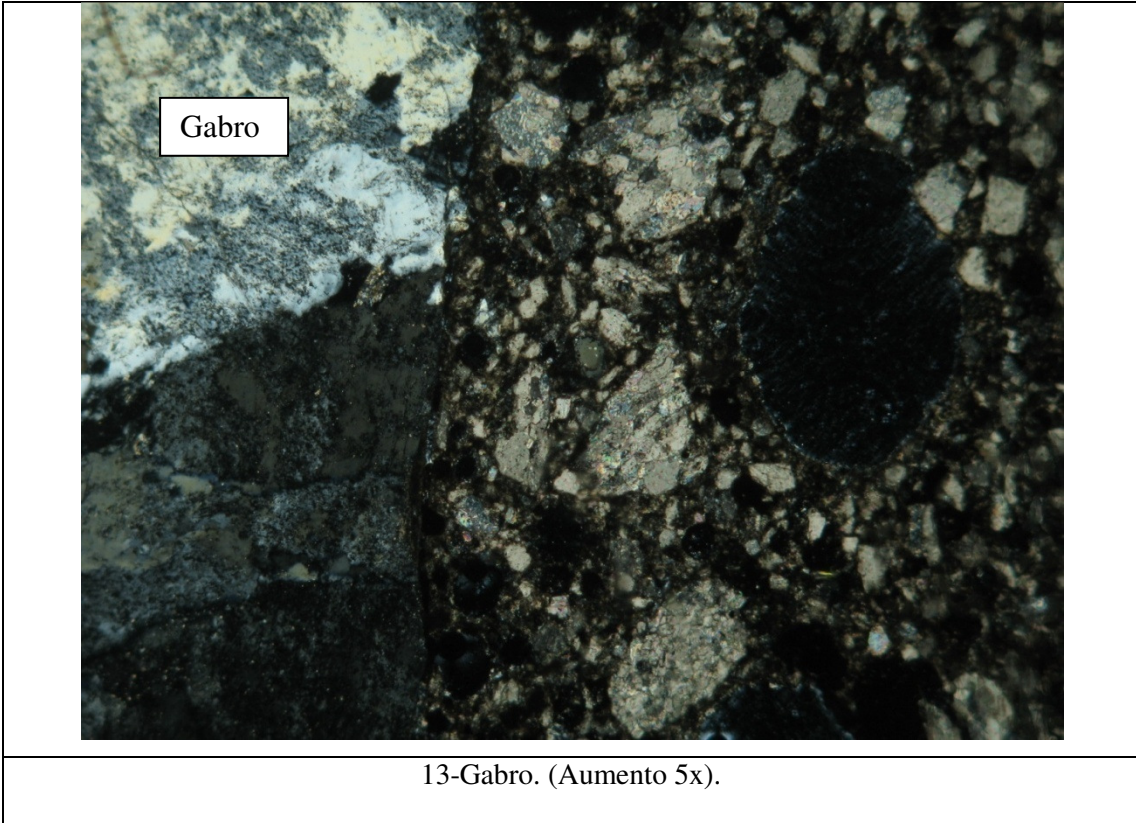
As rochas deste grupo com porosidade de 0,49% para Ás-de-paus (Sienito) e 0,38% para Preto São Gabriel (Gabro) mostraram curiosa redução de resistência de arrancamento quando utilizam-se argamassa tradicional, observando-se os valores de 28 dias e 6 meses. É possível que a presença de componentes máficos nesses materiais, tenha conduzido a maiores variações térmicas, solicitando mais intensamente as placas e reduzindo os valores da aderência. Ao contrário do comportamento anterior, parece ter havido aumento nas resistências de arrancamento com uso das argamassas colantes. O resultado de 0,50 MPa foi alcançado aos 6 meses mesmo utilizando-se HOR.

Com 1 ano a resistência do sistema Gabro mais argamassa tradicional superou com pequena folga o mínimo exigido pela norma e do Sienito não alcançou. Por outro lado, utilizando-se a argamassa ACIII a resistência foi ultrapassada. Novamente é importante destacar que a composição destas duas variedades, com baixa ou nenhuma presença de quartzo, afasta sua caracterização como “granito” e a presença dos componentes máficos enseja preocupação com o desempenho frente às solicitações térmicas.

Esta questão é muito importante, pois muitas vezes a denominação comercialmente aceita, porém errônea, de granito sugere que a argamassa tradicional seja suficiente para alcançar a resistência mínima indicada pela norma, mas como os ensaios indicaram, isto não acontece. Ocorre que a porosidade também é muito baixa, 0,49% e 0,38% respectivamente, não contribuindo para a ancoragem mecânica. Neste caso, a parcela mais relevante da aderência é a química, que é promovida pelos polímeros presentes na argamassa AC III, como se pode constatar nos resultados de 1 ano, que são 0,56 MPa e 0,52 MPa. Desta forma, fica claro que estes materiais necessitam de argamassas com significativa presença de polímeros e que tenha módulo de elasticidade compatível com as solicitações térmicas.







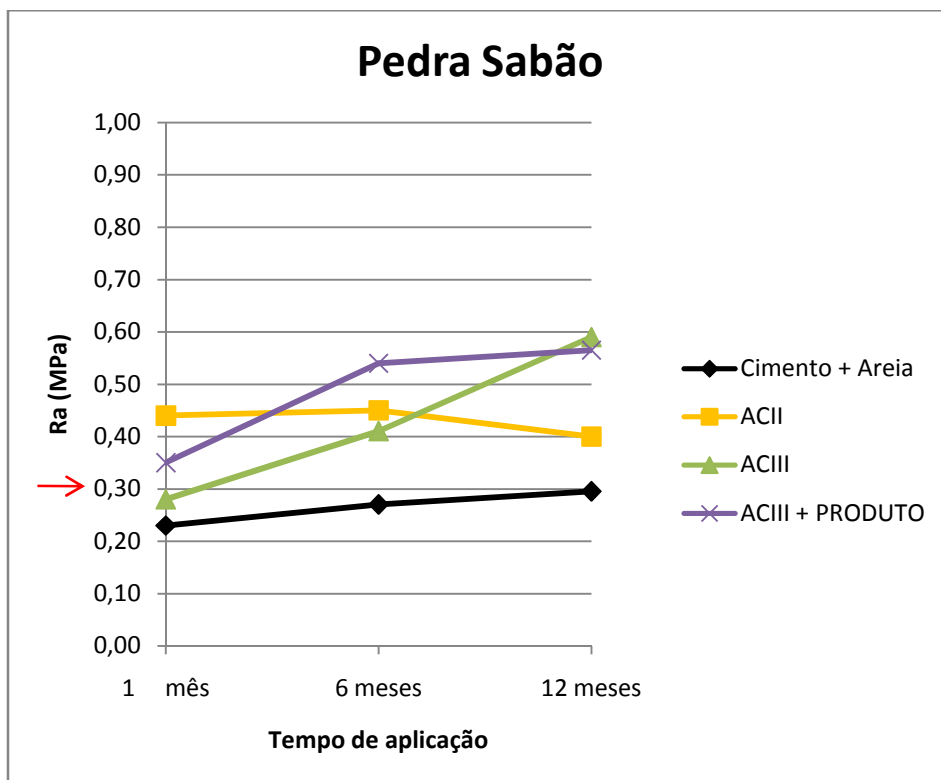
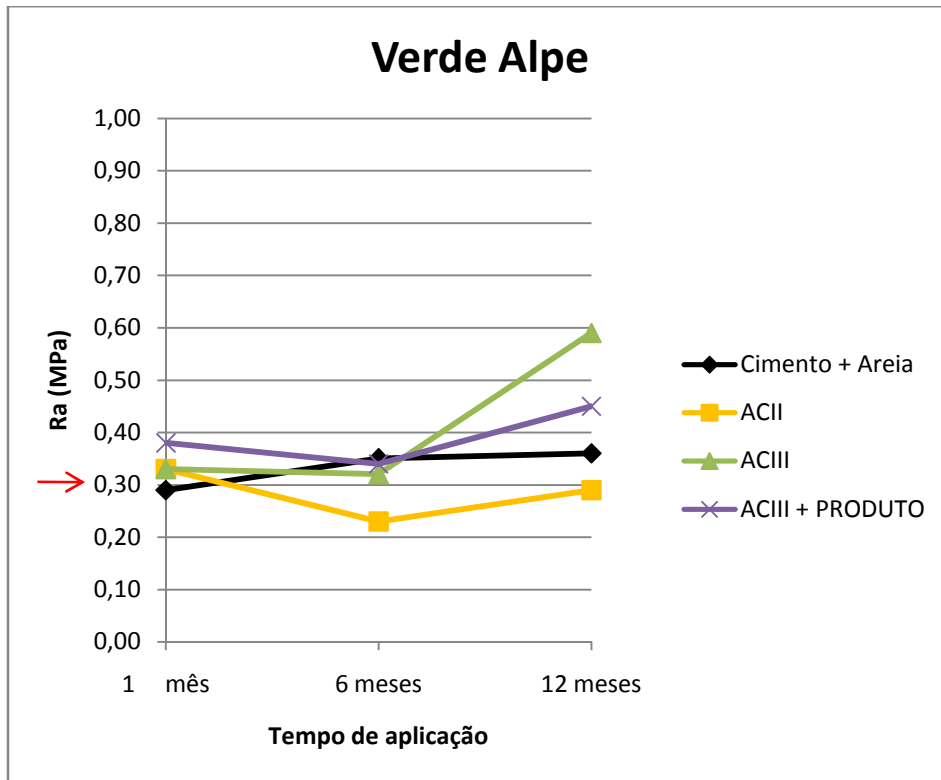
#### **IV - Grupo dos Esteatitos**

O comercialmente denominado granito Verde Alpe (serpentinito) apresentou para porosidade, 0,52% e a Pedra Sabão, 0,91%. A argamassa tradicional não conseguiu atingir o mínimo determinado pela norma aos 28 dias, mas aos 6 meses, sim. Talvez pela porosidade mais elevada, a Pedra Sabão tenha experimentado uma evolução mais evidenciada que o serpentinito, que apresentou uma ligeira involução dos resultados, exceto com uso de ACIII. Uma das possíveis explicações para esta situação refere-se ao seguinte: este material é bastante frágil, bastante susceptível à quebras e por isso na lavra é colocada uma tela no tardo das chapas. Quando da utilização na obra, a tela é retirada de forma não adequada, restando uma pulverulência que certamente prejudicará a aderência.

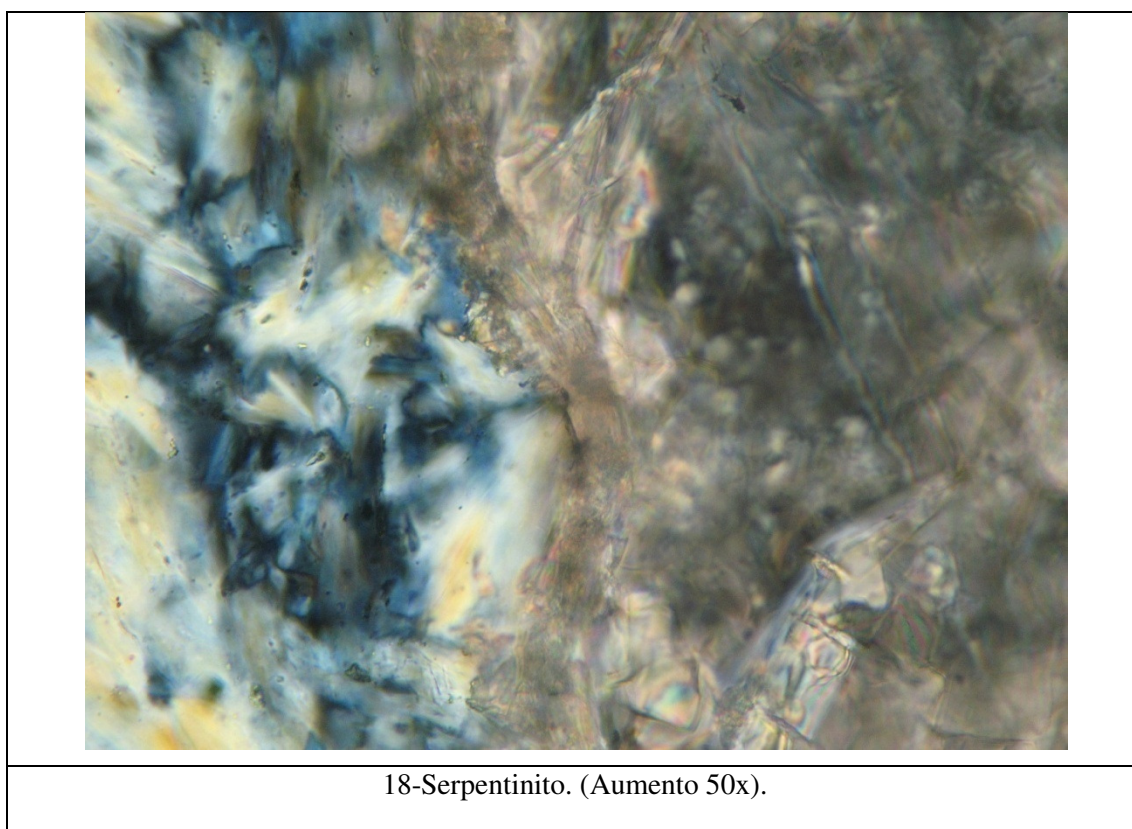
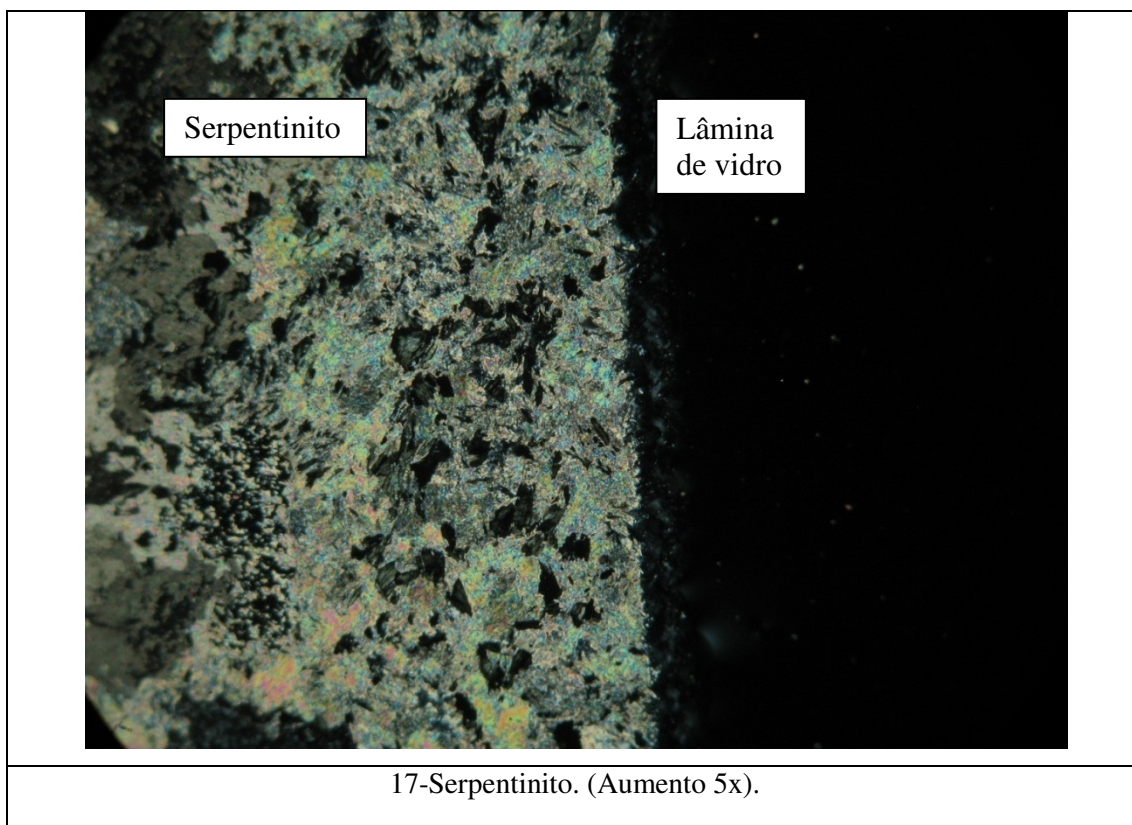
Ao período de 12 meses, a Pedra Sabão e o Verde Alpe evoluíram suas resistências quando aplicadas com argamassa tradicional de forma discreta, mantendo o valor mínimo exigido pela norma. Por outro lado, seu desempenho com uso da argamassa ACIII aumentou significativamente.

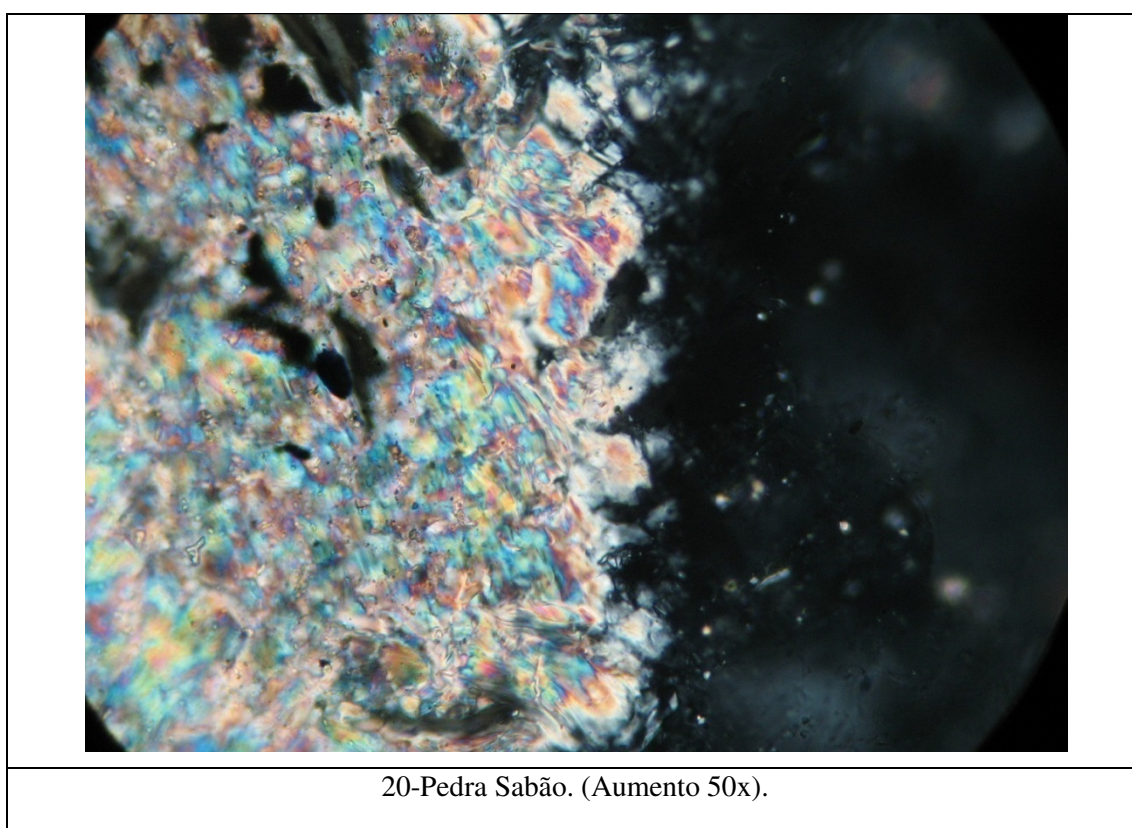
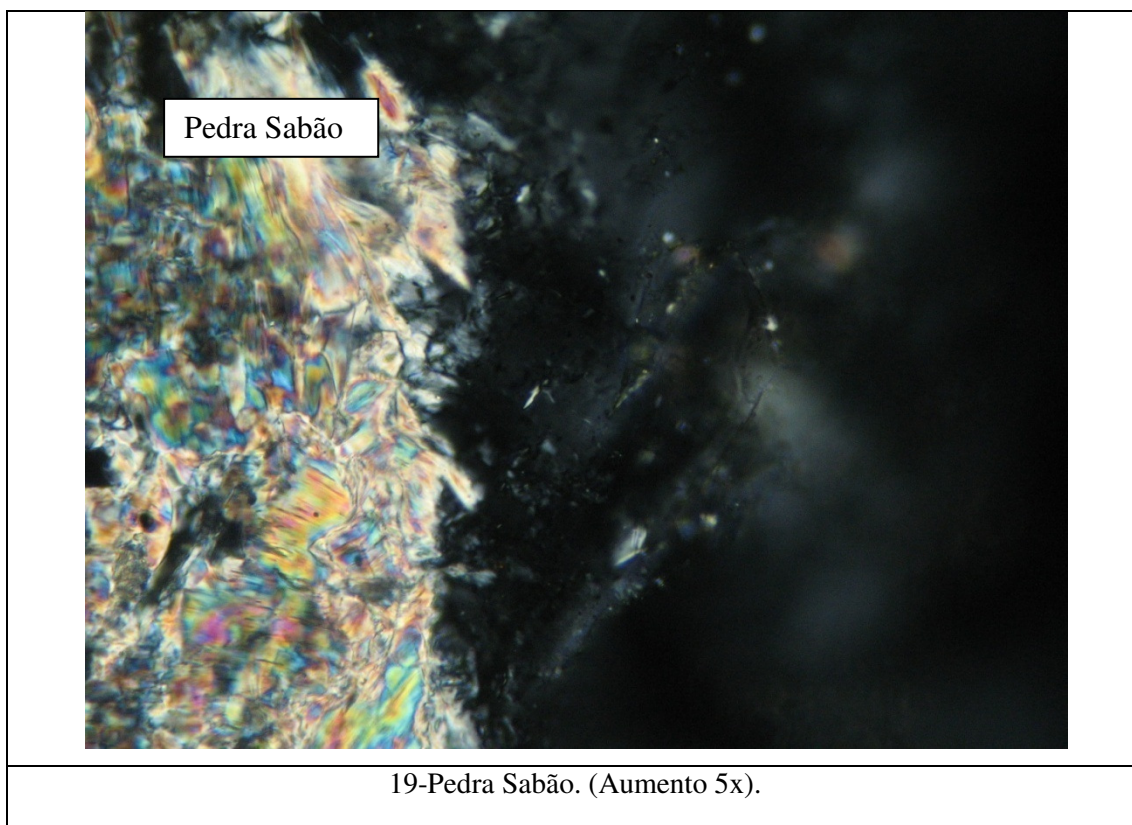
É importante destacar que serpentinitos são transformados em esteatitos a partir de reações da serpentina com a sílica (que formará o talco). Estes materiais são comumente denominados “granitos”, mas tal denominação não é correta e pode levar a sérios problemas. Haja vista, por exemplo, que no tempo de 1 ano e usando argamassa tradicional, os valores de resistência de arrancamento para ambos ficaram no limite mínimo exigido pela norma.

Além disso, convém lembrar que a Pedra Sabão no passado já foi muito utilizada em revestimentos e também em monumentos, talvez em função de sua facilidade em afeiçoar-se. Entretanto, a restauração deve ser efetuada com critério, pois a colmatação de fissuras, trincas e alvéolos feita com argamassa reologicamente diferente da rocha certamente provocara o aparecimento de mais danos.









## 6.6. Análises com MEV e EDS

Do conjunto de amostras, escolheram-se o Mármore Carrara e o Granito Cinza, em função da maior utilização destes materiais nos projetos como rochas de revestimento de fachadas e levando-se em conta que são materiais bastante diferentes do ponto de vista geológico.

Para a caracterização do tipo de interface rocha/argamassa, optou-se pela realização destes ensaios para melhor conhecer a morfologia, utilizando-se as microanálises realizadas com o equipamento MEV JEOL JSM-6360LV com EDS THERMO NORAN.

Após realização do ensaio de arrancamento, a placa de aço que fora colada no corpo-de-prova de rocha foi retirada com auxílio de uma talhadeira. Na seqüência, foi executado um corte a seco para se retirar uma fatia, conforme visto na Figura 117.



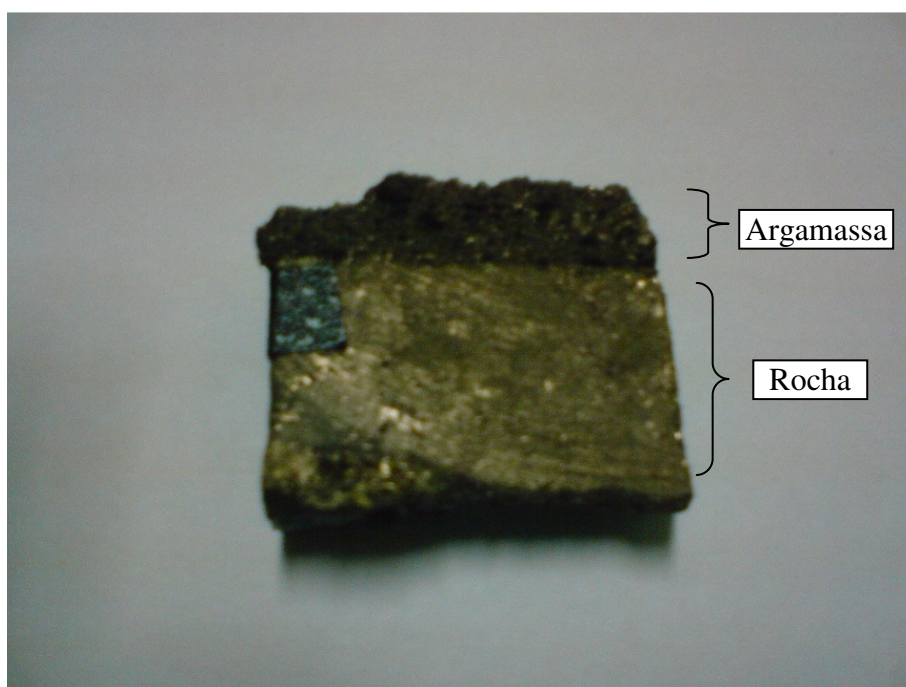
**Figura 117-Demonstração do corte a seco de uma fatia transversal do corpo-de-prova de rocha + argamassa.**

A seção transversal assim obtida apresenta dimensões próximas de 10 cm de comprimento, 3 cm de largura e 3 cm de altura,



**Figura 118-A** seção transversal da figura anterior.

Desta fatia foi cortado, também a seco, pequeno bloco com dimensões próximas de 3 x 3 cm, de forma a se adaptar ao porta-amostras do microscópio, conforme Figura 119.

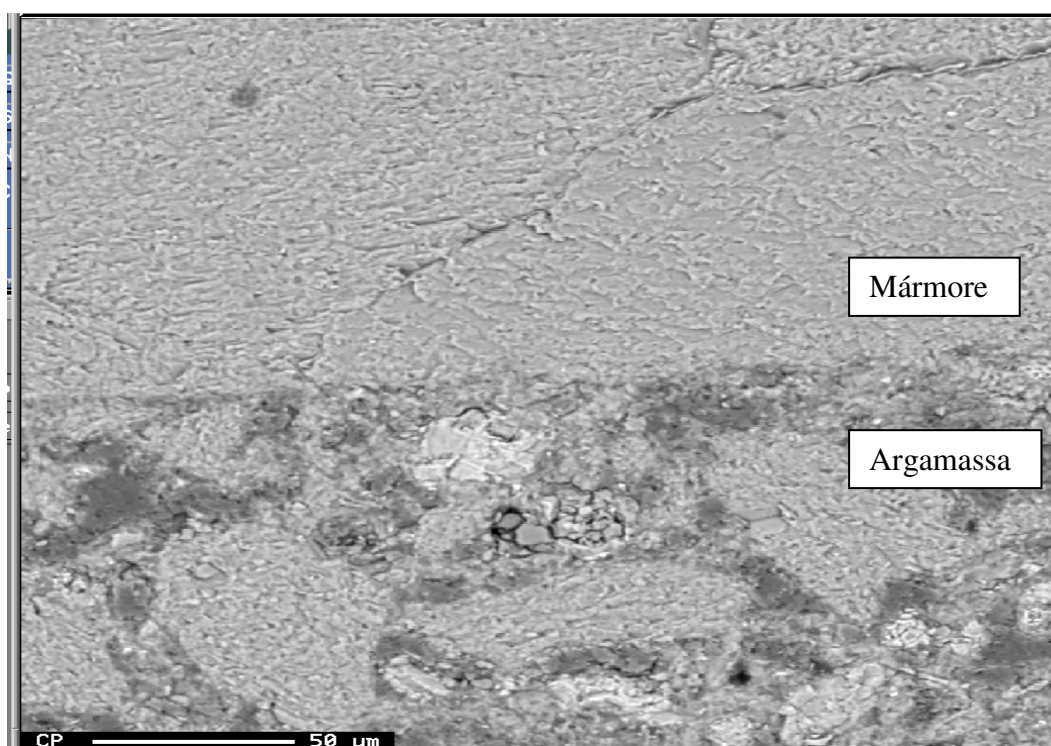


**Figura 119**-Corpo-de-prova preparado a partir da amostra extraída do painel.

Realizou-se a inspeção inicial das amostras, a partir da qual foram definidos os sítios para registro das imagens por elétrons retroespalhados. Optou-se pelas seguintes tomadas: registro da rocha (mármore ou granito), registro da interface entre as rochas e a argamassa e registro da estrutura da argamassa, em ambas as amostras. Como nas rochas a maioria dos elementos são naturalmente encontrados na forma de óxidos, a leitura por EDS foi realizada conforme este parâmetro, exceto para as fases que apresentavam elementos que conhecidamente ligam-se entre si. A presença do nióbio ocorre devido à superposição de faixas entre este elemento e o ouro, utilizado no recobrimento das amostras. Os resultados apresentados referem-se aos valores de porcentagem em peso e os registros originais são apresentados no Anexo 6.

### *6.6.1. Sistema Mármore Carrara e Argamassa Colante*

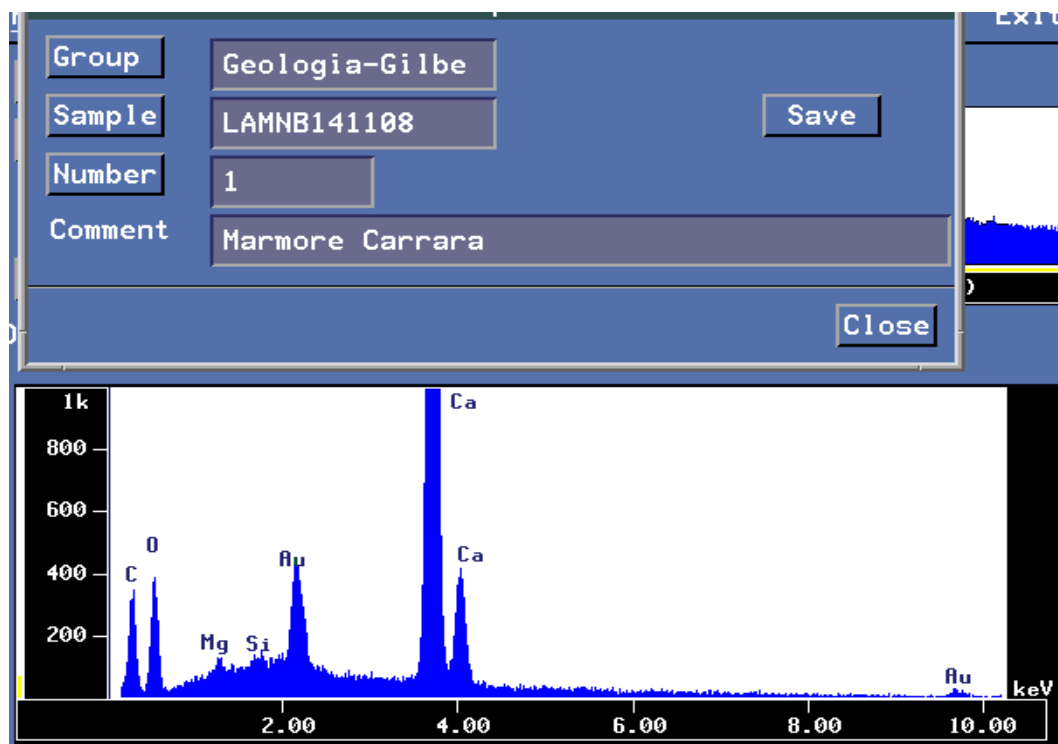
Diz-se “região da interface” (vide Figura 120) pois não é possível discretizar a interface, diferentemente de uma análise macroscópica. Trata-se de uma região com contato íntimo da argamassa colante e o mármore, sem presença de vazios.



**Figura 120-Fotomicrografia da região da interface Mármore Carrara+Argamassa Colante. (Aumento 400x).**

Notar a presença de fissura bastante pronunciada no mármore que, conforme já disposto, pode propiciar o avanço de água e este trânsito poderá promover alterações na rocha.

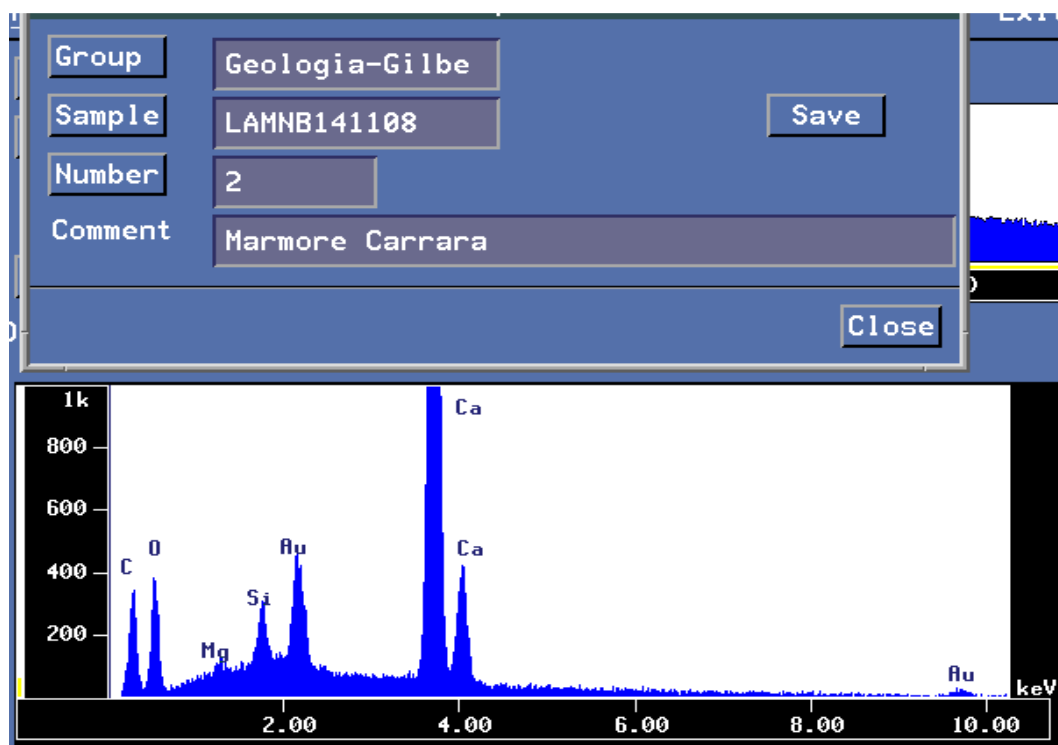
Numa região afastada da interface, ou seja na rocha propriamente, observa-se o espectro da Figura 121 e, como era de se esperar, o elemento predominante é o cálcio.



**Figura 121-Espectro da rocha – Mármore Carrara.**

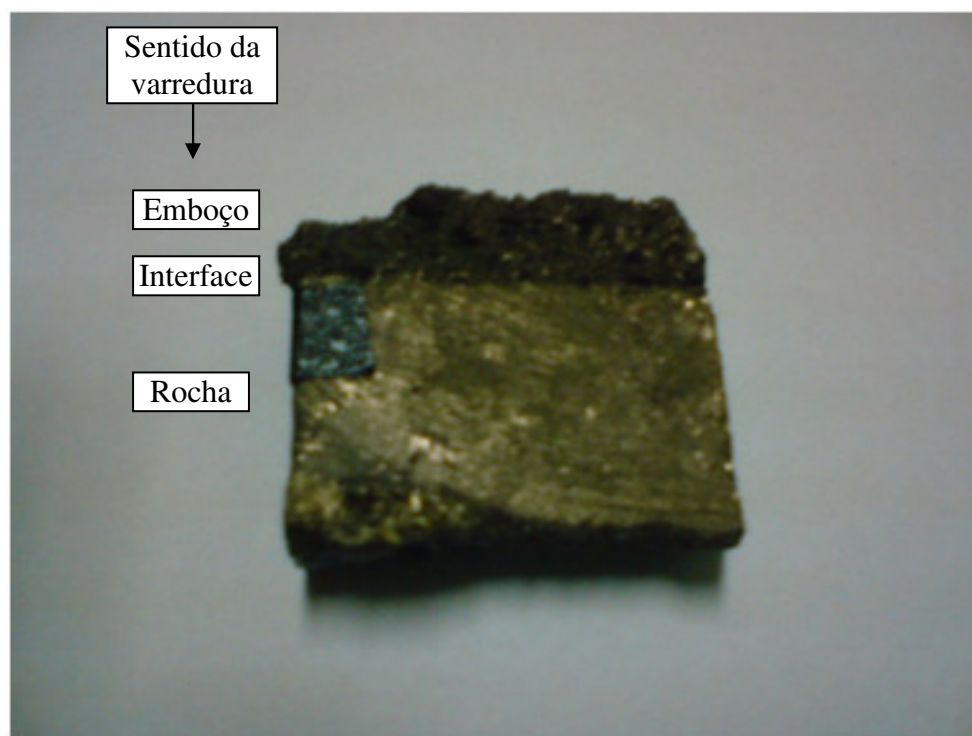
Porém, na Figura 122 percebe-se presença ainda marcante de cálcio e aumento relativo de silício, possivelmente oriundo da argamassa. Exatamente na interface é que ocorrem os mecanismos de aderência.

Neste caso, fica evidenciado este fato, pois a presença do silício é explicada pela presença deste elemento como componente do agregado da argamassa, especificamente a areia e não como componente da rocha. A partir da mistura da argamassa e aplicação sobre a rocha, forma-se esta região difusa de contato dos materiais.



**Figura 122-Espectro ainda na rocha, a 5 micrometros da região da interface.**

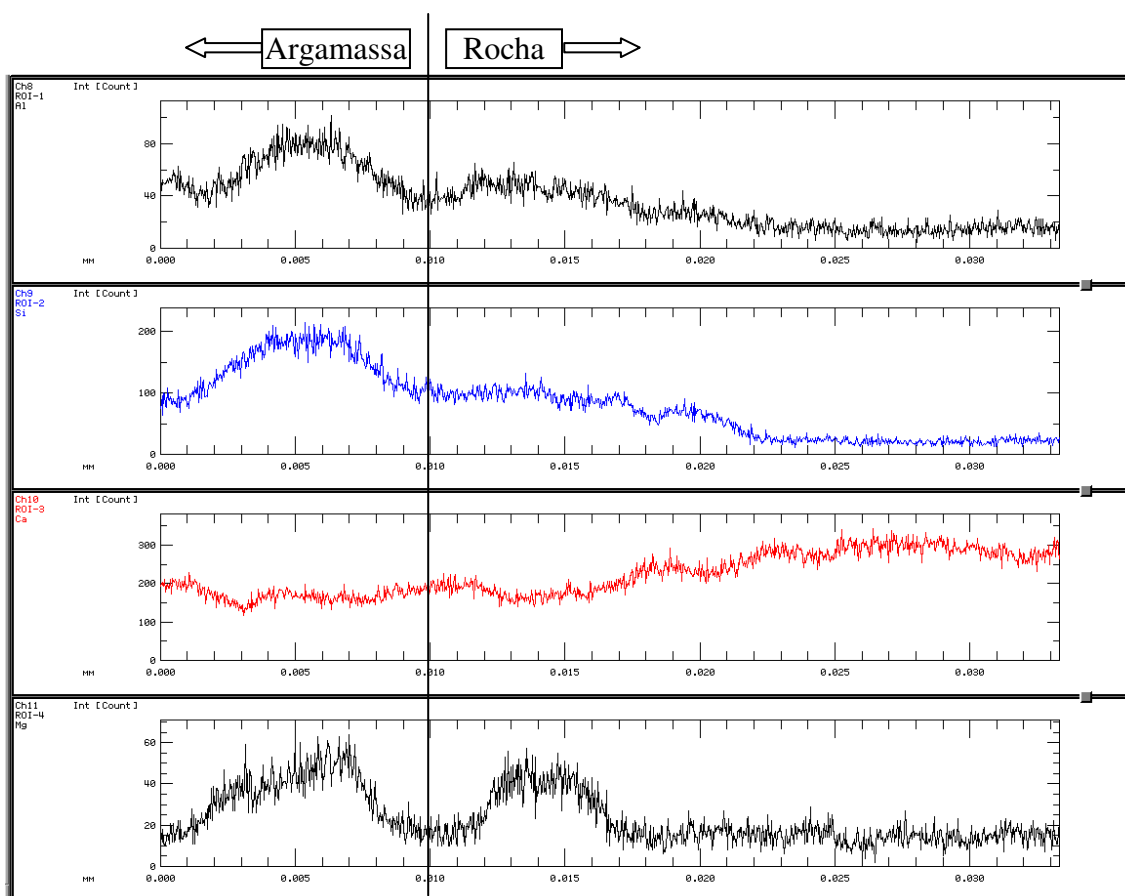
Também é possível fazer uma varredura perpendicular à interface, conforme indicado na Figura 123.



**Figura 123-Sentido da varredura com a microsonda EDS.**

Segundo a escala horizontal apresentada no espectro da Figura 124, de zero até 0,010mm o material é Argamassa Colante, em aproximadamente 0,010mm tem-se a interface e a partir deste valor o material é Mármore Carrara.

Na configuração deste espectro, tem-se que o alumínio na argamassa justifica-se em função de sua presença no cimento da argamassa. O silício em quantidade bastante significativa encontra-se na argamassa e decai a partir da interface, caindo quase a zero, pois no mármore não existe este elemento. O cálcio tem forte presença, tanto na argamassa (em função da reação de hidratação do cimento) e também como componente principal do mármore. O magnésio, aos moldes do alumínio, é proveniente do cimento.



**Figura 124-Varredura perpendicular à interface Mármore Carrara+Argamassa colante. A indicação de 0,010mm corresponde à possível região da interface.**

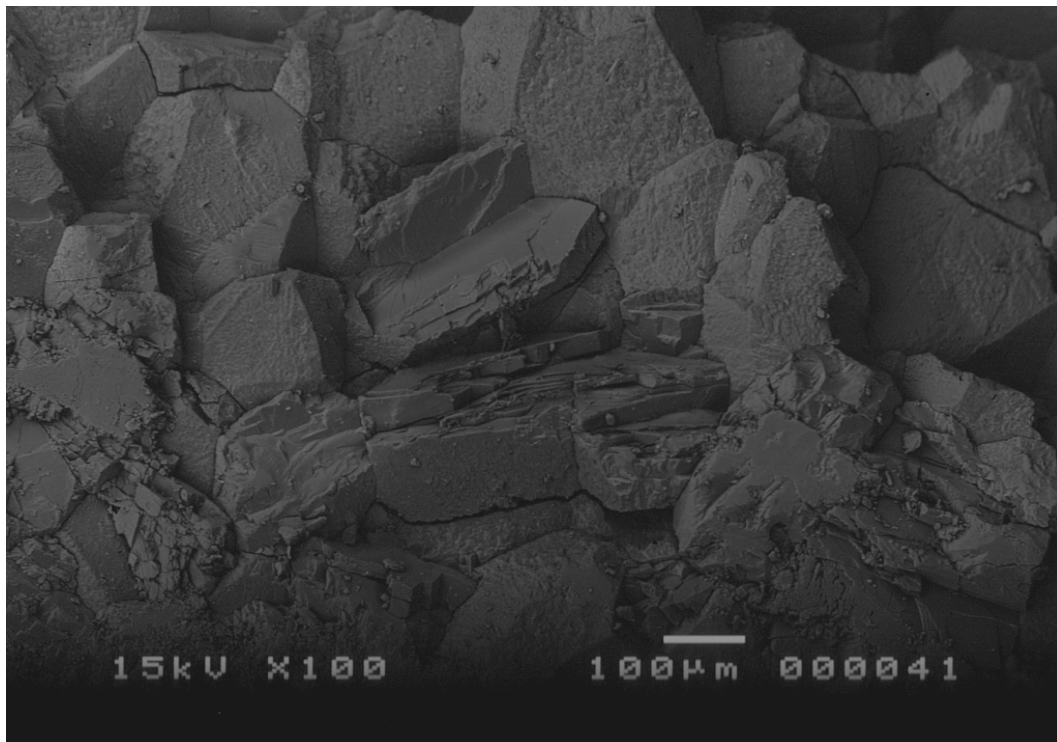
A Figura 125 apresenta a amostra do mármore carrara + argamassa sob aumento de 100x, cuja análise microestrutural indica:



**RESULTADO EDS:**

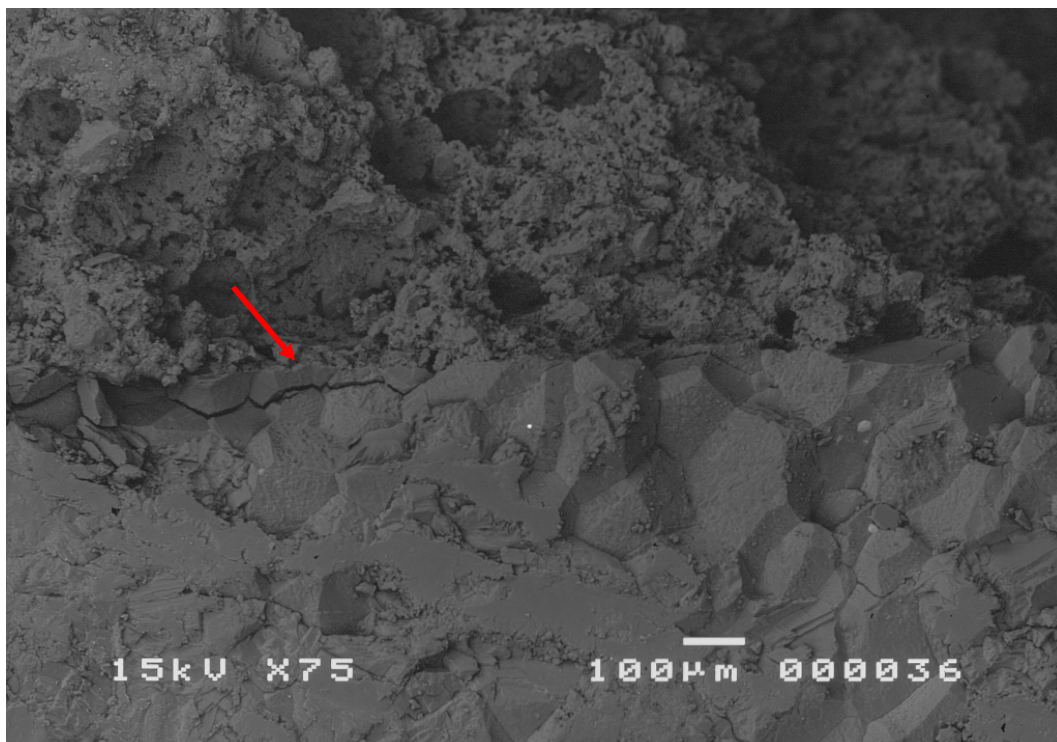
Óxido de potássio – 1,49%

Óxido de cálcio – 98,51%

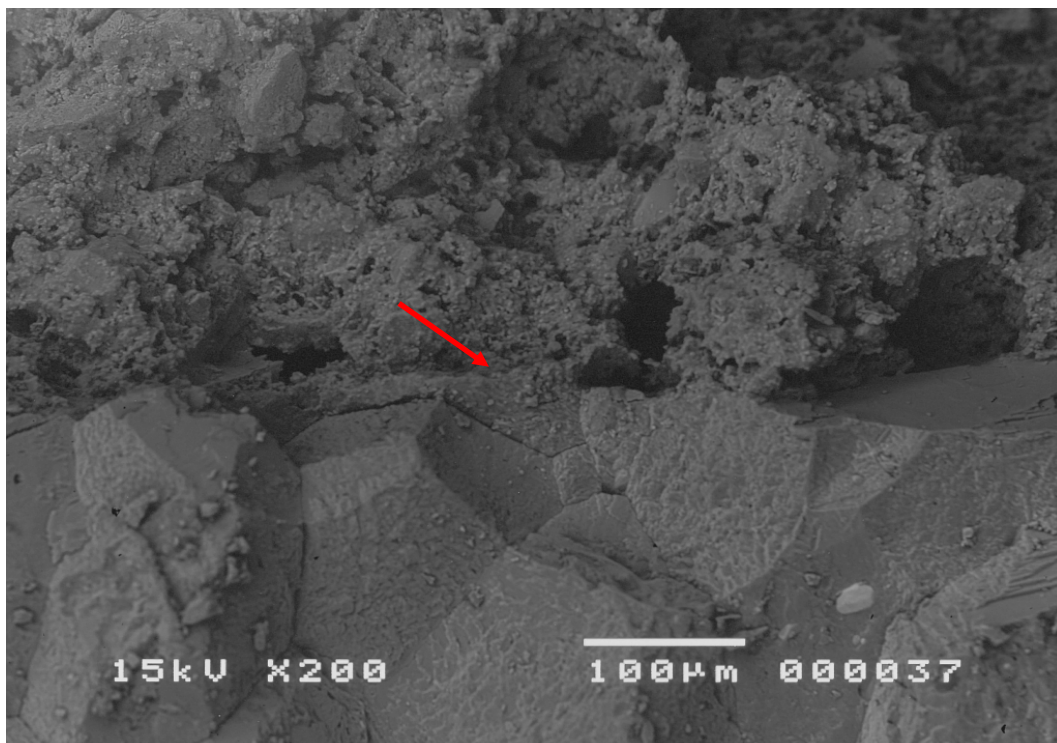
**Figura 125-Microfotografia Mármore Carrara. (Aumento 100x).**

Como o mármore é constituído basicamente de calcita, o EDS registra praticamente apenas o pico de cálcio, uma vez que os elementos carbono e oxigênio, por terem números atômicos menores, só são detectáveis quando presentes em maior proporção na amostra. As imagens da amostra são mais homogêneas e a leitura por EDS de diferentes áreas é constante. É possível detectar planos de clivagem na microestrutura da calcita, responsáveis pelos planos de fratura da rocha, de natureza mais friável.

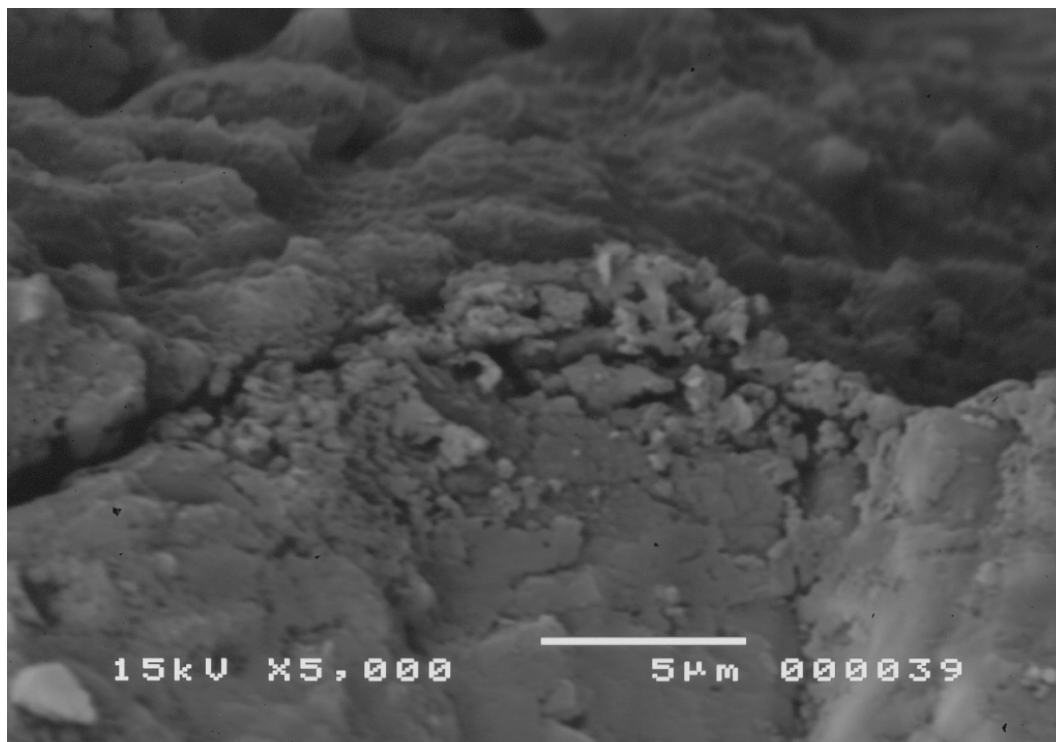
As imagens (Figura 126, Figura 127 e Figura 128) são da região da interface entre o mármore e a argamassa. São observadas linhas de clivagem na própria rocha, provavelmente provocadas pelo ensaio de arrancamento.



**Figura 126- Interface Mármore Carrara+Argamassa Colante. Observar que a interface permanece aderida. (Aumento 75x).**



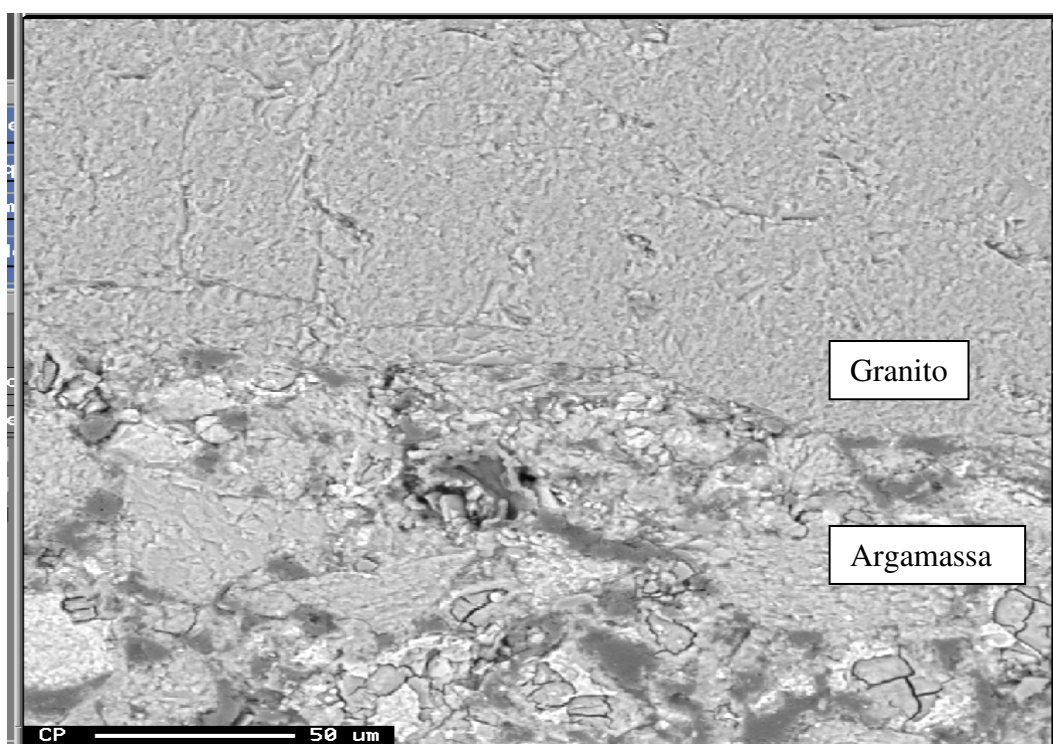
**Figura 127- Interface Mármore Carrara+Argamassa Colante. Mesma imagem anterior, porém em maior aumento. (Aumento 200x).**



**Figura 128- Interface Mármore Carrara+Argamassa Colante. (Aumento 5000x).**

### *6.6.2. Sistema Granito Cinza Andorinha e Argamassa Colante*

A Figura 129 apresenta a interface do granito e argamassa.



**Figura 129- Fotomicrografia da região da interface Granito Cinza Andorinha+Argamassa. (Aumento 400x).**

A análise (Figura 130 e Figura 131) indica presença significativa de silício em ambos os horizontes de observação, pois este elemento comparece tanto na rocha quanto na argamassa.

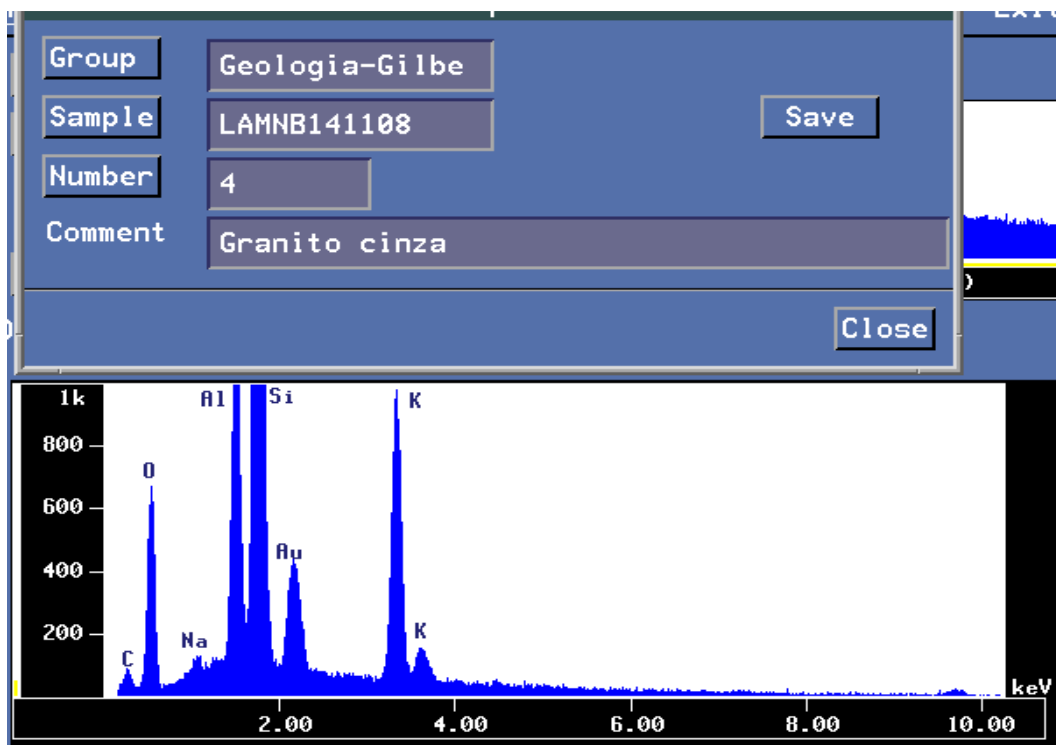


Figura 130- Espectro da rocha – Granito.

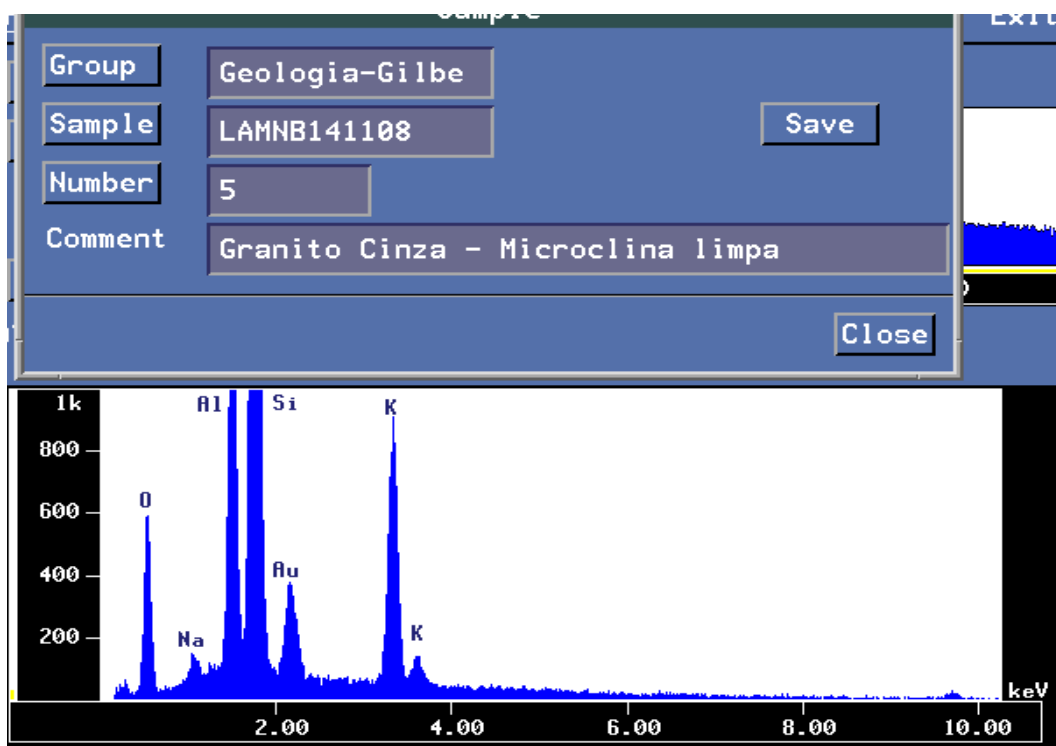
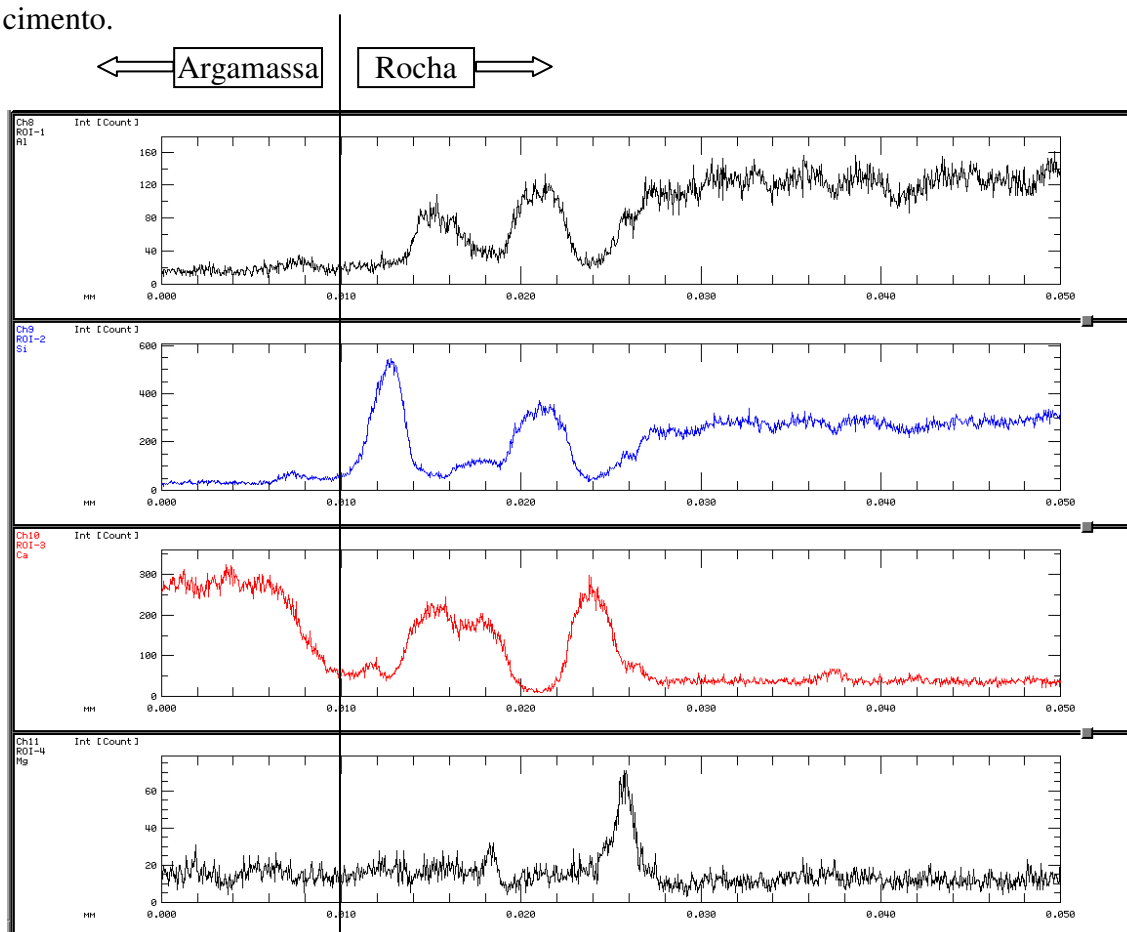


Figura 131- Espectro ainda na rocha, a 5 micrometros da região da interface.

Também é possível fazer uma varredura perpendicular à interface, conforme mostrado na Figura 124. Segundo a escala horizontal apresentada no espectro, de zero até 0,010mm o material é Argamassa Colante. Em aproximadamente 0,010mm tem-se a interface e a partir deste valor o material é Granito Cinza Andorinha.

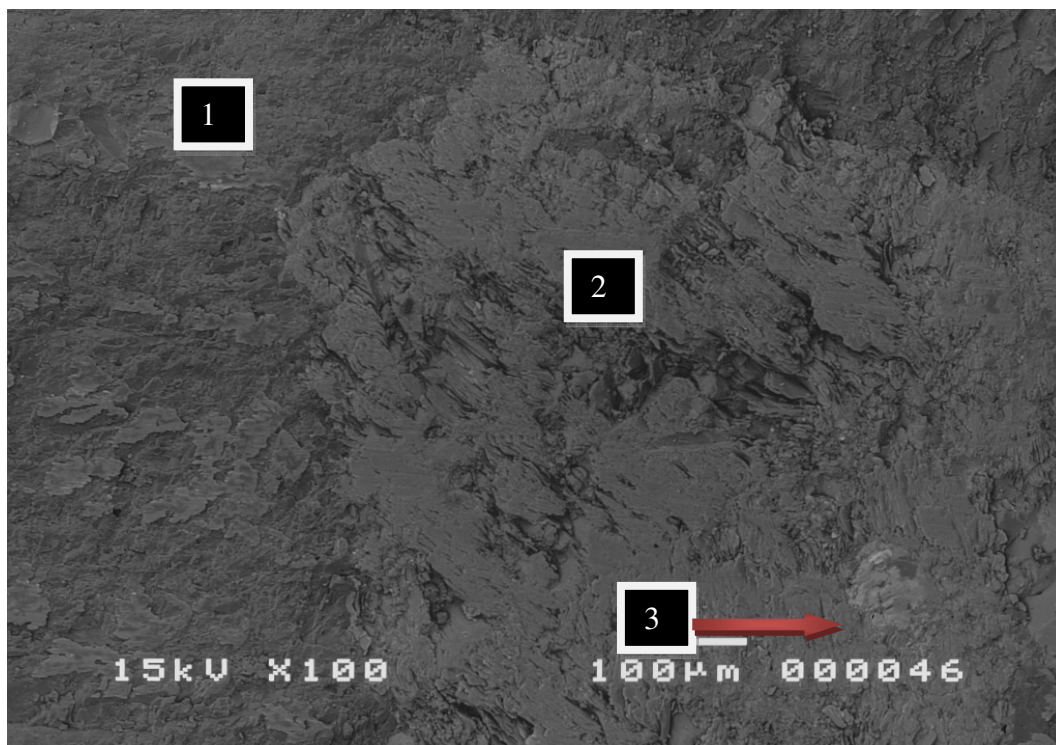
Na configuração deste espectro, tem-se que o alumínio na argamassa justifica-se em função de sua presença no cimento da argamassa. O silício em quantidade bastante significativa cresce mais ainda a partir da interface, posto que avança em direção à rocha que é formada principalmente por este elemento. O cálcio tem forte presença na argamassa e depois da interface, decai chegando quase a zero, indicando fraca ou quase nula presença no granito. O magnésio, aos moldes do alumínio, é proveniente do cimento.



**Figura 132- Varredura perpendicular à interface Granito Cinza Andorinha+Argamassa colante. A posição relativa de 0,010mm corresponde aproximadamente à posição da interface.**

Na Figura 133 é possível se identificar variação da intensidade de tonalidade e textura superficial na estrutura do granito. Uma vez que as imagens foram geradas por elétrons

retroespalhados, esta variação é indicativa de composições químicas distintas. A partir desta imagem, foram selecionadas 3 regiões para análise por EDS, de acordo com as numerações apontadas.



**Figura 133-Análise EDS no granito.**

Região 1 - RESULTADO EDS:

- Óxido de silício – 57,38%
- Óxido de alumínio – 14,23%
- Óxido de ferro – 13,39%
- Óxido de potássio – 6,83%
- Óxido de cálcio – 4,28%
- Óxido de sódio – 3,12%
- Óxido de magnésio – 0,77%

A presença de silício, alumínio, potássio e ferro, sugerem a ocorrência de fases de mica ou biotita, responsáveis pelos pontos pretos característicos do granito avaliado.

#### Região 2 - RESULTADO EDS:

- Óxido de ferro – 44,89%
- Óxido de silício – 30,97%
- Óxido de alumínio – 11,45%
- Óxido de potássio – 8,20%
- Óxido de magnésio – 1,94%
- Óxido de cálcio – 1,80%
- Óxido de sódio – 0,75%

O sulfeto de ferro, única fase identificada nesta região, é compatível com a presença de pirita em amostras de rochas sedimentares, intrusivas como o granito.

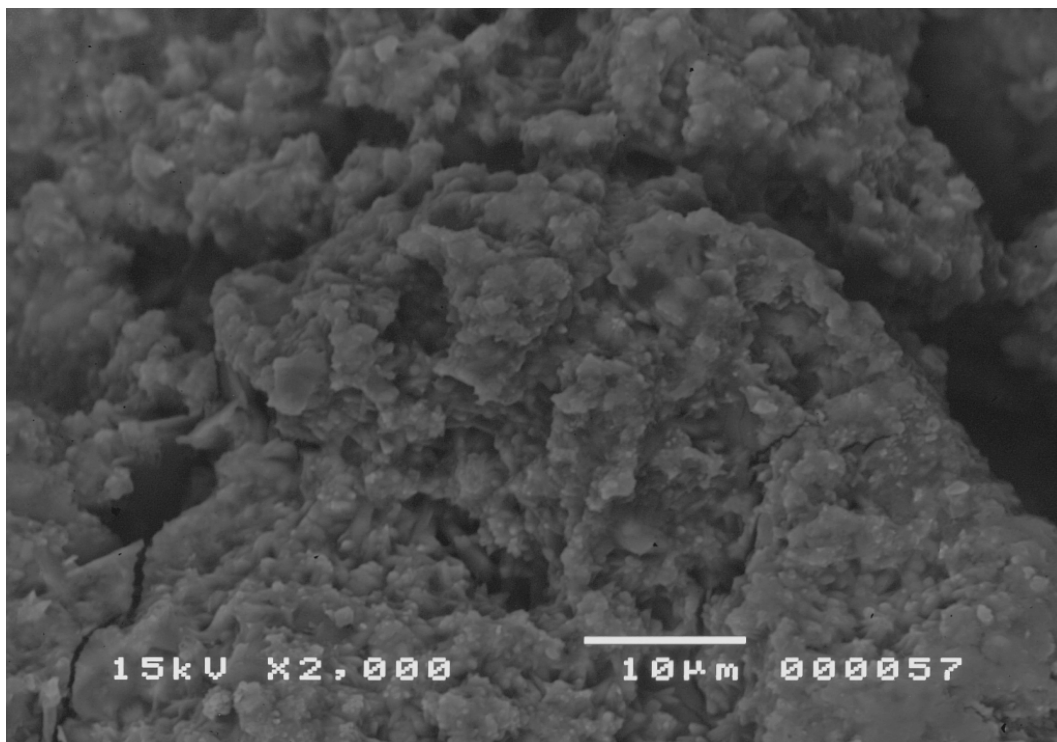
#### Região 3 - RESULTADO EDS:

- Ferro – 58,6%
- Enxofre – 41,4%

Cabe salientar que a presença do ferro poderá originar algumas patologias, tais como manchamentos, posto que se houver trânsito e/ou presença de água, este elemento poderá se recombinar na forma de óxidos e hidróxidos.

### *6.6.3. Análise das interfaces*

Foi efetuada análise EDS da argamassa colante (vide Figura 134) utilizada para o assentamento do Mármore Carrara e o Granito Cinza Andorinha e sendo assim optou-se pela análise microestrutural apenas de uma amostra dos elementos constituintes, cujo resultado é compatível com o alto conteúdo de cálcio, possivelmente oriundo da reação de hidratação do cimento. Pelo fato desta análise ter sido efetuada em amostra com tempo superior a 28 dias, percebem-se nitidamente as reações de hidratação do cimento representadas pelo alto teor de cálcio (>85%).



**Figura 134-Microfotografia da argamassa de assentamento.**

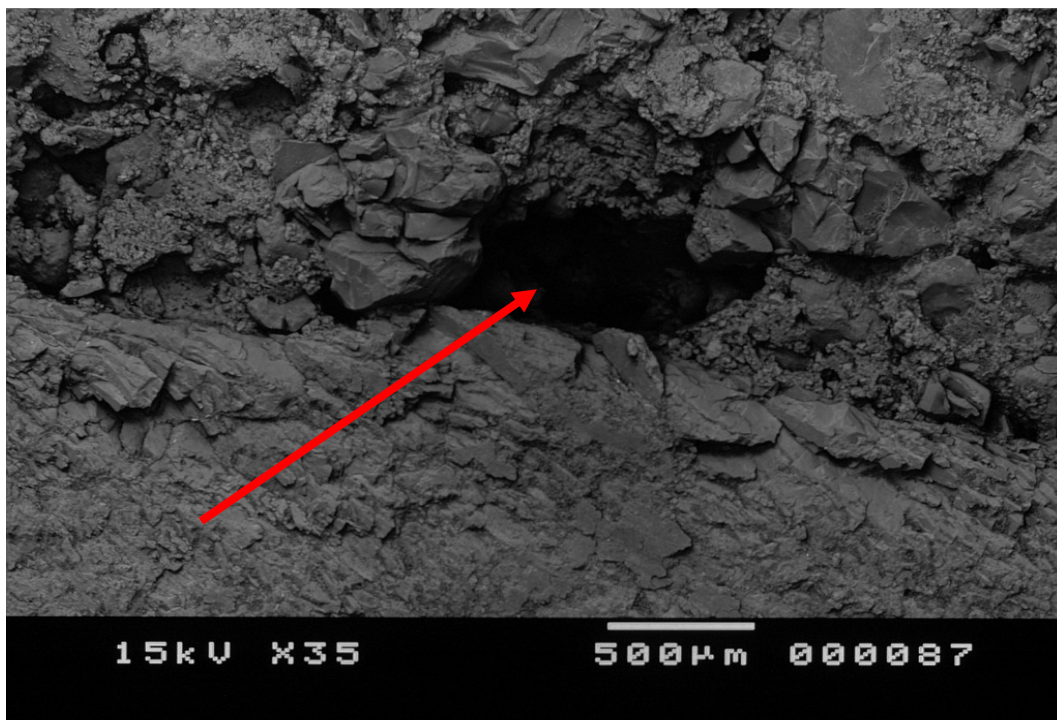
O espectro encontra-se no Anexo 7 e a análise apresentou a seguinte constituição química:

**RESULTADO EDS:**

- Óxido de cálcio – 86,38%
- Óxido de silício – 9,68%
- Óxido de alumínio – 2,05%
- Óxido de magnésio – 1,04%
- Óxido de potássio – 0,85%

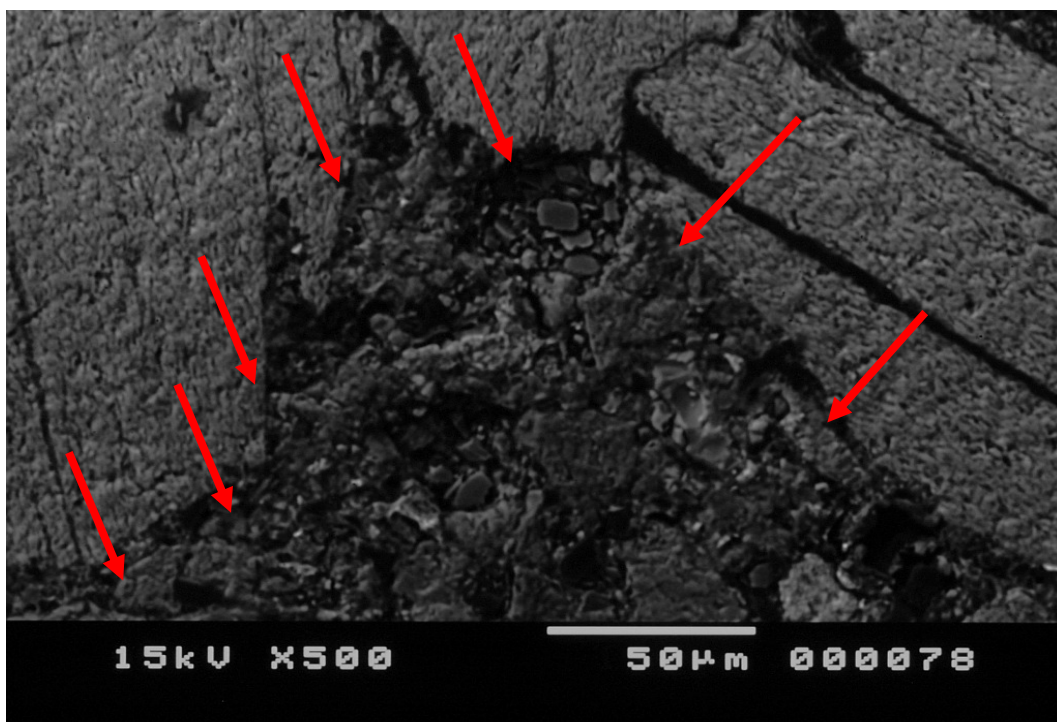
Conforme já discutido anteriormente, o desempenho satisfatório do sistema de revestimento depende precipuamente da extensão da aderência. Com a utilização da argamassa tradicional não se alcança plasticidade suficiente, em função de suas características reológicas, para que toda a extensão da placa de rocha tenha contato com a argamassa, podendo ocorrer falhas, como visto na Figura 135. Inclusive, na tentativa de se aumentar a plasticidade, muitas vezes recorre-se ao aumento de água na mistura, porém de acordo com a Lei de Abrams, quando se aumenta a água, diminui-se a resistência mecânica.





**Figura 135-Interface Granito Cinza Andorinha+argamassa tradicional, mostrando falha na continuidade da interface.**

Por outro lado, a Figura 136 mostra o contato íntimo entre os materiais, decorrente da presença de aditivos plastificantes na composição da argamassa colante.



**Figura 136- Interface Granito Cinza Andorinha+Argamassa Colante.**

## CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

Observou-se uma estreita correlação entre os tipos de rochas com as argamassas de assentamento, analisando-se o quesito resistência de aderência. As amostras com maior porosidade (por exemplo, Granito Amarelo Vitória, 1,06%) apresentaram valores mais expressivos com um mês, aumento discreto aos seis meses e praticamente estabilização com um ano da aplicação. Tal acontece pois, a maior porosidade favorece a ancoragem dos produtos da hidratação do cimento. Por outro lado, as rochas com menor porosidade requerem argamassas que propiciem o desenvolvimento da aderência química, suscitando, portanto, o uso das argamassas colantes.

Correlacionando as propriedades das rochas ensaiadas com as propriedades das argamassas e sabendo-se que a fração mecânica da aderência é maior que a química, é importante salientar que os materiais mais porosos conduzem com maior facilidade a ocorrência de patologias por permitir um trânsito maior da água entre os grãos constituintes da rocha.

Foi observada uma diminuição do teor de cálcio na proximidade da interface argamassa/granito, provavelmente devido à migração da fração aquosa da pasta de aglomerante para os poros da base, conhecido mecanismo de aderência mecânica dos sistemas argamassados aplicados sobre bases porosas.

Apesar de ser um resultado esperado, confirmou-se para todos os materiais estudados que o assentamento com argamassa colante, principalmente com ACIII, conduziu a resultados mais elevados de resistência de arrancamento, provavelmente por formulação e maior reatividade. Todas as argamassas colantes, pelo fato de conterem aditivo retentor de água, evitam o uso de água de amassamento em excesso (na tentativa de se aumentar sua plasticidade) que poderá promover e mesmo acelerar os processos patológicos nas rochas. Além disso, é importante citar que, mesmo sem ter sido feita avaliação objetiva da trabalhabilidade e economia de materiais, percebeu-se indicativos de melhoria desses parâmetros.

Observa-se ainda que as técnicas exploradas neste trabalho poderão vir a contribuir para segmentos específicos da geologia e da construção civil, tais como a área de prospecção e exploração de rochas ornamentais; de recuperação de revestimentos; conservação e restauro de monumentos de interesse histórico.

Por fim, porém não menos importante, pode-se afirmar que a correta caracterização das rochas e a adequada especificação de materiais e técnicas conduz ao melhor desempenho do sistema de revestimento.

Várias questões merecem um maior aprofundamento. Alguns temas podem ser elencados como Sugestões para Trabalhos Futuros:

- Estudo da distribuição dos poros nos vários tipos litológicos utilizando-se a técnica de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio;
- Análise do efeito de diferentes tipos de pós redispersíveis usados nas argamassas colantes e sua influência na resistência de aderência;
- Adaptação de técnicas para um melhor conhecimento das interfaces rocha + argamassa sem interferências externas em função da preparação de corpos-de-prova;
- Estudo mais aprofundado da necessidade do valor mínimo exigido de 0,30 MPa para a resistência de aderência aos 28 dias.

Na sequência poderia ser feita sugestão para desenvolvimento de documento normativo específico relativo ao uso de rochas como elementos de revestimento. Além de estipular o valor mínimo exigível para a resistência de aderência, seria interessante destacar também que o módulo de elasticidade deve ser considerado como parâmetro de especificação das argamassas para uso em fachadas.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

AGUILAR, M. T. P., CORRÊA, E. C. S., CARVALHO JR., A. N., CETLIN, P. R. *Estudo do desempenho de argamassas de revestimento fabricadas com sílica ativa e escória*. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM – INTERNACIONAL, 57, 2002, São Paulo. Anais... São Paulo: ABM, 2002. p186-194.

AGUILAR, M. T. P., CORRÊA, E. C. S., CETLIN, P. R. *Análise da capacidade de deformação do concreto: Módulo de Young x Módulo de Deformação*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46, 2004, São Paulo. Anais em CD... São Paulo: IBRACON, 2004.

AIRES-BARROS, L. A. *Alteração e alterabilidade de rochas*. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica, 1991.

ALVAREZ, J., SEQUEIRA, C., COSTA, M. *Ensinaamentos a retirar do Passado Histórico das Argamassas*. In: CONGRESSO APFAC, 2005, Lisboa. Anais em CD...Lisboa: APFAC, 2005.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Michigan. *ACI 318-02 e ACI 318R-02*. Building Code Requirements for Structural Concrete and Comentary. ISBN 0-087031-065-8. 2002. 443p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Philadelphia. *ASTM C848-88* - Standard Test Method for Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio for Ceramic Whitewares by Resonance. 1999. 6p. apud CARVALHO, JR., A. N. et al. *Avaliação de propriedades mecânicas de argamassas de revestimento confeccionadas com cimento, cal aditivada e areia (modificadas com adição de escória de alto forno)*; Relatório Técnico submetido a ICAL – Indústria de Calcinação Ltda. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia de Materiais e Construção/EE.UFMG, 2001. 118p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM-C 1242*;ASTM C1242 - 05 Standard Guide for Selection, Design, and Installation of Dimension Stone Anchoring Systems apud MOREIRAS, S. T. F. *Estudo sobre o revestimento de fachadas de edifícios altos com placas de granitos ornamentais*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da USP, 2005. (Dissertação, Mestrado em Geotecnia).

AMPTEK INC. *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Em <<http://www.amptek.com/xrf.pdf>>. Acesso em 12 de janeiro de 2007.

APOSTILA TÉCNICA DE ARGAMASSA – VOTOMASSA. Companhia de Cimento Portland Itaú. São Paulo.

ARROBAS, A. A. M. N., DJANIKIAN, J. G. *Argamassa dosada em central – O desempenho da plasticidade após 12 horas*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. *Anais...* Vitória: PPGEC/ANTAC, 1999. p73-83.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento portland. 7. ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 7200*; Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 7211*; Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 7218*; Agregado – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 7219*; Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 7220*; Agregado – Determinação das impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo . Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 12766*; Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d água aparente. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 12768*; Rochas para revestimento-Análise petrográfica. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 13281*; Argamassa industrializada para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Especificação. Rio de Janeiro, 2001. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 13528*; Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. 1996. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 13707*; Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rochas. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 13749*; Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. 1996. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 13753*; Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. 1996. 19p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 13755*; Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. 1996. 11p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR13817*: Placas cerâmicas para revestimento – Classificação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro *ABNT NBR 14.081*; Argamassa colante industrializado para assentamento de placas cerâmicas - Requisitos. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro *ABNT NBR 14.992*; Argamassa a base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios. 2003.

BABISK, M.P. *Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais*. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2009. (Dissertação de Mestrado).

BELTRAME, F. R., LOH, K. *Aplicação de selantes em juntas de movimentação de fachadas*. Porto Alegre: Antac, 2009.

BRANDÃO, P. R. G. *Notas de aula da disciplina Métodos de Instrumentação e Análise*. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas – CPGEM. EE.UFMG, 2001.

CALHAU, E. L., TRISTÃO, F. A. *Influência do teor de ar incorporado nas propriedades das argamassas mistas de revestimento*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. *Anais...* Vitória: PPGEC/ANTAC, 1999. p219-230.

CALLISTER JR, W.D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. São Paulo: LTC, 2002.

CAMPELLO, M. S. *Caracterização tecnológica de granitos ornamentais-Montagem de laboratório e rotinas para realização de ensaios*. Belo Horizonte: Instituto de Geociências da UFMG, 2000. (Dissertação, Mestrado em Geologia).

CANDIA, M. C. *Contribuição ao estudo das técnicas de preparo de base no desempenho dos revestimentos argamassados*. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1998. 198p. (Tese, Doutorado em Engenharia Civil).

CARASEK, H. *Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos; avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação*. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1996. 285p. (Tese, Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana).

CARASEK, H. *Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p133-146.

CARASEK, H., CASCUDO, O., SCARTEZINI, L. M. *Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. *Anais...* Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p43-67.

CARVALHO JR., A. N. *Técnicas de Revestimento*; Apostila do Curso de Especialização em Construção Civil. 1.ed. Belo Horizonte: DEMC- EE.UFMG, 1999. 54p.

CARVALHO JR., A. N., SILVA, A. P., NETO, F. M. *Perícias em patologias de revestimentos de fachadas*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, X COBREAP, 1999, Porto Alegre. Anais em disquete (artigo nº 20)... Porto Alegre: IBAPE, 1999.

CAVANI, G. R., ANTUNES, R. P. N., JOHN, V. M. *Influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade das argamassas mistas*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p110-119.

CAVANI, G. R., OLIVEIRA, M. C. B. *Investigação das causas das fissuras e descolamentos de revestimento de argamassa de fachada*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, 2002, Belo Horizonte. Anais em disquete ... Belo Horizonte: IBRACON, 2002.

CHASE, G. W. Investigations of the interface between Brick and Mortar. *The Masonry Society Journal*, v.3, n.2, pT1-T9, 1984. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9<sup>th</sup>, Fredericton. Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

CINCOTTO, M. A. Patologias das argamassas de revestimentos: análise e recomendações. In: VÁRIOS. *Tecnologia das Edificações (Publicação IPT 1801)*. 2.ed. São Paulo: Editora Pini, 1989. p549-554.

CINCOTTO, M A., BOLORINO, H. *A influência do tipo de cimento nas argamassas*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p15-25.

CINCOTTO, M. A., SILVA, M. A. C., CARASEK, H. *Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378)*. 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

COSTA, A. G., CAMPELLO, M. S., PIMENTA, V. B. *Rochas ornamentais e de revestimento: proposta de classificação com base na caracterização tecnológica*. In: III SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE. Recife, 2002.

COSTA, A. G., *Rochas e Histórias do Patrimônio Cultural do Brasil e de Minas*. Rio de Janeiro: Bem-Te-Vi, 2009.

DÉTRICHÉ, C. H. et al. Influence des paramètres de mise en œuvre et de composition sur le comportement des mortiers d'enduit. *Matériaux et Constructions*, v.18, n.105, p193-200,1985. apud CARASEK et al. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. *Anais...* Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p43-67.

DUPIN, I.; DÉTRICHÉ, C. H.; MASO, J. C. Accrochage direct d'un enduit sur un isolant par une liaison de type mécanique dans le cadre d'un procédé d'isolation par l'estérieur. *Matériaux et Constructions*, v.21, p370-378, 1988. apud CARASEK et al. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. *Anais...* Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p43-67.

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

FLAIN, E. P. Tecnologia de produção de revestimentos de fachadas de edifícios com placas pétreas. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1995. (Dissertação de Mestrado).

FRASCÁ, M. H. B. O. Estudos experimentais de alteração acelerada de rochas graníticas para revestimento. São Paulo: Instituto de Geociências da USP, 2003. (Tese de Doutorado).

FRASCÁ, M. H. B. O. Rocha como material de construção. In: ISAIA, G. C. (Ed.) Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: IBRACON, 2007.

FRAZÃO, E. B. Tecnologia de rochas na construção civil. São Paulo: ABGE, 2002.

GALLEGOS, H. *Adhesion entre el mortero y las unidades de albañilería*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I, 1995, Goiânia. *Anais...* Goiânia: UFG/ANTAC, 1995. p117-133.

GFIX. E-Catálogo. Acesso em 15/07/2008. Disponível em <http://www.fixominas.com.br>

GODOY, E. H. P., BARROS, M. M. S. B. *Contribuição ao estudo da influência do teor de polímero nas propriedades das argamassas de cimento Portland*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. *Anais...* Vitória: PPGE/ANTAC, 1999. p249-265.

GOLDSTEIN et al. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis; A Text for Biologists, Materials Scientists, and Geologists*. 2.ed. New York: Plenum Press, 1992. 820p.

GOMES, A. M., *Caracterização de argamassas tradicionais utilizadas nos revestimentos exteriores dos edifícios*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico (IST), 1995. 269p. (Tese, Doutorado em Engenharia Civil).



GRIGOLI, A. S. *Argamassa contendo entulho de obra – Procedimento de molhagem antes do uso para melhoria do desempenho*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. *Anais...* Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p249-262.

GROOT, C. J. W. P. *The Characteristics of Brick and Mortar Considering Mortar/Brick Bond*. In: INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 11<sup>th</sup>, 1997, Shanghai. *Proceedings ...*Shanghai: Tongji University, 1997. p50-58. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9<sup>th</sup>, Fredericton. Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

GUIMARÃES, J. E. P. *A Cal: Fundamentos e Aplicações na Construção Civil*. 1.ed. São Paulo: Editora Pini, 1997. 285p.

ISBERNER, A. W. *Properties of masonry cement mortars*. In: Designing engineering and constructing with masonry products. Houston, Gulf, 1969. p42-50 apud SABBATINI, F. H. *Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente*; Estudo Técnico ET-91. 2.ed.São Paulo: ABCP, 1998. 44p.

JOHN, V.M., *Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V, 2003, São Paulo. *Anais...* São Paulo: EPUSP-PCC/ANTAC, 2003. P47-62.

JOISEL, A. *Fissuras y grietas em morteros y hormigones: SUS causas y remédios*. Barcelona: Editores Técnicos Associados, 1965.

JUNGINGER, M. *Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis*. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2003. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Civil).

KAMPF, L. *Factors affecting Bond of Mortar to Brick*. *Symposium on Masonry Testing*; AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM STP 1063, p217-234. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9<sup>th</sup>, Fredericton. Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

KURODA, M., WATANABE, T., TERASHI, N. *Increase of bond strength at interfacial transition zone by use of fly ash*. *Cement and Concrete Research*, Elsevier Science Ltd. v. 30, p253-258, 2000.

LANGE, D. A., DEFORD, H. D., AHMED, A. *Microstructure and Mechanisms of Bond in Masonry*. In: NORTH AMERICAN MASONRY CONFERENCE, 7<sup>th</sup>, 1996, South Bend. *Proceedings ...*South Bend: University of Notre Dame, 1996. p167-174. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9<sup>th</sup>, Fredericton. Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

LAWRENCE, S. J., CAO, H. T. *An Experimental Study of the Interface between Brick and Mortar*. In: AMERICAN MASONRY CONFERENCE, 4<sup>th</sup>, 1987, Los Angeles.

*Proceedings ...Los Angeles, 1987. p48/1-48/14. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9<sup>th</sup>, Fredericton. Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.*

LÓPEZ JIMENO, C. *Manual de rocas ornamentales*. Madrid: Ed Entorno, 1996.

LEVY, S. M., HELENE, P. R. L. *Reciclagem de entulhos na construção civil, a solução política e ecologicamente correta*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I, 1995, Goiânia. *Anais...* Goiânia: UFG/ANTAC, 1995. p315-325.

MAGALHÃES, T. C. M. *Influência da pigmentação e/ou da quantidade de aditivo hidropelente na patologia de desagregação da argamassa de rejuntamento*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2008. 80p. (Dissertação, Mestrado em Construção Civil).

McGINLEY, W. M. *IRA and The flexural Bond Strength of Clay Brick Masonry, Masonry: Components to assemblages*, Matthys, J. H., Ed., AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM STP 1063, p217-234. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9<sup>th</sup>, Fredericton. Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

MEDEIROS, J.S. Revestimento de granito com insertes metálicos. *Revista Techne*. São Paulo, nº106. 2006.

MEHTA, P. K. *Concrete, Structure, Properties and Materials*. New York: Prentice-Hall, Inc, 1986. 450p. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9<sup>th</sup>, Fredericton. Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. *Concreto – Microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: IBRACON, 2008.

MIRANDA, L. F. R., SELMO, S. M. S. *Avaliação de argamassas com entulhos reciclados, por procedimentos racionais de dosagem – parte I*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. *Anais...* Vitória: PPGE/ANTAC, 1999. p295-307.

MURRAY, I. H. *The adhesion of cementitious render to a brick background*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LOAD BEARING BRICKWORK, 8, 1983. *Proceedings*. London: BCS, 1983. P1-12. apud CARASEK et al. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. *Anais...* Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p43-67.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. Tradução Salvador E. Giammusso, 2.ed. São Paulo: Editora Pini, 1997. apud CARASEK et al. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. *Anais...* Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p43-67.

OLIVEIRA, S. F. Caracterização petrográfica, estrutural e física de materiais com aplicação no setor de rochas ornamentais. Belo Horizonte: 1998 123p. (Dissertação, Universidade Federal de Minas Gerais).

OLIVEIRA, J. A. C., BAUER, E. *Análise coMParativa das alterações das propriedades dos revestimentos com polímeros base látex*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. *Anais...* Vitória: PPGE/ANTAC, 1999. p281-292.

OPPERMANN, B., RUDERT, V. Untersuchungen zur verbesserung des haftverbundes mörtel/stein. *Zement-Kalk-Gips*, n.1, 1983 apud CARASEK et al. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. *Anais...* Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p43-67.

PADILHA A. F., AMBROZIO FILHO, F. Técnicas de análise microestrutural. 1.ed. São Paulo: Editora Hemus, 1985. 190p.

PEREZ, B. C., SÁNCHEZ, M. M. Avanços e transferência tecnológica em rocha ornamental. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento Portland. Porto Alegre: Globo, 1983.

QUARTZOLIT. O guia Weber-digital 2008. Acesso em 15/05/08. Disponível em <http://www.weberquartzolit.com.br>

REDA, M. N., SHRIVE, N. G. *Enhancing Masonry Bond Using Fly Ash*. Masonry International - Journal of The British Masonry Society, v14, n.1, p9-17, 2000. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9<sup>th</sup>, Fredericton. Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

RENSBURG, J. J. J. et al. *Factors influencing the bond strength calcium silicate bricks and mortar*. Pretoria, Council for Scientific and Industrial Research, 1978. (CSIR Research Report 340) apud SABBATINI, F. H. *Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente*; Estudo Técnico ET-91. 2.ed.São Paulo: ABCP, 1998. 44p.

RIBEIRO, C. C. PINTO, J. D. S., STARLING, T. Materiais de Construção Civil. 2ed. Belo Horizonte: Editora UFMG e Escola de Engenharia da UFMG, 2002. 102p.

RIPPER, E.. Como evitar erros na construção. São Paulo: Pini, 1984.

RODRIGUES, M. P. S. F. F. *Revestimentos de impermeabilização de paredes à base de ligantes minerais*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico (IST), 1993. 278p. (Dissertação, Mestrado em Construção).

ROSSIGNOLO, J. A., AGNESINI, M. V. C. *Propriedades da argamassa de cimento Portland modificada com látex estireno-butadieno para revestimentos de fachadas – Estudo de caso*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. *Anais...* Vitória: PPGEC/ANTAC, 1999. p267-279.

SABBATINI, F. H. *Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente*; Estudo Técnico ET-91. 2.ed.São Paulo: ABCP, 1998. 44p.

SABBATINI, F. H. *Argamassas*; notas de aula da disciplina Materiais de Construção Civil. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, 1981.

SANTIAGO, C. C. *Argamassas tradicionais de cal*. Salvador: EDUFBA, 2007.

SILVA, C. O.; CINCOTTO, M. A. Análise crítica dos requisitos, critérios e ensaios para argamassa colante. *Revista de ciência e tecnologia de materiais de construção, e-Mat*: v. 2, n. 2, p. 128-147, Nov. 2004.

SOUZA, C. C. S. *Rochas ornamentais e de revestimento: a importância da caracterização tecnológica nos processos de aplicação e conservação: ótica da arquitetura*. Belo Horizonte: Instituto de Geociências da UFMG, 2000. (Dissertação, Mestrado em Geologia).

SOUZA, R., MEKBEKIAN, G., FRANCO, L. S., BARROS, M. M. S. B., ASSAHI, P. N., UEMOTO, K. L. *Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras*. 1ed. São Paulo: Editora Pini, 1996.

SUGO, H. O. *Strength and Microstructural Characteristics of Brick/Mortar Bond*. Newcastle: University of Newcastle, 2001. (Tese, Doutorado no Department of Civil, Surveying and Environmental Engineering). apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9<sup>th</sup>, Fredericton. Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

TAHA, M. M. R., EL-DIEB, A. S., SHRIVE, N. G. Sorptivity: A Reliable Measurement for Surface Absorption of Masonry Brick Units, In Press, *Materials and Structures*, RILEM, 2001, France. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9<sup>th</sup>, Fredericton. Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

VERÇOZA, E. J. *Materiais de construção*. Porto Alegre: Editora Sagra, 1975.

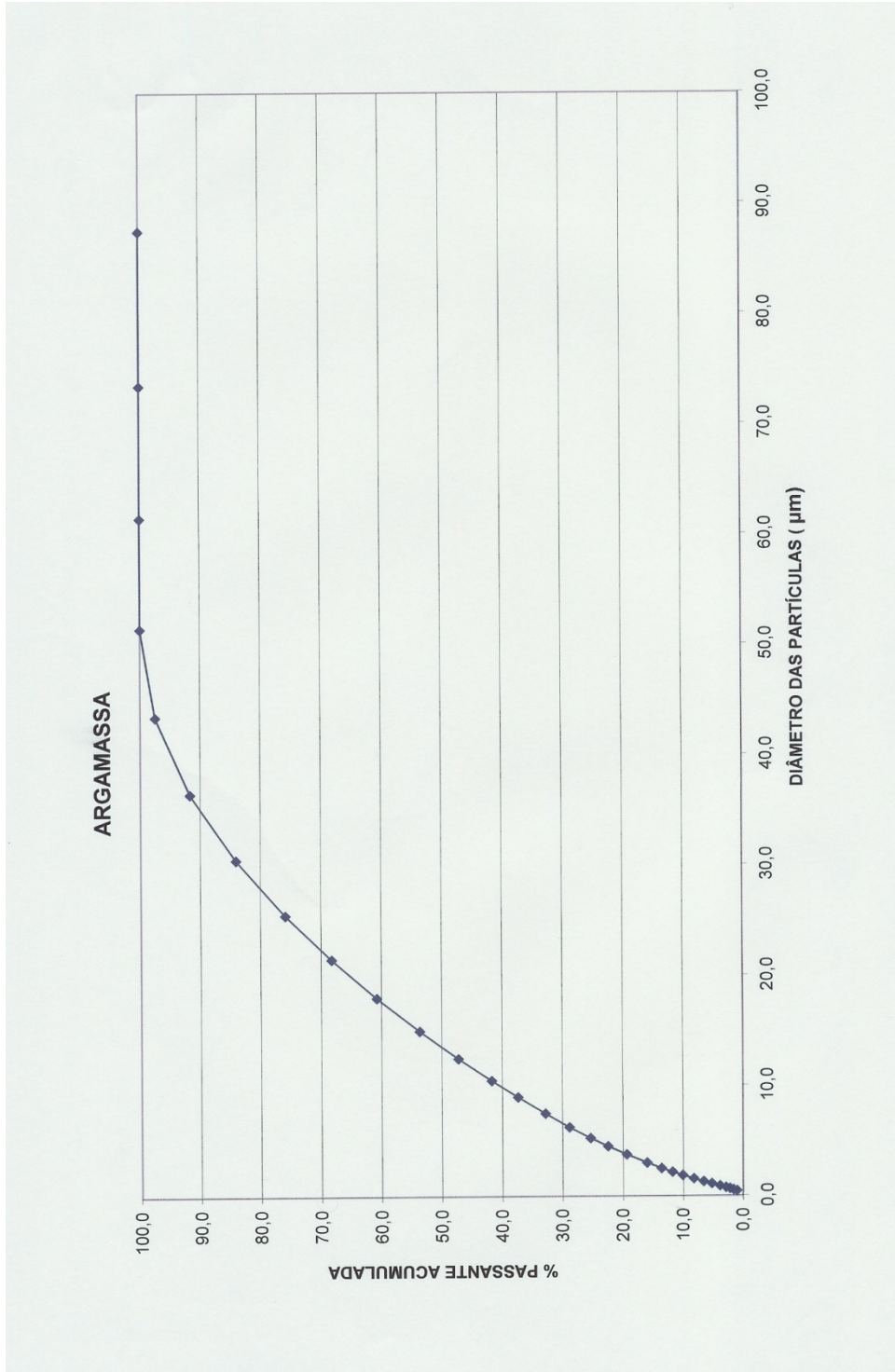
VOTORANTIM CIMENTOS. *Votomassa-Guia de produtos 2009*.

YAZIGI, W. *A técnica de edificar*. 4ed. São Paulo: Editora Pini/Sinduscon-SP, 2002. 669p.

WACKER. *Vinnapas dispersions for the building & construction chemicals industry*. Munchen: Wacher-Chemie GmbH, ?.

# ANEXOS

---

**Anexo 1 - Distribuição granulométrica a laser**

## Anexo 2 - Resultados granulometria a laser

SYMPATEC HELOS VECTRA - User identification  
 SYMPATEC HELOS Particle size analysis

Measure method suspension cell (SUCELL)

Focal length : 50 mm Date: 10/05/2007  
 Filename C:\SYMPATEC\ISABEL\Am07010.HEL

Empresa :

MATERIAL :  
 Sample name : **ARGAMASSA**

d (µm)	% passante acumulada
0,45	1,03
0,55	1,62
0,65	2,24
0,75	2,89
0,90	3,90
1,10	5,27
1,30	6,62
1,55	8,26
1,85	10,10
2,15	11,79
2,50	13,62
3,00	16,03
3,75	19,38
4,50	22,49
5,25	25,37
6,25	28,86
7,50	32,84
9,00	37,39
10,50	41,76
12,50	47,26
15,00	53,67
18,00	60,76
21,50	68,26
25,50	75,91
30,50	84,08
36,50	91,71
43,50	97,48
51,50	100,00
61,50	100,00
73,50	100,00
87,50	100,00

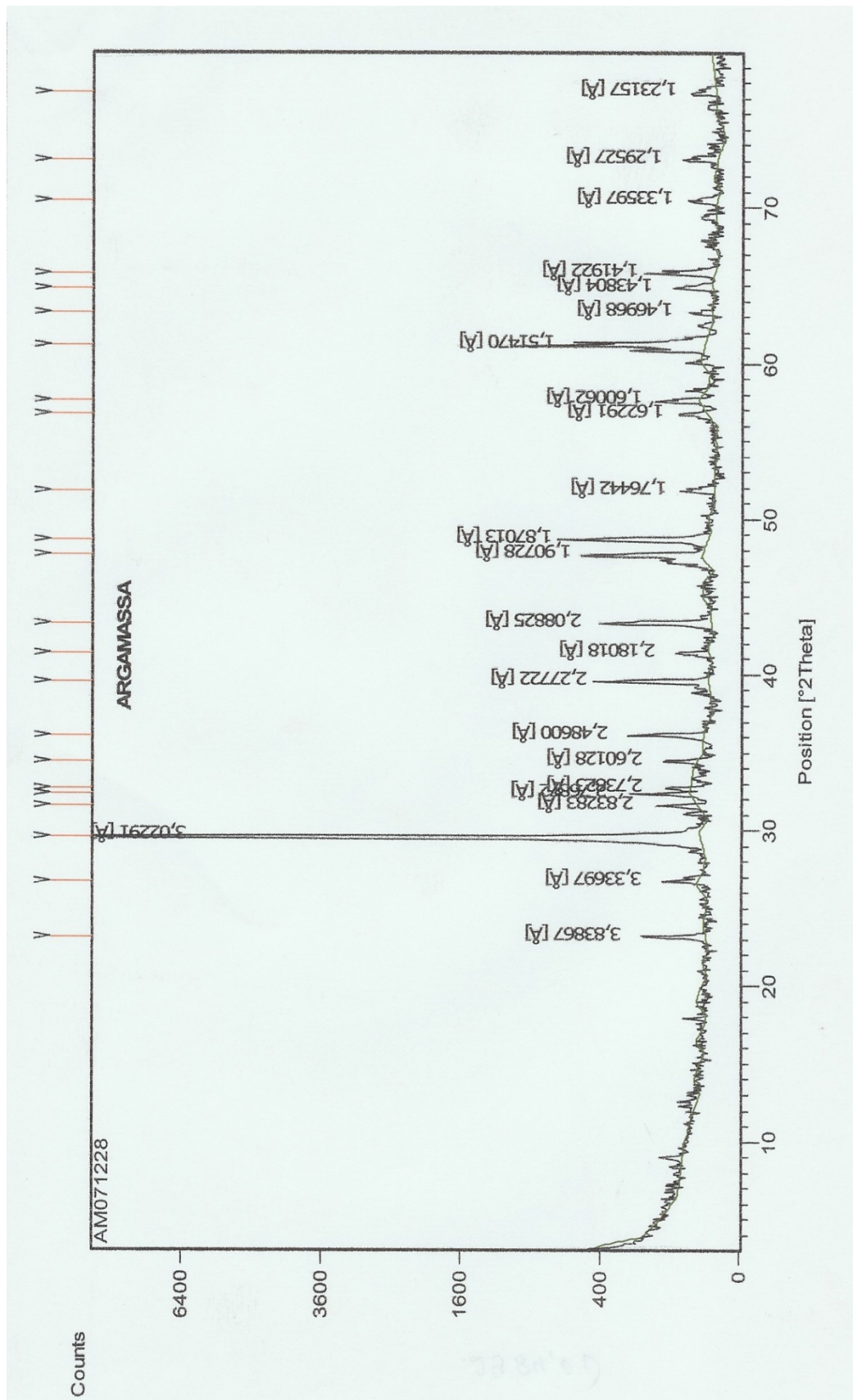
d5 = 1,06µm      d10 = 1,83 µm  
 d16 = 2,99 µm      d50 = 13,57 µm  
 d84 = 30,45µm      d90 = 35,15 µm

### Anexo 3 - Resultados ASE / BET

NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.13			
File Name = hm10507.dat			
Instrument	= NOVA-1200 Ver. 5.25	User Setup	= 61
User ID	= Angela		
Comments	=		
Sample ID	= 10507	Sample Cell Number	= 2
Sample Weight	= 10.7916 g	Sample Volume	= 3.7085 cc
Sample Density	= 2.9100 g/cc		
Po Type	= User	Po	= 770.00 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.0500 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 180 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 540 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Thu Jun 07 15:01:11 2007	Elapsed Time	= 57.65 Minutes.
Multi Point BET (Adsorption)			
	P/Po	BET Transform	[1/{W[Po/P - 1]}]
	0.091961	302.632214	
	0.142860	467.755700	
	0.193745	633.311090	
	0.244302	798.717084	
	Slope	=	3256.107202
	Intercept	=	2.871738
	Correlation Coefficient	=	0.999998
	BET C	=	1134.845318
	Total Surface Area in Cell	=	11.5318 m <sup>2</sup>
	Specific Surface Area	=	1.0686 m <sup>2</sup> /g



## Anexo 4 - Resultados Difração de Raios x



### Anexo 5 - Índices Físicos dos corpos-de-prova de rocha

Material: Mármore ES							
Corpo de Prova	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Peso Submerso (g)	Massa Específica Aparente Seca (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asec}$	Massa Específica Aparente Saturada (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asat}$	Porosidade Aparente (%) $\eta_a$	Absorção Aparente (%) $\alpha_a$
1	253,98	256,21	147,33	2,332660	2,353141	2,048126	0,878022
2	252,94	256,16	146,28	2,301966	2,331270	2,930470	1,273029
3	246,99	250,16	142,28	2,289488	2,318873	2,938450	1,283453
4	254,31	256,57	154,69	2,496172	2,518355	2,218296	0,888679
5	253,18	255,41	152,53	2,460925	2,482601	2,167574	0,880796
6	253,46	256,65	152,77	2,439931	2,470639	3,070851	1,258581
7	254,59	256,84	151,96	2,427441	2,448894	2,145309	0,883774
8	254,49	256,74	147,72	2,334342	2,354981	2,063841	0,884121
9	252,84	254,06	145,72	2,333764	2,345025	1,126085	0,482519
10	252,88	254,09	145,73	2,333702	2,344869	1,116648	0,478488
			<b>Média</b>	<b>2,38</b>	<b>2,40</b>	<b>2,18</b>	<b>0,92</b>

Material: Mármore Carrara							
Corpo de Prova	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Peso Submerso (g)	Massa Específica Aparente Seca (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asec}$	Massa Específica Aparente Saturada (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asat}$	Porosidade Aparente (%) $\eta_a$	Absorção Aparente (%) $\alpha_a$
1	243,96	246,36	154,70	2,661575	2,687759	2,618372	0,983768
2	243,59	246,96	154,35	2,630278	2,666667	3,638916	1,383472
3	240,83	243,23	152,71	2,660517	2,687030	2,651348	0,996554
4	239,99	243,34	152,12	2,630892	2,667617	3,672440	1,395891
5	241,94	245,31	153,38	2,631785	2,668443	3,665833	1,392907
6	242,90	246,35	153,94	2,628503	2,665837	3,733362	1,420338
7	242,60	246,00	153,76	2,630095	2,666956	3,686036	1,401484
8	244,11	246,44	154,64	2,659150	2,684532	2,538126	0,954488
9	243,73	246,14	154,44	2,657906	2,684188	2,628135	0,988799
10	242,77	245,18	153,97	2,661660	2,688082	2,642254	0,992709
			<b>Média</b>	<b>2,65</b>	<b>2,68</b>	<b>3,15</b>	<b>1,19</b>

Material: Granito Cinza Andorinha							
Corpo de Prova	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Peso Submerso (g)	Massa Específica Aparente Seca (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asec}$	Massa Específica Aparente Saturada (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asat}$	Porosidade Aparente (%) $\eta_a$	Absorção Aparente (%) $\alpha_a$
1	272,96	273,65	171,91	2,682917	2,689699	0,678199	0,252784
2	267,88	268,56	168,55	2,678532	2,685331	0,679932	0,253845
3	267,30	267,98	168,22	2,679431	2,686247	0,681636	0,254396
4	268,64	269,29	169,28	2,686131	2,692631	0,649935	0,241959
5	269,69	270,37	169,77	2,680815	2,687575	0,675944	0,252141
6	270,01	270,70	170,08	2,683463	2,690320	0,685748	0,255546
7	266,64	267,33	167,87	2,680877	2,687814	0,693746	0,258776
8	268,47	269,15	168,74	2,673738	2,680510	0,677223	0,253287
9	268,12	268,81	168,85	2,682273	2,689176	0,690276	0,257347
10	268,61	269,34	169,19	2,682077	2,689366	0,728907	0,271769
			<b>Média</b>	<b>2,68</b>	<b>2,69</b>	<b>0,68</b>	<b>0,26</b>

Material: Granito Amarelo Vitória							
Corpo de Prova	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Peso Submerso (g)	Massa Específica Aparente Seca (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asec}$	Massa Específica Aparente Saturada (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asat}$	Porosidade Aparente (%) $\eta_a$	Absorção Aparente (%) $\alpha_a$
1	270,66	271,79	168,57	2,622166	2,633114	1,094749	0,417498
2	273,48	274,53	170,33	2,624568	2,634645	1,007678	0,383940
3	271,15	272,24	169,10	2,628951	2,639519	1,056816	0,401992
4	275,17	276,32	171,52	2,625668	2,636641	1,097328	0,417923
5	274,99	276,06	171,56	2,631483	2,641722	1,023923	0,389105
6	301,70	302,92	186,96	2,601759	2,612280	1,052087	0,404375
7	269,53	270,60	167,74	2,620358	2,630760	1,040249	0,396987
8	304,24	305,48	189,80	2,630014	2,640733	1,071923	0,407573
9	302,36	303,55	188,53	2,628760	2,639106	1,034603	0,393571
10	275,91	277,06	171,99	2,625964	2,636909	1,094508	0,416803
			<b>Média</b>	<b>2,62</b>	<b>2,63</b>	<b>1,06</b>	<b>0,40</b>

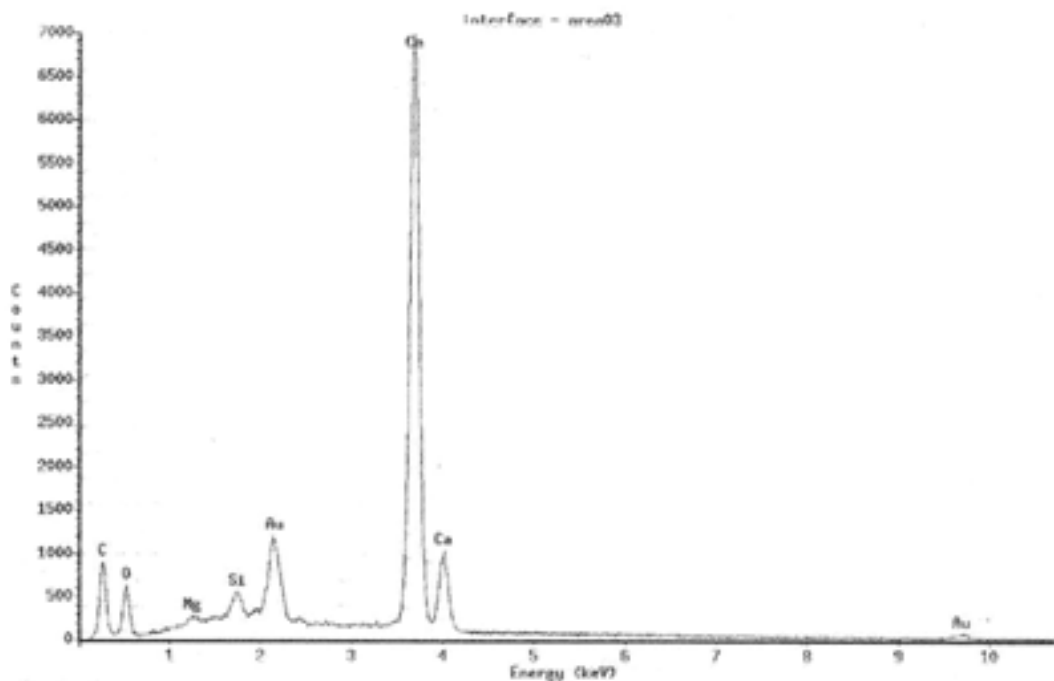
Material: Gabro							
Corpo de Prova	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Peso Submerso (g)	Massa Específica Aparente Seca (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asec}$	Massa Específica Aparente Saturada (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asat}$	Porosidade Aparente (%) $\eta_a$	Absorção Aparente (%) $\alpha_a$
1	267,33	267,73	176,33	2,924836	2,929212	0,437637	0,149628
2	269,11	269,53	177,71	2,930843	2,935417	0,457417	0,156070
3	267,07	267,52	176,37	2,930005	2,934942	0,493692	0,168495
4	273,35	273,82	180,64	2,933569	2,938613	0,504400	0,171941
5	269,73	270,21	177,98	2,924536	2,929741	0,520438	0,177956
6	269,28	269,77	177,93	2,932056	2,937391	0,533537	0,181967
7	267,85	268,27	176,69	2,924765	2,929351	0,458615	0,156804
8	272,14	272,58	179,66	2,928756	2,933491	0,473526	0,161681
9	265,70	266,15	175,30	2,924601	2,929554	0,495322	0,169364
10	259,51	259,96	171,42	2,930992	2,936074	0,508245	0,173404
			<b>Média</b>	<b>2,93</b>	<b>2,93</b>	<b>0,49</b>	<b>0,17</b>

Material: Sienito							
Corpo de Prova	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Peso Submerso (g)	Massa Específica Aparente Seca (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asec}$	Massa Específica Aparente Saturada (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asat}$	Porosidade Aparente (%) $\eta_a$	Absorção Aparente (%) $\alpha_a$
1	271,24	271,75	167,50	2,601823	2,606715	0,489209	0,188025
2	270,27	270,58	166,98	2,608784	2,611776	0,299228	0,114700
3	270,64	271,05	167,04	2,602057	2,605999	0,394193	0,151493
4	273,19	273,52	168,56	2,602801	2,605945	0,314405	0,120795
5	271,81	272,24	167,63	2,598318	2,602428	0,411051	0,158199
6	270,25	270,57	166,54	2,597808	2,600884	0,307604	0,118409
7	267,35	267,74	164,91	2,599922	2,603715	0,379267	0,145876
8	268,13	268,62	165,37	2,596901	2,601646	0,474576	0,182747
9	271,48	271,85	167,65	2,605374	2,608925	0,355086	0,136290
10	267,08	267,45	164,62	2,597297	2,600895	0,359817	0,138535
			<b>Média</b>	<b>2,60</b>	<b>2,60</b>	<b>0,38</b>	<b>0,15</b>

Material: Granito Verde Alpe							
Corpo de Prova	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Peso Submerso (g)	Massa Específica Aparente Seca (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asec}$	Massa Específica Aparente Saturada (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asat}$	Porosidade Aparente (%) $\eta_a$	Absorção Aparente (%) $\alpha_a$
1	241,54	242,11	151,54	2,666887	2,673181	0,629347	0,235986
2	251,25	251,61	159,34	2,722987	2,726888	0,390159	0,143284
3	243,36	243,96	152,46	2,659672	2,666230	0,655738	0,246548
4	244,47	245,09	154,85	2,709109	2,715980	0,687057	0,253610
5	250,15	250,52	158,31	2,712829	2,716842	0,401258	0,147911
6	246,21	246,74	155,00	2,683780	2,689557	0,577720	0,215263
7	241,18	241,67	153,00	2,719973	2,725499	0,552611	0,203168
8	236,18	236,54	150,11	2,732616	2,736781	0,416522	0,152426
9	239,37	239,93	151,02	2,692273	2,698572	0,629850	0,233947
10	240,15	240,42	152,28	2,724643	2,727706	0,306331	0,112430
			<b>Média</b>	<b>2,70</b>	<b>2,71</b>	<b>0,52</b>	<b>0,19</b>

Material: Pedra Sabão							
Corpo de Prova	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Peso Submerso (g)	Massa Específica Aparente Seca (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asec}$	Massa Específica Aparente Saturada (g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_{asat}$	Porosidade Aparente (%) $\eta_a$	Absorção Aparente (%) $\alpha_a$
1	277,39	277,81	178,10	2,781968	2,786180	0,421222	0,151411
2	289,36	289,85	184,51	2,746915	2,751566	0,465160	0,169339
3	287,71	288,16	184,58	2,777660	2,782004	0,434447	0,156407
4	286,29	286,75	184,56	2,801546	2,806048	0,450142	0,160676
5	286,89	287,31	184,56	2,792117	2,796204	0,408759	0,146398
6	271,83	272,27	174,71	2,786285	2,790795	0,451005	0,161866
7	288,53	289,03	185,82	2,795562	2,800407	0,484449	0,173292
8	282,36	282,79	181,53	2,788465	2,792712	0,424649	0,152288
9	291,93	292,37	188,01	2,797336	2,801552	0,421617	0,150721
10	292,29	292,71	188,40	2,802128	2,806155	0,402646	0,143693
			<b>Média</b>	<b>2,79</b>	<b>2,79</b>	<b>0,44</b>	<b>0,16</b>

### Anexo 6 - EDS interface Mármore Carrara+Argamassa



Spectrum1

Interface - area03

Column	: JXA-Pioneer	Accelerating voltage	: 15
Take-off angle	: 25	Magnification	: 200
Acquisition type	: eds	Charge	: 100
Creation time	: 10/06/20 0:08	Beam current	: 1
Livetime	: 100	Beam spot size	: 0
Deadtime	: 26.521	Beam location	: 0,0
Channels	: 4096	Working distance	: 25
Channel width	: 10	Stage X	: 0
Detector type	: Silicon/Lithium	Stage Y	: 0
Window type	: narrow	Stage Z	: 0
Window thickness	: 0.5	Stage tilt	: 0
Coating material	: Al	Stage rotation	: 0
Coating thickness	: 0.04	Contamination material	: none
Contact material	: Au	Contamination thickness	: 0
Contact thickness	: 0.02		
Crystal thickness	: 3		

File name :

Notes:

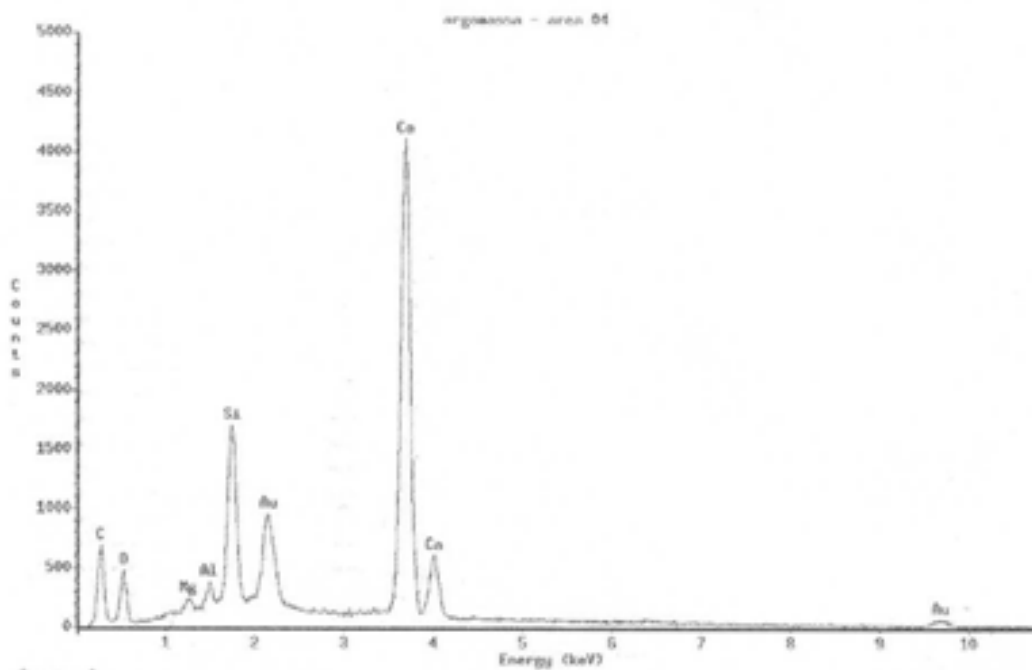
Wed Jun 23 00:46:13 2004

Livetime : 6,3 Sec.  
Technique: Least Squares Fit

Elements Present:  
C ( 65), O ( 80), Si(143), Mg(47), Ca(20)

Energy	Intensity	Element
0.285	422	C K $\alpha$
0.523	274	O K $\alpha$
1.743	285	Si K $\alpha$

## Anexo 7 - EDS Argamassa



argamassa - area 04

Column	: JOM_Pioneer	Accelerating voltage	: 15
Take-off angle	: 25	Magnification	: 200
Acquisition type	: eds	Charge	: 100
Creation time	: 10/06/23 0:55	Scan channel	: 1
Live time	: 160	Scan spot size	: 0
Dead time	: 20.628	Scan location	: 0,0
Channels	: 4096	Working distance	: 25
Channel width	: 10	Stage X	: 0
Detector type	: Silicon/Lithium	Stage Y	: 0
Window type	: narrow	Stage Z	: 0
Window thickness	: 0.3	Stage tilt	: 0
Coating material	: Ni	Stage rotation	: 0
Coating thickness	: 0.04	Contamination material	: none
Contact material	: Au	Contamination thickness	: 0
Contact thickness	: 0.02		
Crystal thickness	: 3		

File name :

Notes:

Wed Jun 23 00:54:07 2004

Live time : 16.7 Sec.  
Technique: Least Squares Fit

Elements Present:  
C (6), O (8), Mg(12), Al(12), Si(14),  
Au(1), Ca(2)

Energy	Intensity	Element
0.266	432	C K $\alpha$
0.523	303	O K $\alpha$