

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas

Tese de Doutorado

**“Avaliação de desempenho de manta polimérica
dupla face para o assentamento de placas cerâmicas
de revestimento”**

**Autor: Otávio Luiz do Nascimento
Orientador: Prof. Dr. Herman Sander Mansur
Coorientadora: Dra. Alexandra Ancelmo Piscitelli Mansur**

Dezembro / 2012

Otávio Luiz do Nascimento

“Avaliação de desempenho de manta polimérica dupla face para o assentamento de placas cerâmicas de revestimento”

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais.

Área de concentração: Ciência e Engenharia de Materiais

Orientador: Prof. Herman Sander Mansur, Dr.
Coorientadora: Alexandra Ancelmo Piscitelli Mansur, Dra.

Belo Horizonte
Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos, que de alguma maneira, tornaram esta pesquisa em sonho realizado.

A minha família, Minha esposa M.Teresa, meus filhos Gabriel e Ana Luiza, que sempre estiveram presentes e incentivo em todos os momentos e muito ajudaram mesmo nos meus momentos de ausência.

Aos companheiros e colaboradores do PPGEM que muito contribuíram no desenvolvimento e valorização do trabalho.

As incansáveis colaboradoras Barbara Jardim e Marinna Riul, pela atenção e dedicação na cooperação na realização do trabalho.

Aos funcionários da Projetare e da Consultare que contribuíram nas realizações dos ensaios e programas.

Ao Prof. Paulo Fiuza que me substituiu em diversos momentos ministrando aulas na FUMEC, sem medir esforço para colaborar.

Aos incansáveis e pacientes, orientador e Coorientadora prof. Herman Mansur e Alexandra Piscitelli, que fizeram todo o esforço possível, nos bons e maus momentos, que mostraram o caminho do conhecimento e me ajudaram tornar realidade esta caminhada, o meu muito obrigado por tudo.

Aos colegas de empresas de construção e da universidade FUMEC, parceiros de luta.

As empresas Bautech do Brasil, Precon Industrial, Laboratório Consultare, pelo fornecimento de matérias-primas e ensaios utilizados nesta pesquisa.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO	8
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1	Consulta de Base de Dados de Patentes	9
3.1.1	Patentes relacionadas.....	10
3.2	Revestimento em Placas Cerâmicas	13
3.3	Componentes do Sistema Aderido	14
3.3.1	Placa Cerâmica	14
3.3.2	Camada de Assentamento de placas cerâmicas.....	21
3.3.3	Substratos	29
3.4	Mecanismos de Aderência de Revestimento Cerâmico	33
3.4.1	Mecanismos de aderência.....	33
3.4.2	Fatores que afetam a aderência.....	36
3.4.3	Mecanismos de aderência na interface argamassa de assentamento/placas cerâmicas	37
3.5	Medidas da Resistência de Aderência	39
3.5.1	Resistência de aderência à tração	39
3.5.2	Resistência de aderência ao cisalhamento.....	40
3.5.3	Resistência de aderência ao cisalhamento em relação à resistência de tração	41
3.5.4	Formas de ruptura.....	42
3.6	Métodos de Ensaio	42
3.7	Propriedades dos Polímeros.....	49
3.7.1	Polímeros.....	49
3.7.2	Adesivos	52
3.7.3	Influência da temperatura em polímeros	52
3.7.4	A influência da água em adesivos	53
3.8	Sustentabilidade.....	55
3.8.1	Construção Sustentável	56
3.8.2	Materiais e Sistemas	56

3.8.3	Melhoria para sustentabilidade.....	58
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	60
4.1	Caracterização dos Materiais.....	61
4.1.1	Placa cerâmica	61
4.1.2	Manta Polimérica Adesiva de assentamento de placas (MaPA)	66
4.1.3	Argamassa Colante - ACIII.....	72
4.2	Caracterização Mecânica dos Sistemas de Assentamento – Ensaios de Aderência.....	75
4.2.1	Caracterização dos sistemas de assentamento com argamassa colante ACIII e manta polimérica adesiva – Resistência de aderência atração – efeito do tipo de cura	78
4.2.2	Caracterização dos sistemas de assentamento com argamassa colante e manta polimérica adesiva em relação a resistência à aderência sob efeito das condições de assentamento	83
4.2.3	Caracterização dos sistemas de assentamento com argamassa colante e manta adesiva de aderência à tração, do ponto de vista da utilização – Desempenho	86
4.2.4	Caracterização dos sistemas de assentamento com argamassa colante e manta adesiva, avaliação da aderência quando submetida a uma força de cisalhamento.	88
4.3	Procedimento numérico para Análise numérica de tensões entre sistema de assentamento cerâmico com Argamassa Colante ACIII e Manta Polimérica adesiva	91
4.3.1	Condição de contorno.....	92
4.3.2	Análise térmica.....	93
4.4	Avaliação da tendência de sustentabilidade	94
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	95
5.1	Caracterização dos Materiais.....	95
5.1.1	Caracterização da Placa cerâmica	95
5.1.2	Caracterização da manta polimérica adesiva.....	102
5.1.3	Caracterização Argamassa Colante	117
5.2	Avaliação do Desempenho de Aderência dos Sistemas de Assentamento.....	118
5.2.1	Resistência de aderência da manta polimérica adesiva e Argamassa colante ACIII com diferentes tipos de cura.....	118

5.2.2	Efeito das condições de assentamento.....	146
5.2.3	Efeito das condições sob ações externas	156
5.2.4	Resumo da Análise dos Resultados de Aderência.....	159
5.2.5	Estudo da forma de ruptura	162
5.2.6	Resistência ao Cisalhamento dos Sistemas de Assentamento - Manta Polimérica Adesiva Dupla Face e Argamassa Colante	165
5.2.7	Resistência de aderência ao Cisalhamento x Tração.....	166
5.2.8	Assentamento com manta polimérica adesiva em placa cerâmica (lado liso).....	168
5.3	Análise de tensões entre sistema de assentamento cerâmico com Argamassa Colante ACIII e Manta Polimérica adesiva.....	172
5.3.1	Resultados da Modelagem numérica por Elementos Finitos	172
5.4	Avaliação da tendência de sustentabilidade	178
6	CONCLUSÕES	180
6.1	Conclusão Geral	180
6.2	Conclusões Específicas.....	180
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	183
8	PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	184
8.1	Trabalhos Completos.....	184
8.2	Trabalhos completos publicados em anais de congressos.....	184
8.3	Resumo Expandido.....	186
8.4	Outras Produções Bibliográficas	186
8.5	Artigos aceitos para publicação.....	186
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	188
ANEXOS 202		
9.1	Anexo1	202
9.2	Anexos 2.....	203
9.3	Anexos 3	204
9.4	Anexos 4.....	205

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Fases da resistência de aderência.....	3
Figura 1.2	Ações que influenciam a resistência de aderência de argamassas....	4
Figura 1.3	Faturamento, em milhões de reais, da indústria brasileira de argamassas.....	6
Figura 3.1	Representação esquemática do sistema de assentamento modular..	11
Figura 3.2	Assentamento cerâmico com piso desmembrado.....	12
Figura 3.3	Representação esquemática do novo produto de assentamento.....	12
Figura 3.4	Representação esquemática do sistema aderido (1) substrato ou base, (2) sistema de colagem/assentamento (3) placa de revestimento.....	13
Figura 3.5	Representação esquemática do sistema de revestimento não aderido (1) substrato ou base (estruturas de concreto), (2) apoio/elemento de fixação (3) placa de revestimento.....	14
Figura 3.6	Produção anual estimada de placas cerâmicas e suas principais finalidades.....	15
Figura 3.7	Produção brasileira de revestimentos cerâmicos - milhões de m ² por ano.....	15
Figura 3.8	Produção de revestimentos cerâmicos no mundo - milhões de m ² por ano.	16
Figura 3.9	(a) Piso elevado sobre apoios de concreto ou plástico; (b) piso elevado sobre estrutura auxiliar metálica.....	16
Figura 3.10	Aplicação de assentamento em “camada espessa”.	22
Figura 3.11	Assentamento de cerâmica utilizando argamassa colante (a) Formações dos cordões em argamassa colante (b) fixação da placa cerâmica.....	23
Figura 3.12	Modelo da manta adesiva.....	28
Figura 3.13	Processo de execução do assentamento cerâmico utilizando a manta polimérica adesiva.....	29
Figura 3.14	(a) e (b) Assentamento de piso sobre piso.....	32
Figura 3.15	Esquema de adesão por ligação química.....	34
Figura 3.16	Representação esquemática do mecanismo de adesão elétrico.....	34
Figura 3.17	Representação esquemática do mecanismo de adsorção.....	35
Figura 3.18	Representação esquemática do mecanismo por ancoragem.....	36
Figura 3.19	Representação esquemática da formação da interface placa cerâmica/argamassa em diferentes sistemas. (a) Cerâmica Abs > 3% + argamassa sem polímero; (b) Cerâmica Abs > 3% + argamassa com polímero; (c) Cerâmica Abs → 0% + argamassa sem polímero; (d) Cerâmica Abs → 0% + argamassa com polímero.....	38

Figura 3.20	Avaliação do tipo de Ruptura (1) cerâmica (2) material de assentamento (3) substrato.....	42
Figura 3.21	Modelo da medição do ângulo de contato e a relação entre as tensões superficiais.....	43
Figura 3.22	Ilustração do fenômeno de difração de um feixe de radiação eletromagnética que propaga, com detecção das interferências e mudanças de direção.....	46
Figura 3.23	Representação esquemática dos modos de vibração moleculares....	48
Figura 3.24	Fórmula estrutural do polietileno.....	50
Figura 3.25	Fórmula estrutural do polimetacrilato.....	51
Figura 3.26	Representação esquemática da interação do polímero EVA com a água.....	53
Figura 3.27	(a) Representação esquemática do processo de redispersão (b) imagem de microscopia de fluorescência para um polímero em pó redispersível.....	54
Figura 3.28	Ciclo do carbono.....	57
Figura 3.29	Redução da emissão de CO ₂ utilizando produto a base de biomassa.....	59
Figura 4.1	Representação das etapas fundamentais abordadas neste trabalho..	60
Figura 4.2	Sistemas em estudo (a) 1- cerâmica, 2- argamassa colante, 3- substrato (b) 1- cerâmica, 4- manta polimérica adesiva, 3- substrato.....	60
Figura 4.3	Fluxograma do procedimento experimental na placa cerâmica.....	61
Figura 4.4	Placa cerâmica (porcelanato) selecionada para estudo (a) lado polido, (b) verso da placa (tardoz).....	62
Figura 4.5	Equipamento de raios X e o amostrador para análise de difração de raios X (XRD).....	64
Figura 4.6	Exemplo da separação do difratograma nas três regiões: background, amorfo e cristalino.....	65
Figura 4.7	Fluxograma do procedimento executivo da manta polimérica adesiva.....	66
Figura 4.8	Modelo manta adesiva nas dimensões de 10cm x 10cm.....	67
Figura 4.9	Detalhe da medida com precisão.....	67
Figura 4.10	Determinação da dureza “Shore” A.....	69
Figura 4.11	Dimensões do corpo de prova para a realização do ensaio de tração.....	70
Figura 4.12	Corpos de prova do ensaio de resistência à tração na condição normal (A) e na condição envelhecida por temperatura (B).....	70
Figura 4.13	Ensaio de tração na manta.....	70
Figura 4.14	Aplicação de filler de calcário sobre a superfície da manta.....	71
Figura 4.15	Fluxograma do procedimento executivo da Argamassa ACIII.....	73
Figura 4.16	Argamassa colante ACIII, fabricante Precon.....	73

Figura 4.17	Fluxograma do procedimento executivo da caracterização dos sistemas de assentamento.....	76
Figura 4.18	Execução dos ensaios de aderência (a) Painel contendo porcelanato assentado com a manta adesiva; (b) Painel contendo porcelanato assentado com argamassa colante AC III.....	78
Figura 4.19	Representação esquemática dos sistemas montados sobre substrato padrão (a) Assentamento utilizando a manta polimérica adesiva (b) Assentamento utilizando argamassa ACIII.....	78
Figura 4.20	Representação esquemática dos sistemas montados sobre porcelanato (ensaio sobre o “retrofit”) (a) Assentamento utilizando a manta polimérica adesiva (b) Assentamento utilizando a argamassa ACIII.....	79
Figura 4.21	Ensaio realizado com a cura normal e aparelho de arrancamento....	79
Figura 4.22	Ensaio de cura submersa em água.....	80
Figura 4.23	Ensaio de cura em estufa.....	81
Figura 4.24	Análise da forma de ruptura.....	81
Figura 4.25	Placa sem uso e a verificação da não impregnação do pó.....	82
Figura 4.26	Placa com contato de adesivo da manta utilizada e a verificação da impregnação do pó.....	82
Figura 4.27	Assentamento da manta adesiva após 30 minutos da retirada do adesivo.....	84
Figura 4.28	Saturação da base para assentamento das placas cerâmicas.....	84
Figura 4.29	Presença do pó no substrato padrão.....	85
Figura 4.30	Assentamento de placa de porcelanato sobre placa porcelanato (“retrofit”).....	86
Figura 4.31	Ciclos de secagem e molhagem da argamassa colante.....	87
Figura 4.32	Carga sendo aplicada na placa cerâmica.....	88
Figura 4.33	Desenho esquematizado do equipamento utilizado.....	88
Figura 4.34	Aparelho desenvolvido para ensaio de cisalhamento.....	89
Figura 4.35	Desenho esquemático do sistema ensaiado sobre substrato padrão.	89
Figura 4.36	(a) Foto dos painéis utilizados para execução dos ensaios; (b) Manta assentada na placa cerâmica para posterior assentamento no substrato.....	90
Figura 4.37	Ensaio realizado com o lado liso da cerâmica assentado (a) cura normal (b) cura submersa (c) cura em estufa.....	90
Figura 4.38	Representação esquemática do ensaio realizado com a manta colada no substrato padrão com cola tipo epóxi.....	91
Figura 4.39	Modelo reduzido adotado para avaliar o sistema de assentamento..	91
Figura 4.40	Sistema 01- assentamento com argamassa colante ACIII.....	93
Figura 4.41	Sistema 02 - assentamento com a Manta Polimérica Adesiva - croqui esquemático.....	93

Figura 4.42	Croqui esquemático dos deslocamentos gerados na situação de variação térmica.....	94
Figura 5.1	(a) Superfície polida (b) verso da placa cerâmica (tardoz).....	95
Figura 5.2	Fotografia da placa cerâmica utilizada nos estudos mostrando o seu tardoz onde pode ser verificado o ângulo de contato.....	96
Figura 5.3	Difratograma obtido para a placa cerâmica.....	97
Figura 5.4	Parte posterior da Placa de porcelanato, a região A é a região limpa da placa, a região B é a região de engobe.....	98
Figura 5.5	Micrografia da região do verso da placa cerâmica limpa – Região A (ampliação X350).....	99
Figura 5.6	EDS área sem engobe (A). Análise na região central, predominante material cerâmico (porcelanato).....	100
Figura 5.7	MEV 02 - Micrografia da região de engobe, ampliação X350, apresenta a fina camada de engobe depositada sobre a superfície...	100
Figura 5.8	EDS da área com engobe com resultados dos cálculos estequiométricos dos óxidos equivalentes.....	101
Figura 5.9	Micrografia na região de engobe no tardoz da placa ampliação X35.....	102
Figura 5.10	Manta Polimérica Adesiva em seu tamanho original e sua espessura, em detalhe, em uma ampliação x15.....	102
Figura 5.11	Representação esquemática das regiões da manta.....	103
Figura 5.12	Ângulo de contato na manta adesiva.....	104
Figura 5.13	Curva de Força x Alongamento para as mantas adesivas nas duas situações de ensaio.....	105
Figura 5.14	Gráfico da resistência à tração em cada uma das situações.....	106
Figura 5.15	Gráfico da porcentagem do alongamento das duas situações.....	107
Figura 5.16	Gráfico do módulo de elasticidade nas duas situações.....	107
Figura 5.17	Ensaio para determinação da impregnação do adesivo sobre a manta.	108
Figura 5.18	Testes para a avaliação da área de impregnação na superfície dividida em frações para determinação da área total.....	108
Figura 5.19	(a) Foto da manta (b) Representação esquemática da estrutura da manta estudada.	109
Figura 5.20	Padrão de XRD obtido para a manta adesiva em estudo (Área 3). PE = polietileno e C = cargas minerais.....	110
Figura 5.21	Espectro de FTIR obtido a partir do interior da manta (áreas 1 e 2)	111
Figura 5.22	Etileno submetido a polimerização se transformando em polietileno.....	111
Figura 5.23	Espectro de FTIR obtido a partir da superfície da manta (área 3)....	112
Figura 5.24	Microscopia de poros com dimensões compreendidas entre 1 e 100 μm , (100X); (a)verificadas no interior da manta (b)verificadas na superfície da manta.	113

Figura 5.25	Imagem de MEV da seção transversal da manta (b) com os espectros de EDS da superfície do adesivo (c) e do interior da manta (a).....	113
Figura 5.26	Representação esquemática da vulcanização.....	114
Figura 5.27	Curvas de TG e DTG obtidas para a manta polimérica dupla face..	115
Figura 5.28	Curva de DSC obtida para manta polimérica dupla face.....	116
Figura 5.29	Representação esquemática da Manta adesiva com suas partes constituintes.	116
Figura 5.30	Difração de raios -X da argamassa colante.....	118
Figura 5.31	Ruptura quando submetido a cura normal (a) Manta (b) ACIII.....	119
Figura 5.32	Detalhe da manta aderida ao friso com espaços vazios na região de baixo relevo em função da rugosidade e presença de frisos no verso da placa.	120
Figura 5.33	Detalhe da amostra em estudo.	120
Figura 5.34	Micrografia 50X da região de baixo relevo em situação de cura normal.....	121
Figura 5.35	EDS área clara da região do tardoz região 1.....	121
Figura 5.36	EDS região escura do friso do tardoz região 2.....	122
Figura 5.37	Detalhe da impregnação do polímero e ponto escuro da micrografia, com ampliação de 500 X.....	123
Figura 5.38	Região da manta após a ruptura e ampliação a região do engobe....	123
Figura 5.39	EDS região clara.....	124
Figura 5.40	Região da manta, com a presença de material particulado, aumento de 1000X.....	124
Figura 5.41	EDS área da manta contendo material particulado.....	125
Figura 5.42	Detalhe da região da manta para avaliação do tipo de ruptura e pontos de rasgos no filme polimérico da manta adesiva.....	125
Figura 5.43	EDS da região intermediária entre a área reticulada e o grão.....	126
Figura 5.44	EDS, análise realizada na área da partícula (região do grão).....	126
Figura 5.45	Detalhe da micrografia da transição da região de engobe com material polimérico, ampliação de 50x(a) e 200x(b).....	127
Figura 5.46	Detalhe da região da manta após ruptura em cura normal, ruptura do filme polimérico.....	127
Figura 5.47	Amostra utilizada para a realização do ensaio de microscopia eletrônica.....	128
Figura 5.48	Microscopia com aumento de (a) 50x, (b) 1000x e (c) 2000x da argamassa colante.....	128
Figura 5.49	EDS argamassa colante após ruptura normal.....	129
Figura 5.50	Ruptura quando submetido a cura submersa (a) Manta (b) ACIII...	130
Figura 5.51	Re-emulsão do adesivo da manta em contato com a água.....	131

Figura 5.52	Identificações da amostra para microscopia eletrônica, após a ruptura na condição de cura submersa.....	132
Figura 5.53	Microscopia da superfície do porcelanato contendo material polimérico com aparência de “escorrimento”.....	132
Figura 5.54	Detalhe da tipologia do material polimérico após aplicação na situação de cura submersa, imagens com 100x(A) e 350x(B), respectivamente.....	133
Figura 5.55	Amostra da manta utilizada no ensaio.....	134
Figura 5.56	Microscopia sobre a manta polimérica 35x.....	134
Figura 5.57	Microscopia da região de interface entre a manta e o porcelanato 100x (a) e 350x (b).....	135
Figura 5.58	EDS região escura da microscopia.....	135
Figura 5.59	Amostra utilizada para a realização da microscopia, com ruptura da argamassa em situação de cura submersa.....	136
Figura 5.60	Microscopia realizada em interface da área impregnada de argamassa ACIII.....	136
Figura 5.61	EDS, Região impregnada com argamassa colante.....	137
Figura 5.62	EDS, região do porcelanato sem impregnação.....	137
Figura 5.63	Microscopia realizada na superfície do porcelanato (a) ampliação de 200x (b) ampliação de 1000x.....	138
Figura 5.64	Microscopia da região de material cimentício impregnado na superfície do porcelanato em diferentes ampliações 750x(a), 1000x(b), 2000x(c) e 3000x(d).....	139
Figura 5.65	Ruptura quando submetido a cura em estufa (a) Manta (b) ACIII..	140
Figura 5.66	Manta adesiva impregnada no porcelanato após cura em estufa(1)Região de manta impregnada, (2) Região do friso (3)Região de baixo relevo do porcelanato.....	141
Figura 5.67	Região da manta impregnada com vista do porcelanato.....	141
Figura 5.68	Análise realizada sobre a manta impregnada.....	142
Figura 5.69	EDS, análise do material da região de manta impregnada.....	142
Figura 5.70	Análise da região do porcelanato próximo à área de manta impregnada.....	143
Figura 5.71	EDS, análise do material cerâmico próximo a área de manta impregnada.....	143
Figura 5.72	Região do friso do porcelanato.....	144
Figura 5.73	Apresenta a região do friso do tardoz.....	144
Figura 5.74	Amostra do porcelanato assentado com ACIII após a ruptura (1) material impregnado (2) placa cerâmica.....	145
Figura 5.75	Microscopia da região do porcelanato sem argamassa colante.....	145
Figura 5.76	EDS, material impregnado no porcelanato.....	146
Figura 5.77	Ruptura quando submetido a efeito de tempo em aberto (a) Manta (b) ACIII.....	147

Figura 5.78	Ruptura quando submetido a umidade na base (a) Manta (b) ACIII	148
Figura 5.79	Amostra utilizada para a realização do MEV.....	149
Figura 5.80	Microscopia da interface da manta polimérica adesiva com o porcelanato, com o aumento de 35X(a) e 150x(b).(1) porcelanato;(2) face da manta; (3)interior da manta; seção transversal.....	149
Figura 5.81	EDS da região com material impregnada na manta.....	150
Figura 5.82	Microscopia com aumento de 35x (a) e 150x (b) mostrando área aderida e espaços vazios (seção transversal).....	150
Figura 5.83	Região da manta após ruptura que foi realizado o EDS.....	151
Figura 5.84	Manta após assentamento com umidade na base (a) região impregnada do friso do tardo (b) material impregnado na manta 500x.....	151
Figura 5.85	EDS do material impregnado sobre a manta.....	152
Figura 5.86	Material impregnado na manta aumento de 100x(a), 200x(b) e 2000x(c).....	152
Figura 5.87	Ruptura quando submetido a sujeira na base (a) Manta (b) ACIII..	153
Figura 5.88	Ruptura quando submetido a Retrofit (a) Manta (b) ACIII.....	154
Figura 5.89	Amostra utilizada para a realização do MEV.....	154
Figura 5.90	Detalhe, da região da manta adesiva com aparente material cerâmico impregnado (interface cerâmica/manta).....	155
Figura 5.91	EDS do material impregnado na manta.....	155
Figura 5.92	Ruptura quando submetido a secagem e molhagem (a) Manta (b) ACIII.....	156
Figura 5.93	Ruptura quando submetido ao envelhecimento (a) Manta (b) ACIII.....	157
Figura 5.94	Ruptura quando submetido a Carga Cíclica (a) Manta (b) ACIII....	158
Figura 5.95	Resultados da resistência a aderência na situação de mudança de cura.....	160
Figura 5.96	Resultado da resistência de aderência em relação a situação de condição de assentamento.....	161
Figura 5.97	Resultado da resistência de aderência em relação a situação de condições externas.....	162
Figura 5.98	Resultado da análise estatística dos valores de resistência da aderência.....	164
Figura 5.99	Vista do equipamento de ensaio de resistência ao cisalhamento direto.....	165
Figura 5.100	Resultado do ensaio de resistência ao cisalhamento nas condições de cura ao ar, estufa e submersa.....	165
Figura 5.101	Representação dos resultados da relação σ_{tu}/τ_{tu} para os sistemas de assentamento estudados.	167
Figura 5.102	Gráfico ilustrativo da relação resistência á tração e resistência ao cisalhamento.....	168

Figura 5.103	Ruptura quando submetido a cura normal.....	169
Figura 5.104	Ruptura quando submetido a cura submersa.....	170
Figura 5.105	Ruptura quando submetido a cura em estufa.....	171
Figura 5.106	Ruptura da manta aderida ao substrato.....	172
Figura 5.107	(a) Modelo 3D – ACIII e Manta adesiva (b) modelo estratificado malha tamanho 5x5mm.....	172
Figura 5.108	Deslocamento do sistema ACIII, após ação térmica. (7,7 μm).....	174
Figura 5.109	Deslocamento da manta na direção X.....	175
Figura 5.110	Tensão de Cisalhamento no Plano XZ, para ACIII.....	176
Figura 5.111	Tensão de Cisalhamento no Plano XZ, para Manta adesiva.....	176

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Quantidade de patente relacionada com cada palavra aproximada utilizada na busca.....	9
Tabela 3.2	Quantidade de patentes encontradas para cada termo pesquisado e quantidade de resultados relevantes para a pesquisa.....	10
Tabela 3.3	Classificação dos grupos de absorção de água.....	18
Tabela 3.4	Exigências mecânicas para as argamassas colantes.....	25
Tabela 3.5	Classificação dos Adesivos Orgânicos de acordo com a ANSI 136.1	26
Tabela 3.6	Classificação dos níveis de aderência.....	41
Tabela 3.7	Regiões do espectro de infravermelho.....	47
Tabela 3.8	Regiões de absorção de IR para diferentes grupos vibracionais.....	48
Tabela 3.9	Propriedades dos tipos de polietileno.....	51
Tabela 3.10	Emissão de CO2 emitido por cada material.....	58
Tabela 4.1	Ensaio utilizados para a comparação dos sistemas de assentamento.	75
Tabela 4.2	Variações nos sistemas de assentamento/condições, para avaliação do desempenho de aderência à tração em ambos os sistemas (convencional ACIII e manta adesiva dupla face).....	76
Tabela 4.3	Avaliação de desempenho por condição de assentamento.....	77
Tabela 4.4	Avaliação de desempenho por situação de trabalho.....	77
Tabela 4.5	Avaliação de desempenho por cisalhamento após cura ao ar.....	78
Tabela 4.6	Quantidade de carbono para cada tipo de material.....	95
Tabela 5.1	Tabela de absorção.....	105
Tabela 5.2	Resultados e valores médios da tensão de ruptura, alongamento e módulo de elasticidade.....	106
Tabela 5.3	Caracterização argamassa colante.....	118
Tabela 5.4	Resultados do ensaio de aderência na situação de cura ao ar.....	120
Tabela 5.5	Resultados do ensaio de aderência na situação de cura submersa.....	131
Tabela 5.6	Resultados do ensaio de aderência na situação de cura em estufa.....	140
Tabela 5.7	Resultados do ensaio de aderência na situação de tempo em aberto...	148

Tabela 5.8	Resultados do ensaio de aderência na situação de umidade na base...	149
Tabela 5.9	Resultados do ensaio de aderência na situação de sujeira na base.....	154
Tabela 5.10	Resultados do ensaio de aderência na situação de retrofit.....	154
Tabela 5.11	Resultados do ensaio de aderência na situação de secagem e molhagem.....	157
Tabela 5.12	Resultados do ensaio de aderência na situação de envelhecimento por temperatura.....	158
Tabela 5.13	Resultados do ensaio de aderência na situação de carga cíclicas.....	159
Tabela 5.14	Resumo dos resultados de aderência (Manta adesiva e ACIII).....	160
Tabela 5.15	Tipos de ruptura e sua características.....	164
Tabela 5.16	Classificação dos níveis de aderência.....	167
Tabela 5.17	Níveis de aderência em relação a resistência a tração pela resistência ao cisalhamento.....	168
Tabela 5.18	Resultados do ensaio de aderência na situação de cura ao ar.....	170
Tabela 5.19	Resultados do ensaio de aderência na situação de cura submersa.....	171
Tabela 5.20	Resultados do ensaio de aderência na situação de cura em estufa.....	172
Tabela 5.21	Resultados do ensaio de aderência da manta aderida ao substrato.....	172
Tabela 5.22	Dados utilizados para a avaliação.....	174
Tabela 5.23	Dados obtidos na modelagem numérica por elementos finitos.....	178
Tabela 5.24	Análise do coeficiente de segurança em cada tipo de cura.....	179
Tabela 5.25	Comparação entre a produção de CO ₂ na utilização da argamassa colante e da manta polimérica adesiva.....	180

LISTA DE ABREVIATURAS E ANOTAÇÕES

<i>A</i>	Área da placa cerâmica
<i>ABCP</i>	Associação Brasileira do Cimento Portland
<i>Abs</i>	Absorção de água
<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>a.C.</i>	Antes de Cristo
<i>AC</i>	Argamassa colante
<i>AC I</i>	Argamassa colante Tipo I
<i>ACII</i>	Argamassa colante Tipo II
<i>ACIII</i>	Argamassa colante Tipo III
<i>ACIII E</i>	Argamassa colante Tipo III com tempo em aberto expandido
<i>ANFACER</i>	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica
<i>ASTM</i>	American Society for Testing and Materials
<i>b</i>	Largura do corpo ao longo da prova da ruptura após ensaio de flexão
<i>CBIC</i>	Câmara Brasileira de Indústria da Construção
<i>CH</i>	Hidróxido de cálcio (portlandita)
<i>CNI</i>	Confederação Nacional da Indústria
<i>CR</i>	Carga de ruptura no ensaio de flexão
<i>DATecs</i>	Documento de Avaliação Técnica
<i>Drywall</i>	Denominação de paredes montadas sem argamassas / Construções a seco
<i>EDS</i>	Electrons Dispersive Spectrometry
<i>EPU</i>	Expansão por Umidade
<i>EVA</i>	Poli(etileno-co-acetato de vinila)

<i>F</i>	Força de ruptura
<i>F_{ck}</i>	Resistência à compressão característica do concreto
<i>f_t</i>	Tensão de ruptura
<i>FTIR</i>	Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier)
<i>GL</i>	Cerâmicas com acabamento da superfície esmaltado
<i>I_a</i>	Grupo de absorção de água ao qual pertencem peças com absorção entre 0 % e 0,5%
<i>I_b</i>	Grupo de absorção de água ao qual pertencem peças com absorção entre 0,5 % e 3,0%
<i>II_a</i>	Grupo de absorção de água ao qual pertencem peças com absorção entre 3,0 % e 6,0%
<i>Grampo</i>	Peça metálica de aço inox para sustentação de peça cerâmica de revestimento metálico afastado
<i>ICCD</i>	“International Centre for Diffraction Data”
<i>IPT</i>	Centro de Tecnologia do Ambiente Construído
<i>ITC</i>	Instituto de Pesquisa Tecnológica
<i>L</i>	Distância entre as barras de apoio no ensaio de flexão
<i>m</i>	Massa
<i>m₁</i>	Massa da placa cerâmica seca
<i>m₂</i>	Massa da placa cerâmica saturada
<i>MaPA</i>	Manta Polimérica adesiva
<i>MDF</i>	Painel de fibras de madeira
<i>MEV</i>	Microscopia Eletrônica de Varredura
<i>MPa</i>	Mega Pascal
<i>MR 20</i>	Determination of the Bond strength of rendering by torsion test
<i>MR 14</i>	Determination o the Bond of rendering by shear tests

<i>MRF</i>	Módulo de resistência à flexão
<i>NBR</i>	Norma Brasileira de Regulamentação da ABNT
<i>PEI</i>	Porcelain Enamel Institute
<i>PEX</i>	Tubulações de polipropileno reforçado flexível
<i>Retrofit</i>	Renovação sem substituição ou quebras
Shafts	Aberturas para passagem de tubulações nas edificações
<i>SINAT</i>	Sistema Nacional de Avaliação Técnica
<i>Steel deck</i>	Chapas de aço utilizadas como laje
<i>T</i>	Força da ruptura no ensaio de resistência a aderência à tração
<i>UGL</i>	Cerâmicas com acabamento superficial não esmaltado
<i>V</i>	Volume
<i>XRD</i>	X-Ray Diffraction (Difração de raios X)
<i>XRF</i>	X-Ray Fluorescent (Fluorescência de raios X)
<i>e min</i>	Mínima espessura do corpo de prova
θ_c	Ângulo de contato
ρ	Densidade
γ_{LV}	Tensão superficial da interface líquido vapor
γ_{SL}	Tensão superficial da interface sólido líquido
γ_{SV}	Tensão superficial da interface sólido vapor
τ_{tu}	Resistência de aderência ao cisalhamento do revestimento
σ_{tu}	Resistência de aderência à tração da argamassa

RESUMO

A indústria da construção civil no Brasil vem passando por mudanças nas práticas construtivas, impulsionadas pelo crescimento do setor e pela necessidade de atender ao déficit habitacional nacional. No que tange ao desenvolvimento das atividades de construção moderna, as técnicas de assentamentos de revestimentos cerâmicos em superfícies como pisos e paredes não apresentaram uma evolução significativa, ocorrendo o mesmo em relação aos conceitos/práticas ligados à sustentabilidade.

Este trabalho apresenta um estudo sobre o material polimérico adesivo dupla face, constituído por uma espuma de polietileno com adesivo acrílico de contato aplicado em ambas as faces, em substituição ao uso de cimento (na forma de argamassa) em assentamentos de revestimentos cerâmicos.

O uso da manta polimérica é apresentado como uma técnica inovadora e os aspectos do seu uso podem ser analisados através da comparação das confiabilidades dos diferentes sistemas (manta x argamassa) submetidos a variáveis que influenciam na aderência entre o material de assentamento e placas de porcelanato, a partir de ensaios de resistência de aderência à tração e ao cisalhamento.

Os dados de resistência de aderência à tração e cisalhamento obtidos com a argamassa apresentaram comportamento pouco homogêneo, onde pode se notar variações acentuadas em relação à condição de referência (cura normal). Para a manta polimérica os ensaios realizados apresentaram comportamento mais uniforme, em relação à condição de referência.

Modelamentos matemáticos foram construídos, baseados no método de elementos finitos, para simular as condições de uso dos dois tipos de assentamento, com a simulação de um gradiente térmico de 40°C. Os valores obtidos para as tensões de tração mostram que o limite para manta adesiva, hoje não estabelecido em norma brasileira, pode ser inferior aos valores indicados para argamassa colante.

CONTRIBUIÇÕES ORIGINAIS

- Avaliação do desempenho de produto comercial inovador: manta polimérica dupla face para o assentamento de placas cerâmicas de revestimento.
- Caracterização física e química da manta polimérica adesiva dupla face.
- Indicação de valores de referência de resistência de aderência à tração para sistemas de assentamento semelhante à manta polimérica adesiva dupla face.
- Apresentação de modelo inovador para a produção de cerâmica autoadesiva.

ABSTRACT

The construction industry in Brazil has been undergoing changes in construction practices, driven by growth in the sector and the need to meet the national housing deficit that is approaching eight million housing units in 2012 (SAE, 2012). Regarding the development of the activities of modern construction, ceramic tile settlements techniques on surfaces such as floors and walls showed no significant development, the same can be stated in relation to the implementation of the concepts/practices related to sustainability.

This paper presents a study on the double-sided adhesive polymeric material (adhesive foam) comprising a polyethylene foam with contact acrylic adhesive applied on both sides, to replace the use of cement (as mortar), in ceramic settlements using variables that influence the adhesion between the settable material and porcelain plates. Mortar ACIII (ABNT, 2012) was used as the reference.

The use of adhesive foam is presented as an innovative technique and the aspects of its use can be analyzed by comparing the reliabilities of different systems (foam x mortar) using tests of tensile and shear strengths.

The tensile and shear strength data obtained with mortar behaved less homogeneous, where there are high variations when comparing with the reference condition (normal cure). Tests done with the Adhesive Foam have showed more uniform behavior when comparing with the reference condition.

Mathematical models were constructed based on finite element analysis to simulate the conditions of use of both types of settlement. The evaluation was performed by simulating a thermal gradient of 40 ° C. The values obtained in tensile have shown that the limit for adhesive foam, that today has no established standard in Brazil, may be established in a lower value than that indicated for adhesive in different cure conditions.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a indústria de placas cerâmicas, vem buscando acompanhar a evolução do mercado, que sobrevive de forma artesanal. Dessa forma, ocorreu uma restauração dos produtos para a fabricação em larga escala, influência da indústria de equipamentos. Além disso, houve a introdução de técnicas de gestão e controle das matérias primas.

As placas de revestimentos eram utilizadas como acabamento em pisos e alvenarias dimensionadas empiricamente, a concepção da execução do assentamento passava por costumes culturais e intuitivos. Com o aparecimento das argamassas colantes no Brasil, no início dos anos 1960, o assentamento de placas passou a ser mais utilizado nas construções de edifícios e residências de pequeno porte. Posteriormente, na década de 1990, foram introduzidas, no Brasil, as normas regulamentares da ABNT para utilização de revestimentos cerâmicos com argamassa colante em paredes e pisos de edificações (ANFACER, 2011).

Em países mais desenvolvidos bem como no Brasil, a utilização de placas de revestimentos é amplamente difundida, existindo, também, um conjunto de outros revestimentos. Podem-se citar como exemplo, os laminados melamínicos, vinílicos, têxteis, poliméricos, dentre outros. O crescimento do uso destes revestimentos alternativos às cerâmicas se deve principalmente à facilidade de assentamento e à praticidade de manutenção, pois estes produtos não demandam assentamentos com argamassas e conseqüentemente dispensam a necessidade de mão de obra especializada (artesanal) para colocação, como o que acontece nos revestimentos cerâmicos (REVISTA TÉCNICA, 1998).

Os atuais sistemas inovam e buscam, principalmente, melhorias na facilidade de construir, reformar, efetuar serviços de manutenção e redução de mão de obra. Esses requisitos são essenciais para o sucesso de uma técnica inovadora, além de garantia de desempenho e de atendimento a requisitos mínimos de utilização. Isso, além da questão tecnológica, também pode ser considerada uma questão de consciência ambiental, pois

o ciclo de vida de um sistema, sob o aspecto da sustentabilidade, evita consumos de energia e emissão de gases associados ao efeito estufa na substituição de materiais cimentícios (SABBATINI et al., 1994).

A construção civil busca permanentemente a modernização de processos construtivos para os canteiros de obra, inovações essas que nem sempre se apresentam devidamente avaliadas e recomendadas para aquele uso. A redução da utilização de processos convencionais tem sido sistematicamente questionada em relação aos consumos de materiais, energia, água, tempo de execução e quantidade de mão de obra requerida.

A modernização da construção civil é uma exigência da sociedade e uma demanda das construtoras para garantia da sobrevivência financeira, especialmente pelos ganhos de produtividade e redução dos custos. Neste sentido, a implantação de inovações tecnológicas nos processos construtivos tradicionais é muito importante (ALMEIDA, 2005; SABBATINI, 1994).

No Brasil, embora haja avanços na área de revestimentos cerâmicos, na construção de residências e edifícios, a metodologia de maior uso na produção de assentamentos de revestimento ainda é o sistema tradicional, com o emprego de argamassas a base de cimento portland, informação que reforça a necessidade de avanço tecnológico nesse setor (CARASEK, 2007).

Apesar da importância econômica destes nas construções, sob a ótica da evolução e modernidade na construção civil, os assentamentos de revestimentos cerâmicos ainda não demonstram qualquer indício de evolução tecnológica considerável, sendo portando necessário racionalizar e melhorar as técnicas e práticas precedentes.

O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores mundiais de revestimento cerâmico, sendo o segundo maior produtor mundial e o quinto maior exportador. O país, no ano de 2010, atingiu a marca de 700 milhões de m² de revestimentos cerâmicos comercializados somente no mercado interno brasileiro (ANFACER, 2011).

A durabilidade e a vida útil do revestimento cerâmico dependem inicialmente da fixação das peças cerâmicas, além disso, há que se considerar as condições ambientais, a especificação da cerâmica, a mão de obra de aplicação, as solicitações variáveis de uso e a qualidade do rejuntamento, pois, todos esses fatores influem na vida útil e viabilidade de uso.

Diversas pesquisas apontam como falhas de revestimento cerâmico a resistência de aderência, inabilidade da mão de obra, qualidade no material de assentamento e da base. A resistência de aderência é um item muito importante devido ao número de camadas e interfaces dos sistemas de assentamento, pois quanto melhor o contato entre o material de assentamento e o substrato, maior será a aderência obtida (PEREIRA, 2012).

O mecanismo de aderência de um material de assentamento de revestimento cerâmico pode ser dividido em fases distintas (Figura 1.1), dependentes entre si e inseparavelmente relacionadas, sendo conhecidas como adesão inicial e a aderência. A adesão inicial ocorre no momento em que o material é aplicado e a aderência é a que se desenvolve ao longo de processos químicos, interações e ligações nas interfaces (STOLZ, 2011).

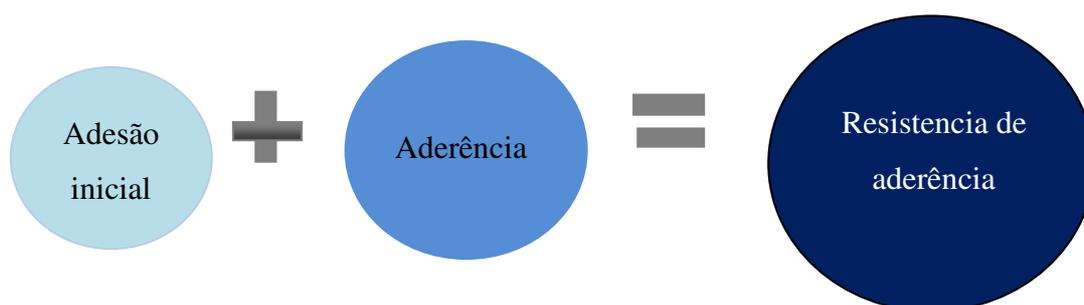


Figura 1.1 Fases da resistência de aderência.

De acordo com a NBR 13528 (ABNT, 2010), a aderência de argamassas não é uma propriedade das argamassas e depende da interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento. A propriedade de aderência depende de uma série de fatores, como a característica do material de assentamento, as características do substrato, do revestimento, das condições de exposição e também dos procedimentos de assentamento (CARASEK, 2007). A Figura 1.2 apresenta um

esquema de fatores que influenciam a resistência de aderência da interface argamassa colante com placas cerâmicas.

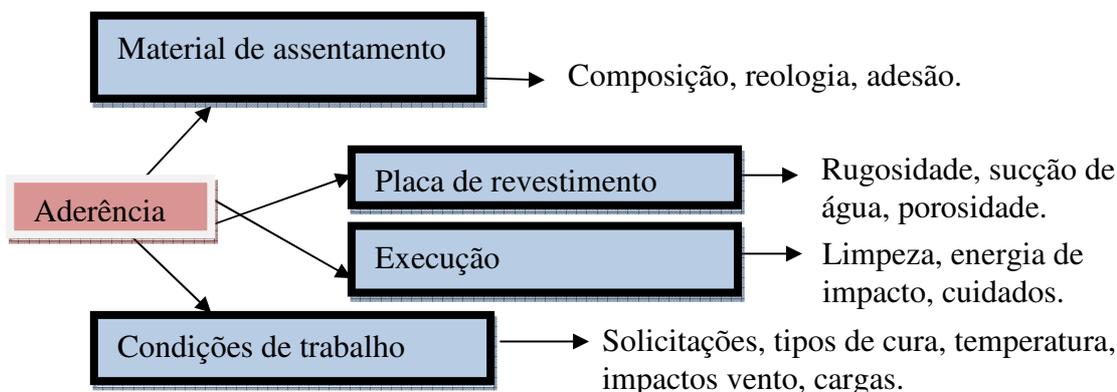


Figura 1.2 Ações que influenciam a resistência de aderência de argamassas
(Fonte: Adaptado CARASEK, 2007).

O destacamento de placas cerâmicas é a manifestação patológica mais relevante que o revestimento cerâmico pode apresentar devido ao risco para a segurança dos usuários e pelo prejuízo financeiro e estético (SARAIVA et al., 2010).

Apesar dos esforços da indústria cerâmica e dos procedimentos de colagem de placas cerâmicas, os problemas relacionados com o deslocamento de revestimento são frequentes e de graves ocorrências, registradas nos primeiros anos de utilização ou em períodos mais longos (MANSUR et al., 2007). A durabilidade e a viabilidade de revestimentos cerâmicos, como solução para construção, dependem basicamente das fixações das placas e da demanda de mão de obra disponível e qualificada.

O entendimento do mecanismo de aderência entre os diferentes materiais de assentamento de revestimento cerâmico e dos fatores que interferem neste comportamento é importante, pois, grande parte dos problemas patológicos está correlacionada com argamassas e assentamentos.

Neste cenário, na busca de sistemas de assentamento mais evoluídos e tecnologicamente modernos, um novo produto está disponível no mercado, que se trata de uma manta polimérica com adesivo em ambas as faces para o assentamento de placas cerâmicas.

No sentido de evitar falhas nos sistemas de revestimento cerâmico utilizando este novo produto, este trabalho tem por objetivo apresentar a caracterização físico-química e microestrutural deste sistema inovador, bem como seu desempenho nas condições de uso.

Para a realização da pesquisa com manta polimérica adesiva dupla face, consideraram-se as condições de cura (normal, submersa em água, estufa) e condições de contorno, como tempo em aberto, sujeira na base, umidade na base, ciclos de secagem e molhagem, envelhecimento por temperatura, cargas cíclicas e colagem sobre outra peça de porcelanato. O estudo do comportamento da aderência do assentamento de placas de revestimento com a manta polimérica adesiva tem como finalidade conhecer os limites de utilização deste sistema aparentemente simples e ratificar sua utilização nas diversas áreas a serem revestidas, como por exemplo, pisos e paredes de edificações convencionais, sistemas de reformas, espaços temporários como feiras e eventos, defesa civil, clínicas de urgência ou hospitais de campanha, dentre outros.

JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Um crescimento considerável da indústria cerâmica e consequente aumento do consumo de materiais de assentamento, onde se estima que cerca de 3 milhões de toneladas/ano seja o valor aproximado em relação ao consumo de argamassa colante por metro quadrado de revestimento executado, por si só já justifica a importância e o interesse no assunto.

De acordo com SINAPROCIM (2011), o crescimento do mercado de argamassa colante no Brasil se encontra em expansão, chegando a valores superiores a 1 bilhão de reais em 2010. A Figura 1.3 apresenta o faturamento, em milhões de reais, da indústria brasileira de argamassas.

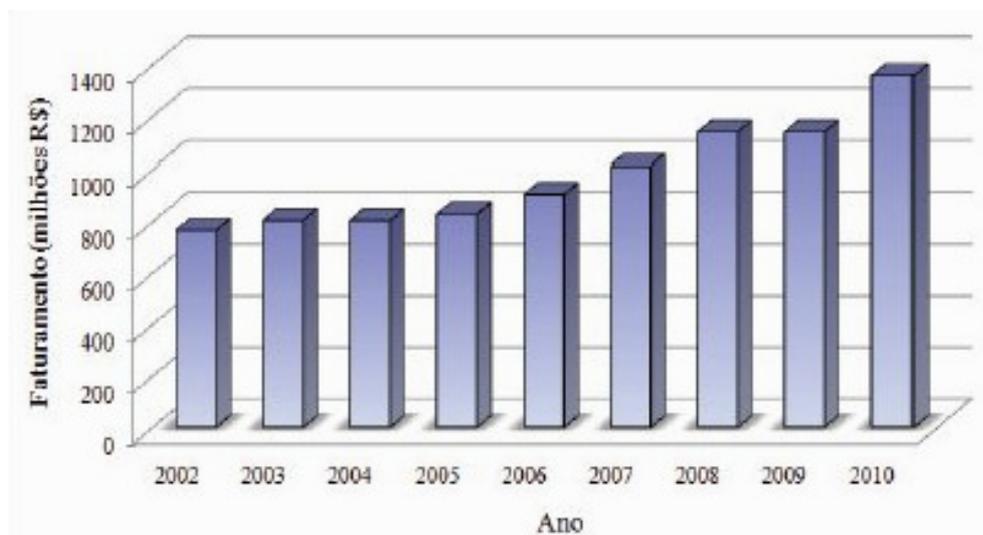


Figura 1.3 Faturamento, em milhões de reais, da indústria brasileira de argamassas. (Fonte: SINAPROCIM, 2011).

Há necessidade de estudos com produtos que possam trazer benefícios de produção, independência de mão de obra especializada, melhoria na sustentabilidade (redução de gases do efeito estufa), diminuir a aproximação de etapas tidas como artesanais à industrialização, além do conhecimento do comportamento e propriedades nas condições de uso, visando à durabilidade.

No contexto atual, o estudo do comportamento de sistema de assentamento de placas de revestimento cerâmico apresenta-se como uma alternativa viável para conhecimento de seu comportamento e segurança aos usuários e aos processos construtivos.

Como a técnica de colagem de placas cerâmicas com manta polimérica é recente, estudos sobre esta interação com o sistema de revestimento cerâmico formado de deposição da manta sobre substratos ou cerâmicas antigas (pisos sobre pisos) se fazem necessários, pois ainda surgem dúvidas quanto ao desempenho do conjunto principalmente em áreas externas e verticais, onde estarão sujeitos as mais diversas variações e intempéries.

A quantidade de destacamentos em pisos tem aumentado significativamente nos últimos anos (WETZEL, 2010). Pesquisadores dos laboratórios de materiais em Belo Horizonte e da Universidade Federal de Minas Gerais verificaram que o deslocamento e posterior

deslocamento de revestimentos cerâmicos representam cerca de 80% das ocorrências associadas a estes fatores e estão correlacionadas ao assentamento (mão de obra).

Vislumbra-se que os dados e resultados desta pesquisa auxiliem construtores e usuários de revestimentos cerâmicos a identificar os fatores que influenciam seu desempenho e descrição sobre modelos de assentamento, possibilitando também ao meio técnico maior entendimento deste tipo de sistema de assentamento cerâmico.

A técnica de assentamento de placas cerâmicas com manta polimérica adesiva dupla face a seco sem cimento (ainda não explorado nesta área) pode reduzir problemas associados com os assentamentos utilizando argamassas, bem como a industrialização e sustentabilidade, exigindo assim um conhecimento científico mais detalhado e aprofundado.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar as propriedades e o desempenho à resistência de aderência da manta adesiva polimérica dupla face, produto comercial inovador, destinado ao assentamento de placas cerâmicas de revestimento baseado em manta polimérica dupla face, em diferentes condições de cura, execução e ações externas, utilizando como referência o sistema de assentamento com argamassa colante tipo ACIII.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a manta adesiva polimérica dupla face e argamassa colante, quanto a suas propriedades físicas, químicas e mecânicas;
- Avaliar a resistência de aderência à tração e ao cisalhamento dos dois sistemas de assentamento de revestimento cerâmico.
- Comparar a resistência de aderência à tração e ao cisalhamento do sistema de manta adesiva polimérica dupla face (manta adesiva) com o sistema em argamassa colante ACIII, tradicionalmente adotada para o assentamento de placas de porcelanato, nas condições de cura normal, cura submersa e cura em estufa, conforme definido na NBR 14081;
- Estudar os efeitos das condições de assentamento, considerando a ação do tempo em aberto, da presença de sujeira, da ocorrência de umidade na base e assentamento de cerâmica sobre cerâmica (retrofit);
- Avaliar a durabilidade do sistema considerando os efeitos de secagem e molhagem, envelhecimento por temperatura e cargas cíclicas a partir de medidas da resistência de aderência à tração;
- Avaliar a interface placa cerâmica / manta adesiva, utilizando técnicas de caracterização e análises microestruturais, para conhecimento das condições de ruptura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Consulta de Base de Dados de Patentes

A consulta de base de dados de patentes foi feita em duas etapas:

A. Acesso ao Site do INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial)

Quando da consulta ao site do INPI, em 10 de outubro de 2012, selecionando-se a opção de procura por “palavra aproximada” na ferramenta de busca, obteve-se uma quantidade de patente, relacionada com cada palavra aproximada utilizada na busca, como apresentado na Tabela 3.1. Todas estas patentes têm escopo diferente da proposta deste trabalho.

Tabela 3.1 Quantidade de patente relacionada com cada palavra aproximada utilizada na busca

Palavra aproximada	Quantidade de patente
Assentamento cerâmico	26
Adesivo para placas cerâmicas	273
Cerâmica autoadesiva	0
Instalação de placas cerâmicas de revestimento	66
Assentamento cerâmico sem argamassa	1

B. Acesso ao Site Word Intellectual Property Organization” (WIPO)

Utilizando a ferramenta de pesquisas de patentes disponíveis no site do “Word Intellectual Property Organization” (WIPO) foram feitas, em 10 de outubro de 2012, as seguintes pesquisas termos exatos. A Tabela 3.2 apresenta a quantidade de patentes encontradas para cada termo pesquisado e a quantidade de resultados relevantes para a pesquisa. Porém, todas as patentes possuem escopo diferente da proposta deste trabalho.

Tabela 3.2 Quantidade de patentes encontradas para cada termo pesquisado e quantidade de resultados relevantes para a pesquisa

Termo exato	Quantidade de patentes	Resultados relevantes
“Adhesive tiles”	331	6
“Mortar less tile”	17	2
“Tile settlement”	0	0
“Double sloded adhesive for tile settlement”	0	0
“Double sided adhesive for tile settlement”	30	0
“Adesive mad for tile settlement”	466	1

Estes resultados são positivos quanto à possibilidade de obtenção de patentes do objeto do trabalho.

3.1.1 Patentes relacionadas

Durante a pesquisa pelas patentes relacionadas, apesar da diferença de escopo, encontraram-se algumas que possuem relação com este trabalho, no sentido de se tratarem de sistemas que buscam a industrialização do processo construtivo.

Gernot Ehrlich, em 08 de Agosto de 1995, patenteou o processo de um sistema de assentamento modular para cerâmica (patente nº 5,438,809). As unidades de revestimento constituem-se de cerâmicas fixadas sobre uma base rígida e emolduradas nas extremidades. A base das unidades de revestimento é substancialmente impermeável, e a armação pode ser feita de materiais compressíveis lateralmente, tais como madeira. Podem ser utilizados placas de assentamento como ardósia, granito, mármore ou cerâmica como base. As unidades podem ter diferentes tamanhos, de modo que a dimensão do sistema de revestimento pode ser variada (EHRlich, 1995). A Figura 3.1 apresenta o modelo esquemático desse sistema.

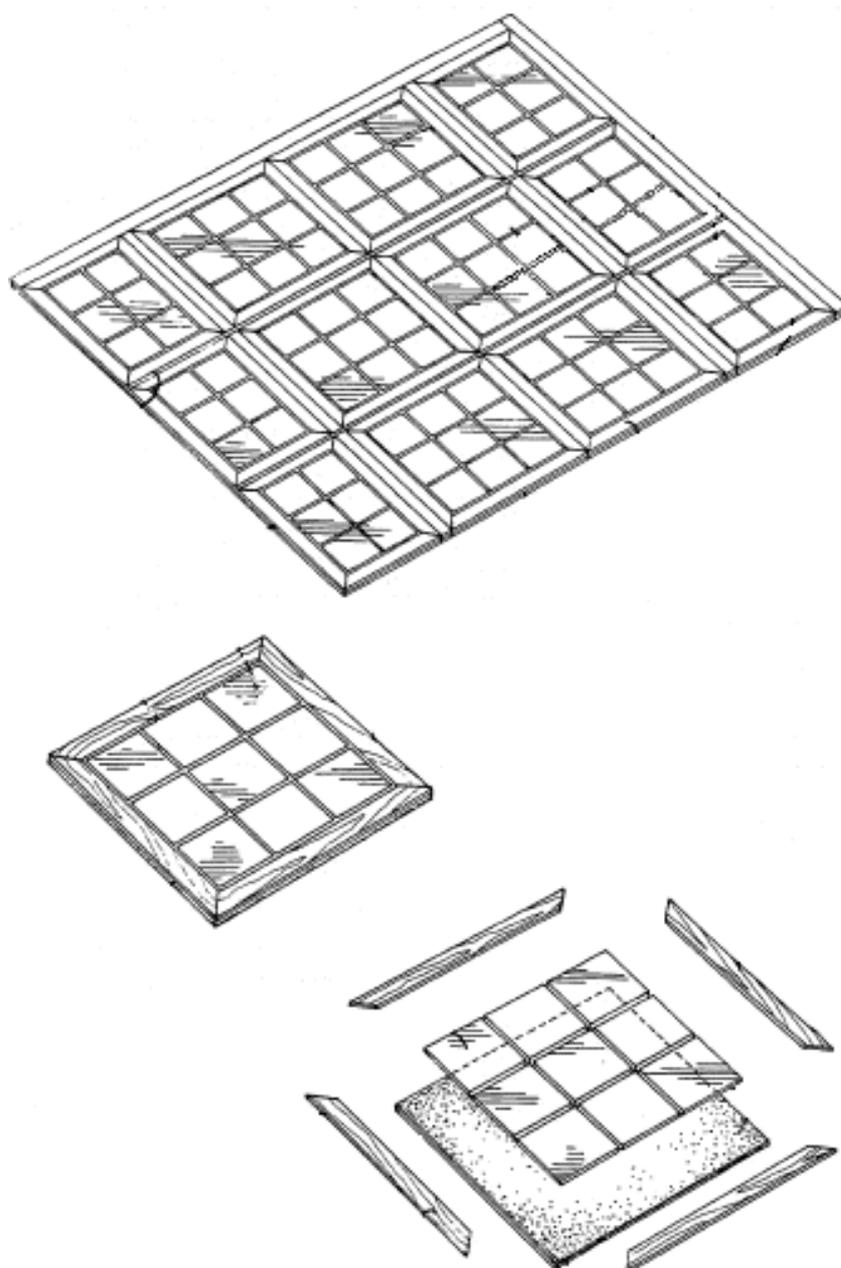


Figura 3.1 Representação esquemática do sistema de assentamento modular.
(Fonte: EHRLICH, 1995).

Tone Yasuyoshi, em 17 de maio de 1988, patenteou um sistema de assentamento modular para cerâmica com piso desmembrado em placas (patente nº 4,744,194). Refere-se ao método de assentamento de um tipo de cerâmica colocada com peças sobre o substrato, formando na superfície uma estrutura interligada com vários elementos de armação para fornecer uma matriz de base. Em cada peça há uma parte mais baixa para encaixar a cerâmica, as bordas do sistema formam uma moldura que possibilita o

agrupamento das peças, o que garante o assentamento contínuo, depois de divisões (YASUYOSHI, 1988). A Figura 3.2 apresenta o modelo esquemático desse sistema.

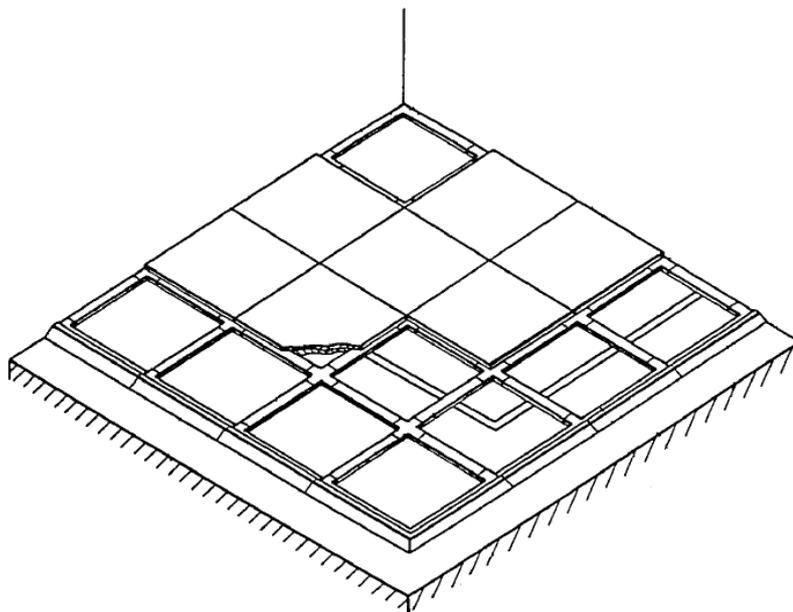


Figura 3.2 Assentamento cerâmico com piso desmembrado.
(Fonte: YASUYOSHI, 1988).

No dia 26 de janeiro de 2012, nos Estados Unidos da América, David Liu patenteou um produto de assentamento sem a utilização de argamassa (patente nº US 2012/0017528 A1).

O novo método de assentamento consiste na adição de uma espuma adesiva entre as camadas de revestimento e o chão. A espuma adesiva é aplicada na superfície inferior da placa estabelecendo uma ponte de aderência com o substrato, ao pressionar a placa a camada de espuma é deslocada para a borda, como mostra a Figura 3.3.



Figura 3.3 Representação esquemática do novo produto de assentamento.
(Fonte: LIU, 2012).

3.2 Revestimento em Placas Cerâmicas

O mercado de revestimento cerâmico brasileiro é o segundo maior mercado consumidor de placas de revestimentos cerâmicos do mundo, atrás apenas da China. A indústria Brasileira de revestimento cerâmico se apresenta como o segundo maior produtor mundial (MANFREDINI,2010; ANFACER, 2012).

Especificamente para os pisos, as placas cerâmicas de revestimento podem ser fixadas de duas maneiras principais: com os sistemas de assentamento aderidos e não aderidos conforme mostrado a seguir (MEDEIROS E SABATINNI, 1999):

- Sistema aderido: sistema no qual as placas cerâmicas trabalham completamente aderidas sobre a base ou substrato que lhes servem de suporte aplicados manualmente, necessitando de mão de obra especializada em assentamentos de placas de revestimento (CARASEK, 1996). A Figura 3.4 mostra representação esquemática de um sistema aderido, em que a área representada pelo número 1 corresponde ao substrato/base de emboço, contra piso, substrato de concreto o numero 2 é o material de colagem/assentamento e o número 3 é o conjunto formado pelas peças cerâmicas de revestimento e rejuntamento, sendo este sistema utilizado na maioria das construções no Brasil.

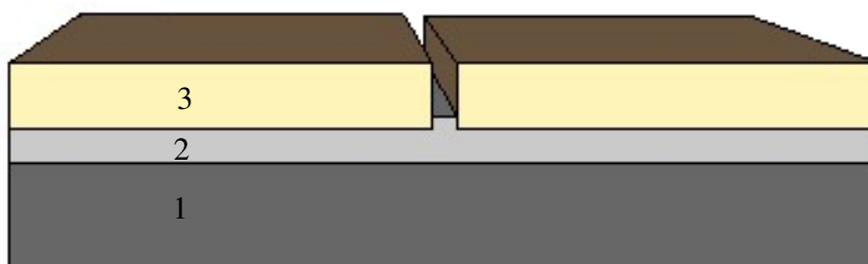


Figura 3.4 Representação esquemática do sistema aderido (1) substrato ou base, (2) sistema de colagem/assentamento (3) placa de revestimento.

- Sistema não aderido: sistema no qual as placas cerâmicas são fixadas por dispositivos especiais não estando diretamente aderidas a um substrato. Geralmente existe uma região intermediária entre as placas e o substrato que pode ser preenchida com ar e/ou com outros dispositivos com finalidade de

impermeabilização ou conforto térmico/acústico. A Figura 3.5 mostra a representação esquemática de um sistema não aderido (CARASEK, 1996).

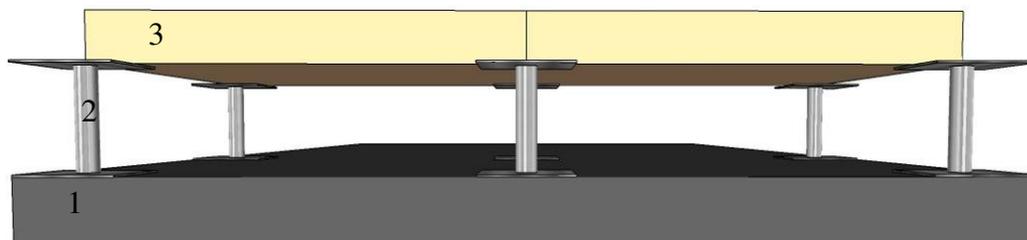


Figura 3.5 Representação esquemática do sistema de revestimento não aderido (1) substrato ou base (estruturas de concreto), (2) apoio/elemento de fixação (3) placa de revestimento.

3.3 Componentes do Sistema Aderido

Os sistemas aderidos são os comumente utilizados no Brasil, sendo o revestimento cerâmico usualmente aplicado sobre uma camada de argamassa de regularização (contra piso ou emboço), previamente executada sobre o substrato de concreto e alvenaria e aderida com argamassa colante (ITC, 1994; TAN et al., 1996; STOCK, 2004; MEDEIROS e SABATTINNI, 1999).

3.3.1 Placa Cerâmica

A NBR 13816/97 Placas cerâmicas para revestimento – Terminologia (ABNT, 1997) define placas cerâmicas para revestimento como “material composto de argila e outras matérias-primas inorgânicas, geralmente utilizadas para revestir pisos e paredes, sendo conformadas por extrusão ou por prensagem, também podendo ser conformadas por outros processos. As placas são, então, secadas e queimadas à temperatura de sinterização. Podem ser esmaltadas ou não esmaltadas, em correspondência aos símbolos GL (*glazed*) ou UGL (*unglazed*). As placas são incombustíveis e não são alteradas pela radiação solar”.

Historicamente, os revestimentos cerâmicos têm se mostrado altamente versáteis e duráveis, com facilidade de limpeza e manutenção. Sob o aspecto estético, são

oferecidos de maneira a satisfazer os mais variados gostos, com padronagens e texturas diversas. Além disso, a cada dia, a qualidade e variedade desse material se tornam mais diversificados, ao passo em que sua utilização aumenta no Brasil. A Figura 3.6 mostra o gráfico da produção anual estimada de placas cerâmicas e suas principais finalidades. A Figura 3.7 apresenta o gráfico da produção de cerâmica no Brasil (ANFACER, 2012).

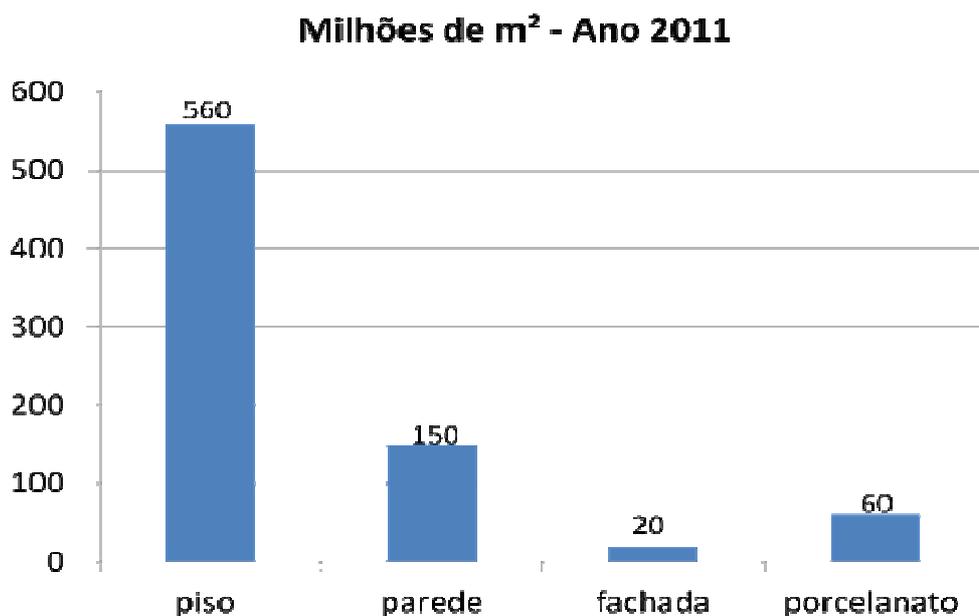


Figura 3.6 Produção anual estimada de placas cerâmicas e suas principais finalidades. (Fonte: ANFACER, 2012).



Figura 3.7 Produção brasileira de revestimentos cerâmicos - milhões de m² por ano. (Fonte: ANFACER, 2012).

Em todo o mundo, nota-se a utilização de grande número de revestimentos cerâmicos (Figura 3.8). Tal fato indica a necessidade do desenvolvimento de novas técnicas de assentamento como fixações metálicas (Figura 3.9), colagens especiais e a preocupação do consumidor e da engenharia com a relação custo-benefício, com a velocidade da obra e com a baixa perda de materiais, buscando ainda, o benefício de pouca produção de resíduos e redução de emissão de CO₂. O número de profissionais envolvidos com os procedimentos de assentamento de placas cerâmicas no Brasil chega à marca de 500.000 operários/ano, excluindo-se, neste total, os demais tipos de revestimentos (ANFACER, 2012).

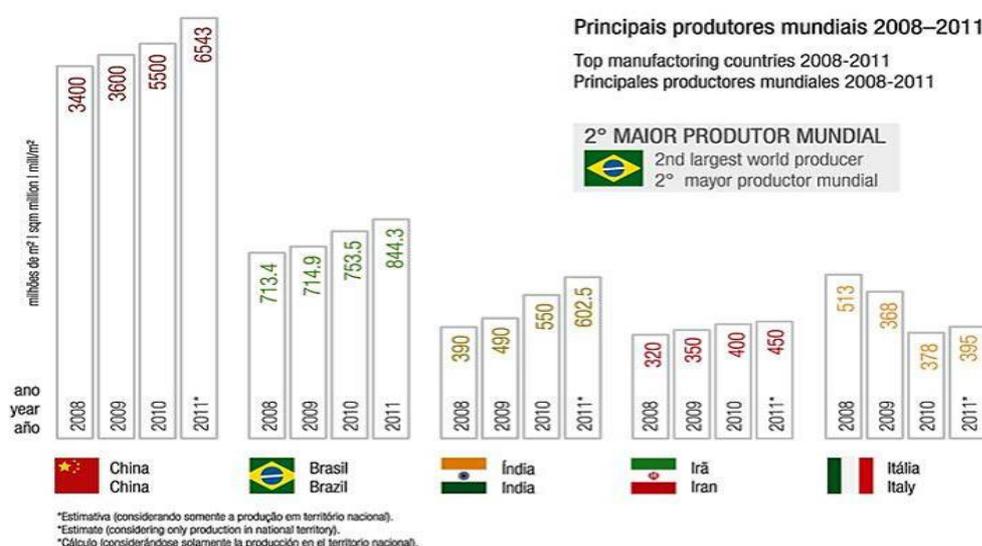


Figura 3.8 Produção de revestimentos cerâmicos no mundo - milhões de m² por ano. (Fonte: MANFREDINI, 2010).



Figura 3.9 (a) Piso elevado sobre apoios de concreto ou plástico; (b) piso elevado sobre estrutura auxiliar metálica.

(Fonte: Arquivo Nascimento e Pedrosa Engenharia e Consultoria).

As placas cerâmicas apresentam uma série de características técnicas e arquitetônicas que fazem deste tipo de revestimento um excelente acabamento (ITC, 1992; TAN et al., 1996; MEDEIROS e SABATTINI, 1999; STOCK, 2004). São estas as principais características:

- resistência às intempéries e durabilidade, incluindo inalterabilidade às radiações, resistência aos agentes químicos e aos ciclos de gelo e degelo;
- facilidade de manutenção e facilidade de limpeza;
- possibilidade de elevadas propriedades mecânicas (impacto, abrasão, risco, flexão, choque térmico);
- isolamento térmico;
- características de segurança por não propagar fogo nem acumular carga estática;
- aspectos decorativos: riqueza cromática, variedade de acabamentos e texturas, possibilidade de “imitação” de outros tipos de revestimentos (alguns porcelanatos são praticamente idênticos às pedras naturais);
- constante desenvolvimento de novos produtos e de novas tecnologias;
- produto industrializado normatizado possibilitando um maior controle das suas propriedades.

Apesar de todas estas vantagens, o sucesso do uso de placas cerâmicas em um sistema de revestimento depende da especificação correta de suas propriedades e características em função do ambiente em que elas serão utilizadas e dos esforços a que estarão submetidas.

As recomendações de assentamento de placas cerâmicas estão associadas ao ambiente que se encontram (interno ou externo), do tamanho da placa e em função da absorção de água da placa cerâmica a ser utilizada, conforme ANFACER (1995) que sugere cuidados no assentamento do porcelanato utilizando-se argamassa ACIII, para todas as condições de uso, além de chamar a atenção para a necessidade de preenchimento total do verso da placa, quando do assentamento.

3.3.1.1 Características das placas cerâmicas

A. Absorção de Água

A importância deste parâmetro está relacionada com a sua influência direta sobre outras características, tais como as propriedades mecânicas, a resistência a mudanças bruscas de temperatura e a geada (ABNT,1997).

Para a avaliação desta característica é realizado um ensaio que mede a quantidade de água que uma peça pode absorver (expressa em percentual). Esta característica está diretamente relacionada à porosidade da peça uma vez que o esmalte possui baixa absorção por ser uma superfície vitrificada (ABNT, 1997).

De modo geral, pode-se utilizar a Tabela 3.3 para relacionar o tipo da peça cerâmica com a sua absorção de água e resistência mecânica.

Tabela 3.3 Classificação dos grupos de absorção de água
(Fonte: ABNT, 1997)

Nome usual	Absorção	Grupo	Porosidade	Carga de Ruptura (N)	Módulo de Ruptura (N/mm ²)
Porcelanato	0 % a 0,5%	Ia	Baixa	> 1300	> 35
Grés	0,5% a 3%	IIb	Baixa média	> 1100	> 30
Semigrés	3% a 6%	IIa	Média	> 1000	> 22
Semiporoso	6% a 10%	IIb	Média alta	> 900	> 18
Poroso	10% a 20%	III	Alta	> 600	> 15
Azulejo	10% a 20%	III	Alta	> 400	> 15
Azulejo Fino	10% a 20%	III	Alta	> 200	> 12

B. Resistência à abrasão

É a característica mecânica da superfície da peça e representa a própria resistência ao desgaste provocada pelo trânsito de pessoas e objetos. De modo geral, são dois os principais defeitos resultantes dos vários tipos de ações abrasivas: a remoção de material da superfície da peça que é progressivamente consumido e a alteração da aparência superficial, com a perda de brilho e variações de tonalidade (ANFACER, 2009).

Dois métodos, um para peças esmaltadas e outro para não esmaltadas, avaliam a resistência do produto à abrasão. Para as esmaltadas, o método americano internacionalmente reconhecido com PEI (“Porcelain Enamel Institute”) qualifica os produtos de acordo com a avaliação visual do desgaste provocado na cerâmica por um aparelho com esferas de aço que giram sobre sua superfície (ANFACER, 2009).

Para materiais não esmaltados, o método prevê a medida do volume de material removido da superfície da peça, quando submetida à ação de um disco rotativo de um material abrasivo.

C. Expansão por Umidade

É o aumento da peça cerâmica sob a ação da umidade. No entanto, não é a simples presença de água nos poros que vai determinar o aumento dimensional, mas reações químicas entre esta água e os minerais argilosos que estão presentes no corpo cerâmico. (MANSUR, 2002).

D. Resistência a Gretagem

O fenômeno da gretagem corresponde ao aparecimento de finas fissuras ou trincas como fio de cabelo, de formato geralmente circular ou espiral, que se forma sobre a superfície esmaltada da peça. A manifestação do defeito pode ocorrer imediatamente após a saída do forno, durante a estocagem ou algum tempo após terem sido estocadas.

(NASCIMENTO, 2006). A resistência a este fenômeno confere características estéticas duradouras a placa cerâmica.

3.3.1.2 Porcelanato

A indústria cerâmica possui uma extensa variedade de produtos, sendo destaque o porcelanato. Este surgiu em 1970 na Itália, sendo caracterizado por sua maior semelhança com pedras naturais do que os outros produtos (SÁCHEZ, 2010).

Porcelanato é uma cerâmica muito compacta que possui excelentes propriedades químicas e mecânicas, tais como, baixa absorção de água, boa resistência a geadas e altamente resistente a produtos químicos de limpeza (WINNEFELD et al, 2012).

A composição inicial é feita a partir de uma mistura triaxial de argila ou caulim, quartzo, e feldspato. A argila ajuda fornecendo plasticidade e resistência mecânica a seco durante o processamento, e desenvolve fase vítrea, durante a queima. Os feldspatos desenvolvem a fase vítrea em baixas temperaturas (feldspato sódico) sendo usado principalmente, auxiliando o processo de sinterização, e possibilitando a praticamente zero (<0,5%) a porosidade aberta e um baixo nível de porosidade fechada (<10%). O quartzo promove estabilidade térmica e dimensional devido ao seu alto ponto de fusão (MANFREDINI et al, 1995).

O processamento industrial de porcelanato inclui três etapas principais: moagem e homogeneização da matéria-prima, seguido por secagem por pulverização da suspensão resultante; e prensagem uniaxial a 35-45MPa do pó seco por pulverização com um teor de umidade de 5 a 7%, de queima rápida para 40 a 60min de 1180 a 1220°C para se obter a densidade máxima (SÁCHEZ, 2010).

A busca por novas aplicações implica não só em novos sistemas de instalações, mas o design de novos produtos, como laminas de porcelanato, que podem ter de até 4 m de comprimento e apenas 3mm de espessura (VENTURELLI, 2000). Esta inovação foi focada inicialmente em novas aplicações de porcelanato, podendo ser destinada a

substituir materiais como madeira, plástico ou metal em aplicações até agora inacessíveis para cerâmica, como as portas prateleiras de cozinha e complementos, já que as placas podem ser feitas de dimensões cada vez maiores (BRESCIANI e RICCI, 2004).

Segundo WINNEFELD e colaboradores (2012), as placas de porcelanato são muito procuradas pela estética proporcionada ao ambiente, entretanto, o uso de porcelanatos que possuem normalmente grandes dimensões está relacionado a problemas técnicos, tais como, elevada força de cisalhamento resultante da sua deformação e a baixa aderência da argamassa colante com o substrato. A consequência disso é o aumento de danos e manifestações patológicas, como a falha de adesão e a fissuração das placas.

3.3.2 Camada de Assentamento de placas cerâmicas

3.3.2.1 Argamassas de Assentamento

Segundo a norma NBR 13529 (ABNT, 1995), argamassa é uma “mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, com aditivos ou não, e com propriedades de aderências e endurecimento”.

As funções das argamassas estão associadas diretamente às suas finalidades ou aplicações. Na construção civil, os principais usos da argamassa são: assentamento de alvenarias; nas etapas de revestimentos, como emboço ou reboco ou revestimento de camada única de paredes e tetos, além de contra pisos para a regularização de pisos, e assentamento de revestimentos cerâmicos.

O primeiro registro de emprego de argamassa como material de construção, segundo CARASEK (2007), vem da pré-história, há cerca de 11.000 anos. Em 1985, no sul da Galileia, em Israel, quando realizavam escavações para abrir uma rua, foi descoberto um piso polido de 180 m² feito com pedras e uma argamassa de cal e areia, o qual se estima ter sido executado entre 7.000a.C. e 9.000a.C., sendo este considerado hoje o registro mais antigo do emprego de argamassa pela humanidade.

Tradicionalmente o método de assentamento de placas cerâmicas era realizado pelo método conhecido por assentamento em “camada espessa”, como mostrado na Figura 3.10, utilizando-se cimento portland e agregado miudo.



Figura 3.10 Aplicação de assentamento em “camada espessa”.
(Fonte: Arquivo Nascimento e Pedrosa Engenharia e Consultoria).

No início da década de 1950, surgiram, na Europa e nos Estados Unidos, as argamassas industrializadas e as misturas semiprontas para argamassa, que eram dosadas em instalações industriais, para as quais, na obra, só é necessária a adição de água para as industrializadas e de cimento e água para as misturas semiprontas.

Na década de 1960, foram introduzidas no mercado brasileiro as argamassas industrializadas para o assentamento de placas cerâmicas de revestimento, denominadas argamassas colantes, nas quais, de modo geral, basta adicionar água. A NBR 14081/98 (Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Especificação) define as argamassas colantes como sendo “produtos industrializados, no estado seco, compostos de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, que, quando misturados com água, formam uma pasta viscosa, plástica e aderente empregadas no assentamento de placas cerâmicas para revestimento”.

Aditivos retentores de água sempre estão presentes nestas argamassas e permitem a sua aplicação em “fina camada”, nome pelo qual esta técnica de fixação também é conhecida, através de desempenadeira denteada. Aditivos adesivos podem ou não estar presentes dependendo da aplicação para a qual o produto se destina e atuam, principalmente, no sentido de aumentar a adesão da placa cerâmica ao substrato (CARASEK, 1996).

Algumas vantagens da aplicação em fina camada em relação ao sistema tradicional são (GALLEGOS, 1995):

- produto pronto para uso, eliminando a necessidade de dosagem de cimento, agregados e aditivos em obra;
- controle de qualidade dos materiais é de responsabilidade do fabricante da argamassa;
- a mistura da argamassa pode ser feita no próprio local de utilização;
- não deve ser realizada prévia imersão das placas cerâmicas em água;
- existência de produtos diferenciados em função das características das placas cerâmicas e do local de utilização;
- menor consumo de argamassa;
- maior potencial de aderência;
- maior produtividade;
- método racionalizado favorecendo construção limpa.

A argamassa é aplicada sobre a base, como pode ser visto na Figura 3.11, com o lado liso da desempenadeira denteada sendo, em seguida, frisada com os dentes da desempenadeira formando cordões com altura da ordem de 5mm. A placa cerâmica é, então, aplicada sobre estes cordões de modo a desmanchá-los através de movimentos de “vai e vem” perpendiculares aos mesmos, resultando em uma camada contínua de argamassa sobre o verso da peça. Para peças de maiores dimensões acima de 20cm x 20cm, recomenda-se que a argamassa seja aplicada no verso da placa (aplicação dupla face).NBR 13555/96 (ABNT,1996)

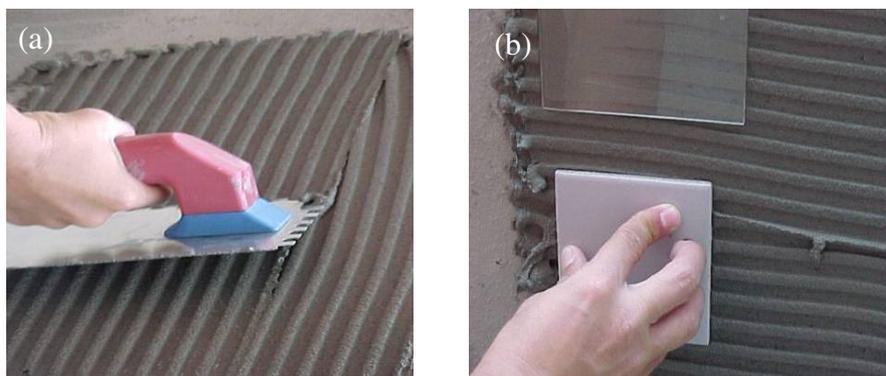


Figura 3.11 Assentamento de cerâmica utilizando argamassa colante (a) Formações dos cordões em argamassa colante (b) fixação da placa cerâmica.

O tempo em aberto é definido como o tempo decorrido desde a abertura dos filetes de argamassa na base até o assentamento das placas. Em função das condições de uso e de tempo em aberto, a NBR 14081/98 (ABNT, 1998) classifica as argamassas colantes em quatro tipos, conforme exigências contidas na Tabela 3.4, que devem ser utilizadas na seleção do material em função das características das placas cerâmicas e local de uso (FIORITO, 1994).

- Tipo I (AC I) – argamassa colante com características de resistência às solicitações mecânicas e higrotérmicas típicas de ambientes internos, com exceção daquelas verificadas em saunas, churrasqueiras, estufas e outros;
- Tipo II (AC II) – argamassa colante com características de adesividade que permitem absorver os esforços existentes em pisos e paredes externas decorrentes de ciclos de flutuação térmica e higrométrica, da ação de chuva e/ou vento, da ação de cargas como as decorrentes do movimento de pedestres em áreas públicas;
- Tipo III (AC III) – argamassa colante com características para resistir a altas tensões de cisalhamento nas interfaces substrato/adesivo e placa cerâmica/adesivo, juntamente com uma aderência superior entre as interfaces em relação às argamassas dos tipos I e II, sendo especialmente indicadas para uso em saunas, piscinas, estufas e ambientes similares;
- Tipo E – argamassa colante industrializada dos tipos I, II e III que atendem aos requisitos da Tabela 3.4, com o tempo em aberto entendido.

Tabela 3.4 Exigências mecânicas para as argamassas colantes
(Fonte: ABNT, 1998).

Propriedade	Método de ensaio	Unidade	Tipo			
			AC I	AC II	AC III	E
Tempo em Aberto	NBR 14083	minuto	≥ 15	≥ 20	≥ 20	Argamassa do Tipo I, II ou III com tempo em aberto estendido em no mínimo 10 minutos do especificado.
Resistência de Aderência	NBR 14084 cura normal	MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0	
	NBR 14084 cura submersa	MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0	
	NBR 14084 cura em estufa	MPa	-	≥ 0,5	≥ 1,0	
Deslizamento	NBR 14085	mm	≤ 0,7	≤ 0,7	≤ 0,7	

O tempo em aberto é um requisito importante, pois se excedido pode provocar a redução da capacidade de aderência devido à migração do polímero orgânico em conjunto com as bolhas de ar incorporadas do interior para a superfície (PÓVOAS et al., 2002).

3.3.2.2 Adesivos Orgânicos para Assentamento

Podemos definir adesivos orgânicos para assentamento como, uma mistura de resinas orgânicas sintéticas (epoxídicas, furânicas ou outras), cargas minerais e aditivos na qual o endurecimento ocorre por reação química dos componentes orgânicos. São utilizados para o assentamento em pisos e paredes em fina camada (da ordem de 1mm após o assentamento) para colar a cerâmica no substrato (CTA, 1991).

As especificações para estes tipos de produtos encontram-se na norma ANSI 136.1 (“Organic adhesives for installation of ceramic tile”) e o método de assentamento está descrito na norma ANSI A108.4 (“Installation of ceramic tile with organic adhesives or water cleanable tile setting epoxy adhesive”). Basicamente, estes adesivos são aplicados sobre o substrato com o lado liso de uma desempenadeira sendo em seguida feitos cordões com o lado denteado da mesma. A cerâmica é então pressionada sobre o

adesivo de modo a garantir contato do adesivo com o verso da cerâmica, que não deve ser inferior a 80% exceto para regiões de chuveiros que deve ser 95% após a inspeção de pelo menos 03 placas.

A norma ANSI 136.1 classifica estes produtos em dois tipos, de acordo com as condições de exposição, conforme mostra a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 Classificação dos Adesivos Orgânicos de acordo com a ANSI 136.1

Tipo	Aplicação
Tipo I	Instalação de cerâmicas em paredes, tetos e pisos Sujeitos a esforços mecânicos elevados, em condição seca ou exposição limitada a água. Sujeitos a esforços mecânicos leves, em condição seca ou exposição limitada a água Sujeitos a esforços mecânicos leves e exposição a água.
Tipo II	Instalação em paredes e tetos sob esforços leves em condição seca ou com exposição limitada a água.

Os ensaios para a avaliação destes adesivos orgânicos normalmente seguem a literatura de materiais deformáveis e de elastômeros, como a seguir (HOUWINK & SALOMON, 1973):

- Viscosidade – Resistência ao movimento de uma molécula do fluido oferecida pelo contato com a outra molécula desse mesmo fluido, sendo na prática entendida como a consistência dos materiais;
- Teor de sólidos – Quantidade de massa que corresponde à parte não volátil de um produto, sendo uma das propriedades mais importantes, pois atua diretamente sobre a tensão de descolagem. A variação deste parâmetro influencia outras propriedades como por exemplo: tempo ao toque, viscosidade e tempo em aberto;

- Tempo de pega – Tempo necessário para a evaporação parcial do solvente, medido através de um filme com espessura padrão, aplicado sobre uma placa de vidro, permitindo assim a manipulação dos substratos colados;
- Tempo aberto – É definido como sendo o tempo necessário para a obtenção da resistência máxima à descolagem, o que se dá após a secagem completa de um filme de adesivo com a espessura padrão aplicado sobre uma placa de vidro;
- “Tack” – É a propriedade de um adesivo que permite a formação de uma ligação de força mensurável imediatamente após o contato entre substratos e o adesivo, sob pequena pressão, como por exemplo, fitas adesivas e etiquetas;
- Densidade – Medida física que apresenta a relação entre a massa e o volume de uma referida amostra, a uma temperatura pré-determinada;
- Tixotropia – Propriedade de sistemas adesivos de diminuir sua viscosidade quando submetidos à agitação, e após algum tempo em repouso a viscosidade aumenta mantendo suas características iniciais. Termo utilizado também para materiais que não escorregam quando aplicados em superfície vertical, o fenômeno de tixotropia pode ser aproximado da pseudoplasticidade no qual o tempo necessário para que haja um rearranjo estrutural, afim que se estabeleça a estrutura primitiva;
- Pseudoplástico – Termo utilizado quando a viscosidade decresce com o aumento da taxa de cisalhamento, conhecido também como cisalhamento fino;
- “Pot Life” – É um parâmetro empírico que fornece o tempo médio de reatividade, após a mistura entre dois ou mais componentes. Neste caso, observando-se o aumento da viscosidade na manipulação, até a cura total da mistura;
- Ensaio mecânicos;
- Tensão de tração – A tensão de tração se produz como resultado de uma distribuição uniforme sobre a zona de colagem. São forças que atuam perpendicularmente ao plano de colagem;
- Tensão de Cisalhamento – A tensão de cisalhamento se produz no momento em que a força atua paralela ao plano da junta e se distribui uniformemente sobre a zona de colagem;

- Rasgamento – O rasgamento é um estado de tensão pouco recomendado para colagem. Trata-se de uma situação similar à tração e ao esforço que se aplica.

3.3.2.3 Manta Polimérica Adesiva

O produto identificado como manta polimérica adesiva dupla face (MaPA) se apresenta no mercado como uma nova tecnologia utilizada para assentar placas cerâmicas em pisos e paredes. Segundo o fabricante BAUTHEC, essa solução apresenta contribuição para a sustentabilidade do canteiro de obras e para o avanço tecnológico da construção civil. A Figura 3.12 ilustra um modelo de manta adesiva, as regiões 1 e 3 correspondem a filme protetor do adesivo, a região 2 corresponde a espuma em forma de manta com adesivo em suas superfícies.

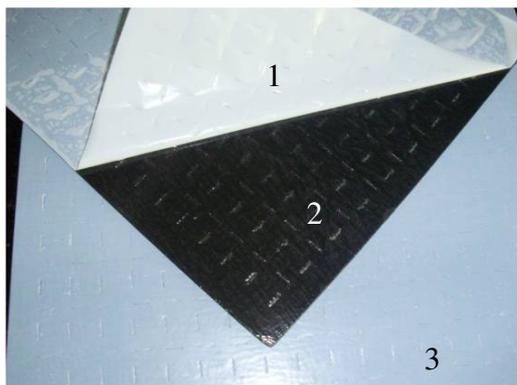


Figura 3.12 Modelo da manta adesiva.
(Fonte: Fabricante BAUTHEC).

De acordo com o fabricante a manta polimérica adesiva para assentamentos é composta de PEBD (polietileno de baixa densidade), material flexível, leve e impermeável. Aplica-se um adesivo acrílico nas duas faces que posteriormente são protegidas com filme plástico.

Segundo o fabricante BAUTHEC, essa tecnologia pode ser aplicada sobre sistema de gesso acartonado, pisos existentes, contra piso de argamassa, lajes e pisos de concretos, paredes de áreas molháveis e secas, utilizando-se de revestimentos cerâmicos, pedras, madeiras. A manta não pode ser aplicada em piscinas.

Além da limpeza, a aplicação é rápida e permite a liberação imediata para o trânsito ou colocação de materiais e móveis sobre o revestimento. É indicado para reformas rápidas de estabelecimentos comerciais em geral, “shoppings”, “showrooms” e áreas residenciais (BAUTHEC, 2007). A Figura 3.13 mostra o processo de execução do assentamento cerâmico utilizando a manta polimérica adesiva.

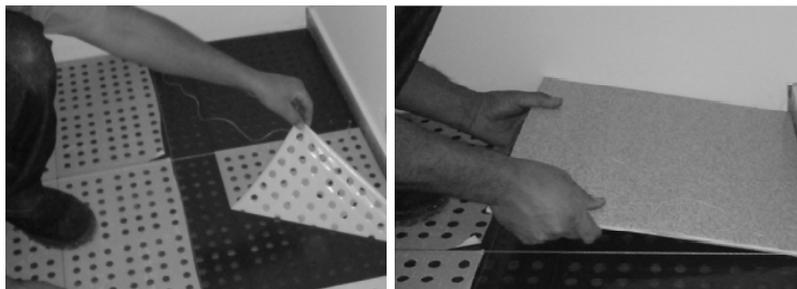


Figura 3.13 Processo de execução do assentamento cerâmico utilizando a manta polimérica adesiva.

No processo de assentamento deve-se remover o plástico protetor da parte inferior, posteriormente retira-se a parte protetora da superfície, ajusta-se a placa cerâmica ate o local definitivo e posteriormente aplica-se uma carga com o próprio peso do aplicador, pisando sobre as placas ou batendo com martelo de borracha, estando liberado para uso imediatamente ou após a secagem do rejuntamento que devera ser executado com mastique de acrílico ou poliuretano.

3.3.3 Substratos

Os substratos para revestimentos cerâmicos são geralmente argamassas de regularização, lajes de concreto e “retrofit”. Para a discussão da influência destes substratos na fixação dos revestimentos cerâmicos serão abordadas as características de suas superfícies.

3.3.3.1 Argamassas de Regularização

Os revestimentos de argamassa podem ser constituídos por uma ou mais camadas: emboço, camada de acabamento executada sobre laje, alvenarias ou outro sistema

construtivo. Segundo LEJEUNNE (1996) as principais funções dos revestimentos de argamassa são:

- Impermeabilizar a parede, ou seja, proteger o substrato contra a ação dos agentes agressivos, principalmente quando a base é de alvenaria, evitando sua degradação precoce e aumento de sua durabilidade, conseqüentemente, diminuindo os custos de manutenção;
- Contribuir ao bom aspecto do edifício, corrigindo pequenas falhas e conseqüentemente valorizando o edifício.
- Auxiliar a vedação vertical, contribuindo para o isolamento termo acústico.

A. Emboço

A camada de regularização de paredes (emboço) é executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada de reboco ou de revestimento decorativo. Para executar o emboço devem ser considerados os seguintes aspectos (CARVALHO, 2003):

- as estruturas, alvenarias, encunhamentos e contra pisos devem estar concluídos há, pelo menos, 14 dias;
- podem ser utilizadas argamassas viradas na obra, de cimento, cal e areia ou cimento, areia e aditivos, com traço definido em função das características desejáveis para a argamassa, ou ser utilizadas argamassas industrializadas para emboço, conforme instruções do fabricante. A espessura do emboço será definida a partir da identificação dos pontos críticos da base quanto ao prumo. A espessura ideal varia entre 15mm e 25mm. Para espessuras maiores, o revestimento deverá ser executado em camadas da ordem de 20mm;
- o acabamento deve proporcionar porosidade e textura superficial compatível com a capacidade de aderência do revestimento final previsto. Para receber revestimentos em cerâmica, o emboço deverá ser sarrafeado e desempenado, de leve, com desempenadeira de madeira. O ideal é verificar com o fabricante,

revendedor do produto a ser utilizado como revestimento, como deve ser feito o acabamento do emboço.

B. Contra pisos

A regularização de pisos, conhecido como contra piso, é uma camada de argamassa lançada diretamente sobre uma base (laje estrutural ou lastro de concreto) ou sobre uma camada intermediária (de impermeabilização ou de isolamento térmico e acústico) propiciando uma superfície que permite receber um revestimento final. A argamassa a ser utilizada é normalmente a base de cimento e areia, com traço definido em função das características desejáveis para a argamassa feita em obras, ou argamassas industrializadas, conforme recomendações do fabricante. Geralmente com espessuras em torno de 40mm, o contra piso é executado em camada única. A camada deverá ser lançada, compactada e sarrafeada (SABBATINI, 1994).

C. Laje de concreto como substrato para revestimento

Segundo THOMAZ (2005), a própria laje da estrutura pode ser também utilizada como base para assentamentos de placas de revestimentos, desde que, tenham uma série de cuidados para este fim, iniciando pela previsão de planicidade com nível a laser e outros itens, como acabamento com máquinas de vibro, cura adequada e dosagem correta de seus constituintes, além dos cuidados com a desfôrma e o módulo de deformação da estrutura. Estas estruturas são as lajes zero, que tem o objetivo de eliminaram a necessidade de contra piso. Em muitos momentos, essas tecnologias foram utilizadas de forma exagerada sem as devidas medidas de seus efeitos (REVISTA TÉCNICA, 2007).

D. Revestimentos em Processo de "Retrofit"

Surgido na Europa e nos Estados Unidos, o "Retrofit" tem o objetivo de revitalizar antigos edifícios, aumentando sua vida útil, por meio da incorporação de tecnologias modernas e utilização de materiais avançados. No Brasil, a demanda para o "Retrofit" aumentou nos últimos anos não apenas por causa da preocupação crescente com o

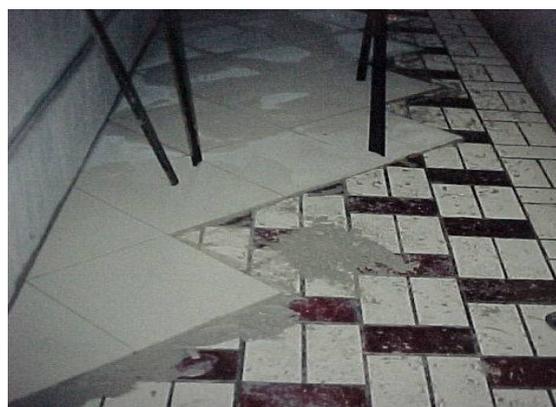
patrimônio histórico, como também por ser uma opção de conservação e melhoria do patrimônio em áreas de potencial construtivo esgotado, como as regiões centrais de algumas metrópoles (CARVALHO, 1999).

“Retrofit” é uma prática que consiste em assentar um novo material sobre uma superfície antiga. Uma ótima opção para mudar o visual de um ambiente de forma prática e rápida, sendo possível cobrir um revestimento antigo com novas peças cerâmicas (Figura 3.14). No entanto, esse trabalho exige alguns cuidados especiais para que não ocorram problemas após o assentamento convencional com argamassas tipo colante (CARVALHO, 1999), os quais podem-se citar:

- o assentamento de piso sobre piso somente deve ser feito sobre pedras naturais ou revestimento cerâmico;
- o piso que será coberto pelo novo revestimento não pode ter peças soltas ou partes ocas. Isso vai fazer com que o novo assentamento apresente problemas;
- para o assentamento, deve ser sempre utilizada argamassa industrializada especial, as indicadas para piso sobre piso. O rejunte pode ser normal, à base de cimento ou de polímeros;
- no caso de paredes, observam-se os mesmos cuidados, devendo ser feita a dupla colagem, passando argamassa na base a ser revestida e na peça.



(a)



(b)

Figura 3.14 (a) e (b) Assentamento de piso sobre piso.
(Fonte: Arquivo Nascimento e Pedrosa Engenharia e Consultoria).

3.4 Mecanismos de Aderência de Revestimento Cerâmico

No controle da execução de revestimento de pisos com placas cerâmicas com argamassa colante (NBR 13753/96-ABNT) a resistência de aderência à tração é a propriedade de controle da qualidade do assentamento do piso. Outras propriedades medidas (cota, nível, caimento, planeza, alinhamento e geometria de juntas) não envolvem medidas de propriedades diretamente relacionadas aos esforços do sistema.

O mecanismo de aderência de um material de assentamento de revestimento cerâmico pode ser dividido em duas fases distintas, mas que são dependentes entre si, sendo estas conhecidas como: adesão inicial e a aderência. A adesão inicial ocorre no momento em que o material é aplicado e a aderência é a que se desenvolve ao longo de processos químicos, interações e ligações nas interfaces (STOLZ, 2011).

Segundo MANSUR (2002), é importante ter-se em mente que qualquer processo de aderência é um fenômeno complexo, e pode ser formado principalmente pela interação entre os mecanismos de aderência apresentados na sequência. Estes mecanismos de aderência não ocorrem isoladamente; apenas se apresentam em diferentes graus de participação dependendo do momento em que se analisa a propriedade geral e das características particulares de cada material, tornando-se claro que a combinação entre eles varia de um sistema para o outro (BRANDÃO, 2008).

3.4.1 Mecanismos de aderência

Não existe um mecanismo único que relaciona as propriedades físico-químicas dos materiais com a resistência real de uma ligação adesiva (SILVA, 2008; KINLOCH, 1987). Os principais mecanismos de aderência citados na literatura são: a força eletrostática, a difusão e ancoragem mecânica, adsorção, e da ligação covalente (BRANDÃO, 2008).

A. Mecanismo da ligação química covalente

O mecanismo consiste em uma ligação covalente entre o adesivo e o substrato ao longo da interface. Quando sítios reativos estão presentes no substrato e reagem com o adesivo, ocorrendo a ligação entre as superfícies, como mostra a Figura 3.15 (SILVA, 2008).

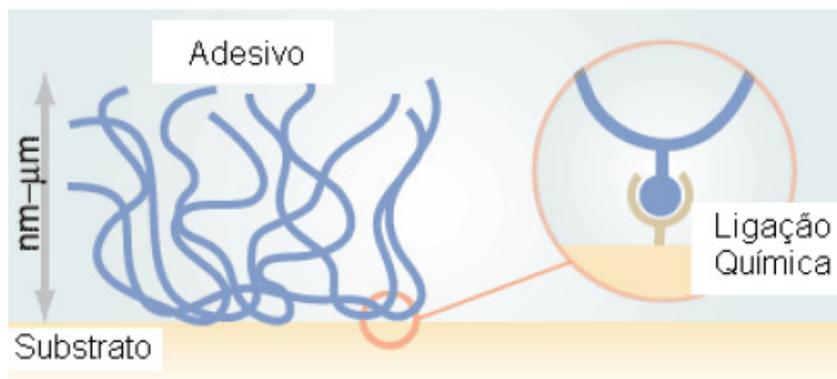


Figura 3.15 Esquema de adesão por ligação química.
(Fonte: SILVA, 2008).

B. Mecanismo da força eletrostática

Esse mecanismo resume-se na diferença de eletronegatividade entre o adesivo e o substrato e a força de adesão é atribuída à transferência de elétrons ao longo da interface criando um dipolo elétrico conforme ilustra a Figura 3.16. A resistência da ligação é baseada em forças de Coulomb. (BRANDÃO, 2008, MANSUR, 2002).

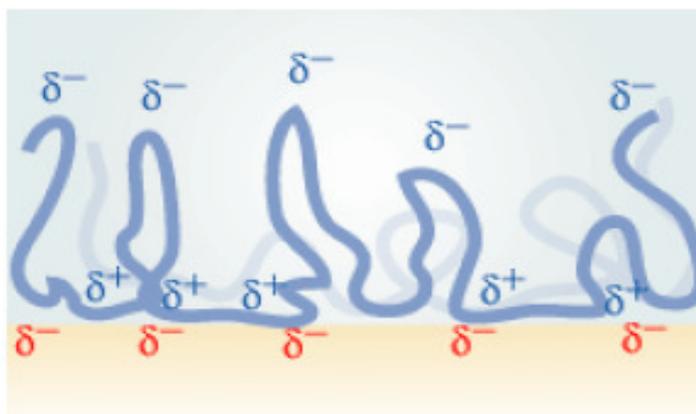


Figura 3.16 Representação esquemática do mecanismo de adesão elétrico.
(Fonte: SILVA, 2008).

C. Mecanismo de adsorção

Este mecanismo está relacionado com forças superficiais entre os átomos presentes no adesivo e no aderente. As forças mais comuns são as de Van der Waals, as ligações de hidrogênio e as interações hidrofílicas / hidrofóbicas (SILVA, 2008; BRANDÃO, 2008).

A teoria da atuação deste mecanismo em polímeros se compõe de duas etapas. A primeira compreende na migração das macromoléculas dos adesivos para a superfície do substrato por movimento macro browniano. Concomitantemente ao movimento molecular, ocorre a aproximação dos grupos polares do adesivo e do substrato. A segunda etapa é o estabelecimento do equilíbrio de adsorção; a uma pequena distância (distâncias inferiores a 5Å) as forças de Van der Waals começam a atuar nas moléculas do adesivo e do substrato (SILVA, 2008). Na Figura 3.17 está a representação esquemática deste mecanismo.

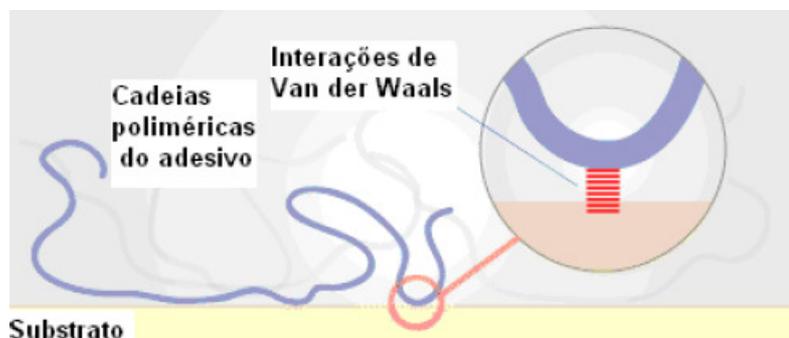


Figura 3.17 Representação esquemática do mecanismo de adsorção.
(Fonte: SILVA, 2008).

D. Mecanismo de difusão e ancoragem mecânica

A força de ligação entre o adesivo e o substrato origina-se da difusão das moléculas nos espaços formados por irregularidades na superfície do substrato. Nos substratos que apresentam irregularidades macroscópicas, a adesão é chamada de ancoragem mecânica (Figura 3.18), esse fenômeno também ocorre em superfícies lisas, porém em escala microscópica.

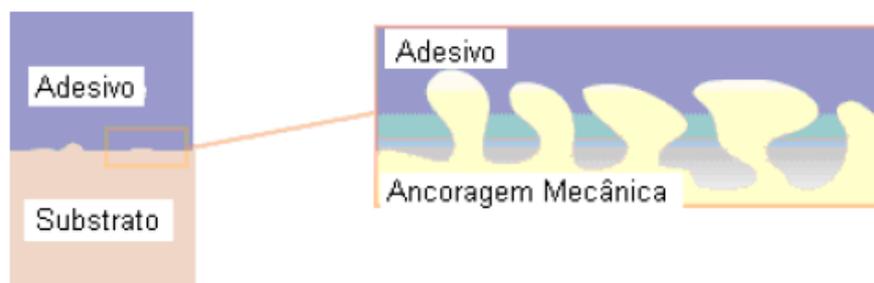


Figura 3.18 Representação esquemática do mecanismo por ancoragem.
(Fonte: SILVA, 2008).

3.4.2 Fatores que afetam a aderência

Alguns fatores podem atrapalhar a adesão do adesivo ao substrato, são eles: formação da junta adesiva, a pressão aplicada no momento da colagem, temperatura, rugosidade do substrato, a estrutura química do adesivo e do substrato e o tipo de forças intermoleculares.

- Efeito da pressão

Os adesivos podem se apresentar em duas formas, no estado líquido e no estado sólido. Na primeira situação o aumento de pressão não influencia positivamente na colagem, já que no estado líquido o material pode escorregar. Na segunda situação, o aumento de pressão possibilita uma maior área de contato entre o adesivo e o substrato (SILVA, 2008).

- Efeito da temperatura

O aumento de temperatura favorece a aderência em dois diferentes aspectos, pois aumenta a velocidade de difusão das moléculas e também diminui a viscosidade do adesivo (SILVA, 2008).

- Rugosidade do substrato

A adesão aumenta com a rugosidade do substrato, devido ao aumento da área efetiva de contato e por efeito de ancoragem.

- Estrutura química do adesivo e do substrato

Os materiais que possuem baixa massa molar tendem a ter uma menor resistência interna, entretanto apresentam boa capacidade de difusão sobre o substrato. À medida que a massa molar aumenta, o material passa a ter melhores propriedades mecânicas, conseqüentemente, maior resistência interna. Entretanto, uma cadeia mais longa possui movimentos restritos, menor a difusividade do polímero. Dificilmente uma solução de compromisso em relação a estes dois fatores é encontrada utilizando um material único, sendo que uma mistura de materiais de diferentes massas molares é utilizada na composição dos adesivos.

3.4.3 Mecanismos de aderência na interface argamassa de assentamento/placas cerâmicas

O efeito conjunto na formação da interface das características das placas cerâmicas e da adição de polímeros na argamassa está resumido na Figura 3.19. No sistema argamassa sem polímero/placa cerâmica com absorção maior que 3% (Figura 3.19a) é um consenso que a aderência da argamassa endurecida ao substrato/cerâmica é um fenômeno essencialmente mecânico devido, basicamente, à penetração da pasta de aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Através de estudos microestruturais, foi observado que a aderência decorre do intertravamento principalmente da etringita (AFt) nos poros. Pelo efeito de sucção ou absorção capilar causado pela base porosa, íons sulfato e cálcio em solução são transportados para regiões mais internas do substrato precipitando no interior dos poros a etringita. Com menos espaço para precipitação, outros produtos de hidratação do cimento, como o C-S-H (silicato de cálcio hidratado) e o CH (Hidróxido de cálcio), aparecem em menor quantidade na interface (CARASECK *et al.*, 2001).

Na presença de polímeros, devido ao aumento da retenção de água da argamassa, a sucção da nata de cimento para a cerâmica de absorção de água maior que 3% (Figura 3.19b) ocorre de forma mais lenta e contínua, gerando uma maior extensão do contato físico e conseqüentemente melhor ancoragem mecânica. Verifica-se, ainda, a formação

de um filme polimérico na interface a partir do coalescimento das partículas de látex succionadas pela base, formando uma camada contínua nesta interface favorecendo a ligação entre os materiais através de forças intermoleculares decorrentes de ligações secundárias de van der Waals e ligações de hidrogênio (ISENBURG e VANDERHOFF, 1974; SAKAI e SUGITA, 1995; OHAMA, 1998).

Em se tratando de materiais com baixa porosidade e argamassa sem polímeros (Figura 3.19c) a sucção da nata de cimento para o interior dos poros não deve existir, havendo um acúmulo de água na interface e a formação de uma fina película com elevada relação água/cimento. Verifica-se na interface a formação de uma dupla camada de Hidróxido de sódio diretamente em contato com placa cerâmica seguida de uma camada de C-S-H. Fases AFm (monosulfato) também são verificadas nesta região devido ao maior espaço para precipitação. Na presença dos polímeros (Figura 3.19d), não se observa o acúmulo de água na região da interface e identifica-se a precipitação de uma camada híbrida de C-S-H + polímero na região da interface, favorecendo o desenvolvimento das forças intermoleculares e, conseqüentemente, aumentando a aderência do sistema (HEROLD, 2000; JENNI *et al.*, 2003; MANSUR, 2007).

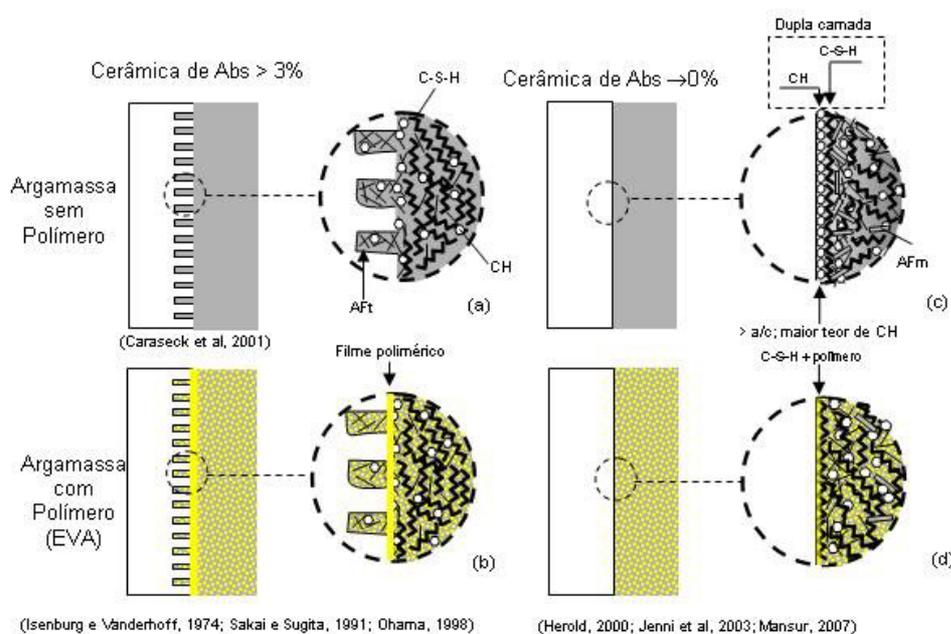


Figura 3.19 Representação esquemática da formação da interface placa cerâmica/argamassa em diferentes sistemas. (a) Cerâmica Abs > 3% + argamassa sem polímero; (b) Cerâmica Abs > 3% + argamassa com polímero; (c) Cerâmica Abs → 0% + argamassa sem polímero; (d) Cerâmica Abs → 0% + argamassa com polímero.

3.5 Medidas da Resistência de Aderência

Aderência é a propriedade do revestimento de resistir às tensões atuantes na interface com o substrato. A aderência é resultante da interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento que se pretende avaliar (NBR13528/10, ABNT, 2010). Essa propriedade possui papel fundamental no desempenho do revestimento associado ao seu comportamento para resistir às tensões que surgem na interface do revestimento com os componentes da base (CINCOTTO, 1995).

A avaliação de aderência dos revestimentos é feita através de ensaios destrutivos de resistência de aderência, por tração ou cisalhamento, de corpos de prova cortados transversalmente nos revestimentos obtendo-se valores de resistência à tração ou ao cisalhamento, dependendo da direção de sollicitação (NBR13528/10; ABNT, 2010).

3.5.1 Resistência de aderência à tração

A resistência de aderência à tração representa a máxima tensão que um revestimento suporta quando submetido a um esforço normal de tração (ABNT, 2010). No Brasil, esse ensaio é o mais utilizado para se mensurar o desempenho mecânico do revestimento em argamassas e sistemas de revestimento cerâmico, quando não é o único (PAES e GONÇALVES, 2009). As condições de ensaio e limites de aceitação estão definidas nas normas NBR13528 (ABNT, 2010) que estabelece aos limites mínimos de 0,3 MPa para argamassas em revestimentos externos e para cerâmicas, sendo o valor de 0,2 MPa para revestimentos internos de paredes.

Esse ensaio para avaliação de aderência de argamassa colante consiste em na preparação do sistema substrato/argamassa/cerâmica. São executados 10 corpos de prova, após o assentamento da placa, espera-se 28 dias para o arrancamento da mesma. Aplica-se uma força de tração com a máquina até a ruptura, registra-se o valor da carga máxima e analisa-se o local da ruptura NBR14081/10 (ABNT, 2012).

3.5.2 Resistência de aderência ao cisalhamento

A resistência de aderência ao cisalhamento não possui normatização no Brasil. É um ensaio pouco explorado nacionalmente e internacionalmente, por isso alguns estudos utilizam as normas da RILEM (“Reunion Internacional dês Laboratories D’essais et Materiaux” – “Internatonal Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures”). Existem duas normas para a medição da resistência de aderência ao cisalhamento em argamassas, sendo a MR-14 a que define o método por corte e a MR-20 por torção. Alguns trabalhos nacionais como a CANDIA e FRANCO (1998) e DUJAB (2000), utilizaram essas normas. DUJAB (2000) utilizou um torquímetro baseado na RILEM MR-20 em seu ensaio. Já CANDIA e FRANCO (1998), desenvolveram um equipamento para a execução do ensaio, que consiste em um braço de alavanca para atender os critérios da MR-14.

Outras normas internacionais de resistência ao cisalhamento são apontadas por MATSUSATO (2007):

As normas americanas ANSI (“American National Standards Specifications”):

- A118. 1 (ANSI, 1999a) para sistemas baseados em argamassa de assentamento comum; A118.4 (ANSI, 1999b) para sistemas baseados em argamassa de assentamento modificada com polímeros.

As normas ANSI 118.1 e 118.4 apresentam valores de resistência ao cisalhamento para sistemas de assentamento com argamassa em condições de cura diferentes dos aplicados neste estudo, que se utilizou de parâmetros de cura estabelecidos para os requisitos de ensaio de tração da norma brasileira. Estabelecendo-se então condições aproximadas, as normas ANSI citadas estabelecem requisitos de cura ao ar com valor mínimo de 0,7MPa; para a condição de cura submersa este valor é de 1,4MPa e para a cura em estufa este valor é de 1,0MPa. Todos estes valores foram estabelecidos considerando-se o material porcelanato (que possui absorção de água de 0 a 0,5%);

A norma australiana, AS (“Australian Standards”):

- AS 2358 (1990) que define basicamente dois tipos de assentamento colante, uma a base orgânica e outra cimentícia.

A norma australiana, AS 2358 (1990) define as exigências mínimas de cisalhamento de 1,0MPa em condições sem envelhecimento e de 0,3MPa após 5 ciclos de envelhecimento, para os 2 tipos de material de assentamento.

3.5.3 Resistência de aderência ao cisalhamento em relação à resistência de tração

Segundo SELMO (1989), a aderência é caracterizada pela conjugação de duas propriedades, a resistência de aderência à tração e a resistência de aderência ao cisalhamento. Quando a resistência de aderência ao cisalhamento é baixa, o espaçamento entre fissuras aumenta com riscos de descolamento do revestimento. Assim para garantir a durabilidade de aderência, deve-se procurar igualar a resistência de aderência ao cisalhamento à resistência de tração da argamassa, diminuindo o espaçamento entre fissuras.

JOISEL (1981) propõe níveis de aderência de acordo com a relação entre a resistência à tração da argamassa (σ_{tu}) e a resistência de aderência ao cisalhamento do revestimento (τ_{tu}). A tabela a seguir foi realizada com base nas teorias de JOISEL, para classificar esses níveis de aderência. (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 Classificação dos níveis de aderência
(Fonte: JOISEL, 1981)

ADERÊNCIA	σ_{tu}/τ_{tu}
Perfeita	~1
Média	~3
Fraca	~6

3.5.4 Formas de ruptura

Diferentes tipos de ruptura (Figura 3.20) podem ocorrer em um ensaio de resistência de aderência à tração ou cisalhamento, que evidenciam processos diferentes: ao romper na interface cerâmica-sistema de assentamento, mensura-se a real grandeza da aderência; do contrário, ocorrem falhas por coesão dos materiais utilizados, evidenciando que a resistência de aderência verdadeira é maior que aquela medida (CARASEK, 2001), ou falha adesiva na interface substrato/material de assentamento.

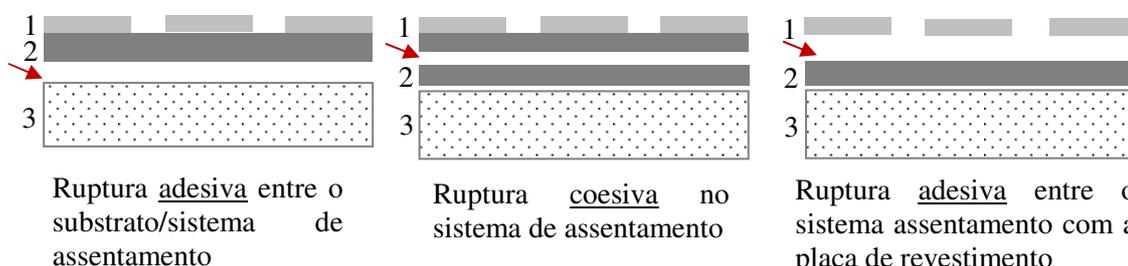


Figura 3.20 Avaliação do tipo de ruptura (1) cerâmica (2) material de assentamento (3) substrato.

3.6 Métodos de Ensaio

A. Determinação do ângulo de contato

Segundo QUEIROZ (1996) a partir da medição do ângulo de contato pode-se estimar a tensão superficial de um sólido e determinar o grau de molhabilidade deste sólido por determinado líquido. O método consiste na medida do ângulo de contato θ que forma quando uma gota de líquido é colocada sobre a superfície do sólido.

A partir da Equação de Young (Equação 3.1) é possível obter a relação entre o ângulo de contato (θ) e as tensões superficiais.

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta \quad (\text{Equação 3.1})$$

Sendo:

γ_{sv} Tensão superficial da interface sólido vapor;

γ_{sl} Tensão superficial da interface sólido líquido;

γ_{lg} Tensão superficial da interface líquido vapor;

θ_c Ângulo de contato

Onde γ_{sv} , γ_{sl} e γ_{lv} , é a tensão superficial sólido-vapor, sólido-líquido e líquido-vapor, respectivamente (Figura 3.21)

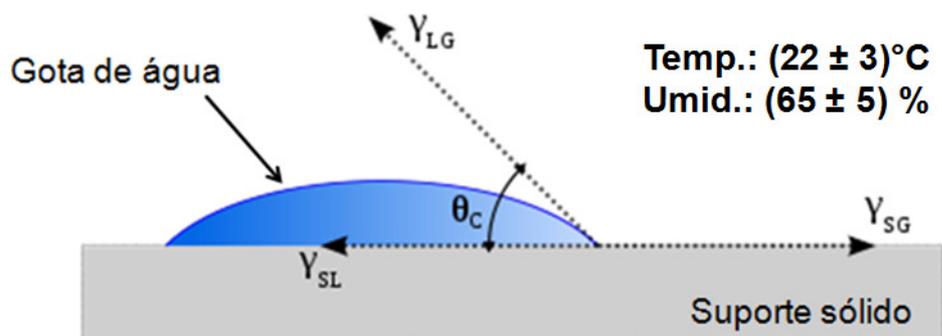


Figura 3.21 Modelo da medição do ângulo de contato e a relação entre as tensões superficiais.

(Adaptado de BRUTIN et al., 2009).

O ângulo de contato nos proporciona uma medida da energia de superfície do sólido, valores de ângulo de contato inferiores a 90° , indicam um sólido com uma superfície hidrofílica. Valores de ângulo de contato superiores a 90° são características de superfícies hidrofóbicas (PIRES et al., 2009).

B. Absorção de água de placas cerâmicas (ABNT, 1997c)

O ensaio de absorção de água consiste em analisar qual o percentual de absorção de água dos corpos de prova. Para a realização desse ensaio os corpos de prova devem ser secos em uma estufa até que atinjam massa constante, logo após, são resfriados em dessecador até atingir a temperatura ambiente. Em seguida, as amostras devem ser pesadas.

As amostras são imersas em água de forma que a água fique 5cm acima das mesmas, devendo manter este nível durante todo o ensaio. A água será aquecida até levantar fervura, a ebulição será mantida durante 2 horas. Após este procedimento os corpos de prova são colocados sob circulação de água na temperatura ambiente até que as

amostras entrem em equilíbrio, sendo então secas com uma flanela e logo em seguida pesadas. Para medir a absorção utiliza-se a Equação 3.2.

$$Abs = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Onde:

m_1 é a massa seca, em gramas;

m_2 é a massa saturada em gramas.

C. Resistência à flexão de placas cerâmicas (ABNT, 1997c)

O ensaio de resistência à flexão consiste em analisar a resistência do material quando submetido a uma força de flexão. Para a realização desse ensaio, as amostras devem passar por uma limpeza rigorosa, removendo qualquer partícula aderida no verso da placa. Após este procedimento, as mesmas são colocadas em estufa para retirar qualquer umidade absorvida devendo ser ensaiadas até 28 horas após o começo do aquecimento. As amostras serão colocadas sobre os apoios com a superfície de uso para cima. Uma força gradativa é aplicada a fim de obter uma velocidade de carga de $1,0 \pm 0,2$ MPa.

D. Dureza “Shore A” (ABNT, 1982)

O ensaio de dureza analisa a resistência à deformação permanente da sua superfície. Pode ser executado por duas formas diferentes: a Shore A que é utilizada para materiais mais flexíveis e a Shore D usado para materiais mais rígidos.

O corpo de prova é colocado em uma superfície rígida, regular, horizontal e plana. O durômetro é posicionado na direção vertical, a ponta do penetrador deve estar a pelo menos 12mm da borda do corpo de prova. Aplica-se uma pressão suficiente para obter um contato íntimo entre base e o corpo de prova, efetua-se a leitura após 15 ± 1 s.

E. Resistência à Tração de elastômeros

O ensaio de resistência à tração analisa a resistência do material quando o mesmo é submetido a uma força de tração. A resistência à tração é de modo geral, a capacidade relativa dos materiais de resistirem a tensões estáticas aplicadas. Através do ensaio é possível determinar a deformação do material anteriormente a sua ruptura.

A NBR 7452 prescreve método para a determinação da resistência à tração de elastômeros vulcanizados flexíveis. O ensaio consiste em submeter um corpo-de-prova, conforme a NBR 9952, a uma solicitação de tração até a ruptura, registrando-se a carga em função da deformação.

F. Resistência de aderência à tração de argamassa colante

Segundo a NBR 14081-4 (ABNT, 2012d), o ensaio de resistência de aderência à tração visa à determinação da resistência a aderência, medida através de arrancamento por tração simples para argamassa colante industrializada destinada ao assentamento de placas cerâmicas em pisos e paredes pelo método da camada fina.

Para a execução do mesmo, utiliza-se uma máquina para o arrancamento por tração que permita uma velocidade de carregamento uniforme de $(250 \pm 50) \text{N/s}$, peças metálicas de seção quadrada com 50mm de aresta possuindo um dispositivo no centro da face para acoplamento da máquina, tanque de imersão e estufa com ventilação forçada.

Esse ensaio consiste na preparação do sistema substrato padrão/argamassa/cerâmica e posterior aplicação desse uma força de tração até a ruptura. Deve-se registrar o valor da carga máxima e analisar local da ruptura. Para o cálculo da tensão utiliza-se a Equação 3.5:

$$f_t = \frac{T}{A} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Onde:

f_t – Tensão de ruptura (MPa);

T – Força da ruptura (N);

A – Área da placa (mm^2).

G. Difração de raios X

Difração de raios X (XRD – X-Ray Diffraction) é uma técnica de análise de recobrimento e de volume que relaciona propriedade à estrutura e ao processamento propiciando informações a cerca da cristalografia de materiais (MANSUR, 2001).

A caracterização da estrutura cristalina de um material estabelece-se por meio da difração de raios-X. A Figura 3.22 ilustra as interferências ocorridas pelo fenômeno de difração sofrido por um feixe paralelo propagante, os raios são colimados e direcionados para o material em análise. Ao interagir com o material, observa-se a difração na ocorrência da interferência construtiva entre os raios difratados (MANSUR, 2005).

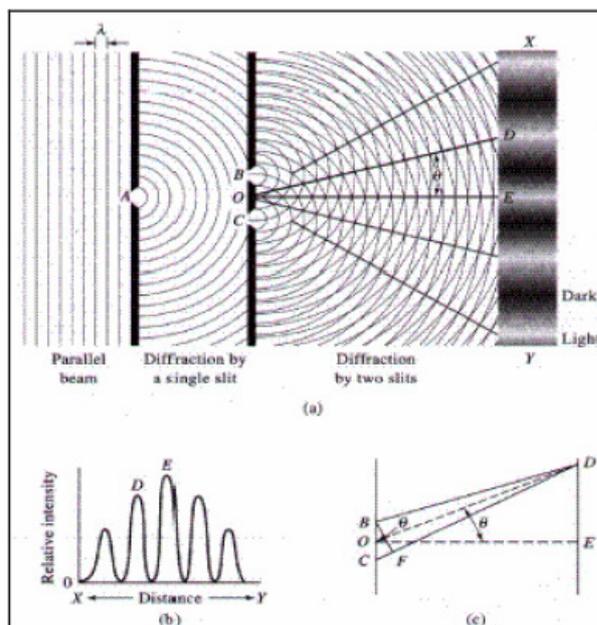


Figura 3.22 Ilustração do fenômeno de difração de um feixe de radiação eletromagnética que propaga, com detecção das interferências e mudanças de direção. (Fonte: MANSUR, 2005).

H. Espectroscopia de Infravermelho

A absorção de radiação infravermelha está muito restrita a espécies moleculares que têm diferenças de energia pequenas entre vários estados vibracionais e rotacionais. As moléculas absorvem a radiação na faixa de comprimento de onda (λ) de 0,78 a 1000 μm , sendo esta faixa dividida em infravermelho próximo, médio e distante sob o ponto de vista da aplicação e instrumentação (ORÉFICE et al., 2006). A Tabela 3.7 apresenta as regiões do espectro de infravermelho.

Tabela 3.7 Regiões do espectro de infravermelho
(Fonte: ORÉFICE et al., 2006)

Região do infravermelho	Comprimento de onda (μm)	Número de onda (cm^{-1})
Próximo	0,78 – 2,5	12800- 4000
Médio	2,5 - 50	4000-200
Distante	50 - 1000	200-10

Há dois grupos de vibrações moleculares: os de estiramento e os de deformação, resultando em seis tipos de vibração, conforme Figura 3.23 (UNIVERSITY OF COLORADO, 2012).

Se a frequência da radiação coincidir exatamente com a frequência vibracional natural da molécula, ocorre uma transferência tem-se a absorção desta energia, causando a alteração na amplitude da vibração molecular e consequente mudança no momento de dipolo da molécula. Dessa forma, é possível associar as faixas de comprimento de onda com grupos químicos ativos (MICHIGAN STATE UNIVERSITY, 2012).

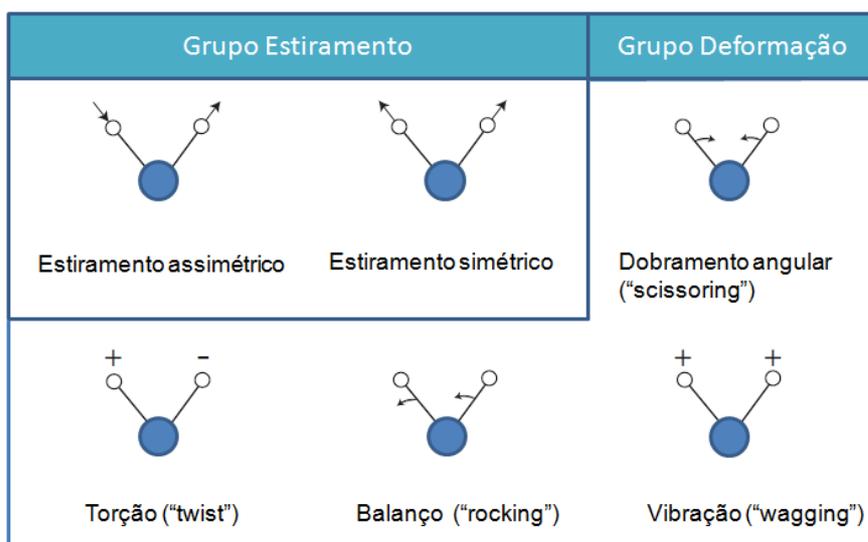


Figura 3.23 Representação esquemática dos modos de vibração moleculares. (Adaptado de: UNIVERSITY OF COLORADO, 2012).

A Tabela 3.8 apresenta exemplos das regiões de absorção de infravermelho para grupos vibracionais importantes.

Tabela 3.8 Regiões de absorção de IR para diferentes grupos vibracionais

Grupo vibracional	Região de absorção (cm^{-1})	Referência
C=N	1634	COSTA-JR et al., 2009
NH ₂	1650-2550	COSTA-JR et al., 2009
C=O	1720	MANSUR et al, 2008
SH	2550	ANDRADE et al, 2006
CH	3000-2850	COSTA-JR et al., 2009
NH	3500-3200	COSTA-JR et al., 2009
OH	3700-3000	MICHIGAN STATE UNIVERSITY, 2012

I. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) permite a obtenção de imagem ampliada e tridimensional da amostra a partir da interação de um feixe de elétrons com o material, desde que este não seja transparente aos elétrons (ROCHA, 2006). Podendo

apresentar características importantes, como porosidade e material impregnado na superfície de colagem.

Os microscópios eletrônicos de varredura proporcionam imagens com alta resolução (até 0,5nm) e profundidade de campo, possibilidade de aumento dezenas de milhares de vezes (ROCHA, 2006).

J. Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)

A espectroscopia de energia dispersiva fornece informações químicas em áreas da ordem de grandeza de micrômetros. Em síntese, a amostra é bombardeada com um feixe de elétrons que remove elétrons de uma camada interna dos átomos de sua superfície (K, L, M e N). Estes átomos ficam numa condição excitada, permitindo que elétrons de camadas mais energéticas decaiam e ocorra a emissão de raios X, com energias definidas e específicas para os elementos (GOLDSTEIN et al., 2002).

Os raios X emitidos pela amostra são detectados através de um sensor semiconductor e um analisador multicanal que converte a energia dos raios X em uma contagem eletrônica. O valor acumulado desta contagem resulta num espectro que representa a análise química da amostra (ORÉFICE et al., 2006).

3.7 Propriedades dos Polímeros

Como o objetivo desse estudo envolve o uso de uma manta polimérica, serão discutidos aspectos da composição de polímeros e fatores que possam influenciar sua utilização.

3.7.1 Polímeros

Polímero se classifica como substância constituída de moléculas caracterizadas pela repetição de umas ou mais espécies de átomos ou grupos átomos (unidades constitucionais) ligados uns aos outros em quantidade suficiente para fornecer um

conjunto de propriedades que não variam acentuadamente com a adição ou remoção de uma ou algumas unidades constitucionais de suas moléculas (ANDRADE et al, 2001).

A inter-relação entre diversos setores produtivos leva o segmento de polímeros a se estruturar sob uma ótica complexa, sua caracterização é intensiva em capital, matérias-primas e tecnologia. As características apresentadas em cada tipo de polímero são potencializadas a cada dia, tornando-o um produto substitutivo para os que antes eram feitos de materiais não renováveis. Prova disso é a utilização de tubos hidráulicos nas construções no lugar dos tubos galvanizados, e a peças automotivas antes feitas de metais agora são de polipropileno (ANDRADE et al, 2001).

3.7.1.1 Polietileno

Uma molécula de polietileno de massa molar ultraelevado ou polietileno convencional consiste de numerosas unidades de repetição de monômeros- etileno. A estrutura principal da molécula é a ligação covalente C-C. No estado sólido, as moléculas são arranjadas nas regiões ordenadas e desordenadas, isto é, região cristalina e amorfa (WANG et al., 1998; RIMNAC et al., 2005).

A estrutura de cada polímero tem influência direta sobre a sua densidade e suas propriedades mecânicas. Ramificações longas, como os presentes no polietileno de baixa densidade, aumentam a resistência ao impacto, diminuem a densidade e facilitam o processamento, enquanto que as ramificações curtas, presentes no polietileno linear de baixa densidade, aumentam a cristalinidade e a resistência à tração em relação ao polietileno de baixa densidade (LAGE, 2007). A Figura 3.24 mostra a fórmula estrutural do polietileno. A Tabela 3.9 apresenta as propriedades dos tipos de polietileno.

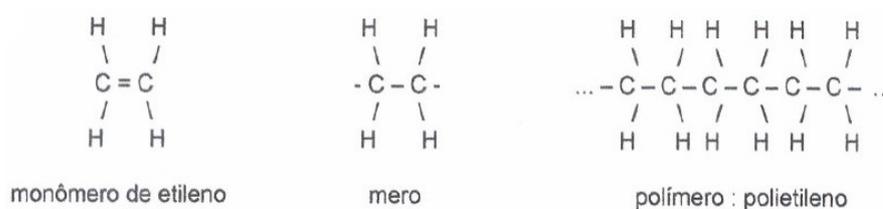


Figura 3.24 Fórmula estrutural do polietileno.
(ROCHA, 2006).

Tabela 3.9 Propriedades dos tipos de polietileno
(Fonte: COUTINHO, 2003; ALMEIDA, 2006; DIAS, 2007)

Propriedades	Tipos			
	Polietileno de alta densidade altamente linear	Polietileno de alta densidade baixo grau de ramificação	Polietileno de baixa densidade	Espumas de polietileno de baixa densidade
Densidade, g/cm ³	0,962-0,968	0,950-0,960	0,912-0,925	0,79
Temperatura de fusão cristalina, °C	128-135	125-132	102-112	110-125
Alongamento no escoamento, %	5-8	10-12	6,2-11,5	-
Resistência a tração, MPa	25-45	20-40	100-800	0,83-0,91
Alongamento máximo, %	50-900	50-1200	6,9-16	380,25-402,61
Módulo de elasticidade, MPa	900-1200	800-900	102-240	-
Dureza, Shore D	60-70	50-60	40-50	-
Dureza, Shore A	-	-	-	24-33

3.7.1.2 Polimetacrilato

É obtido a partir do metacrilato de metila (metil-acrilato de metila). Este polímero é muito resistente e possui ótimas qualidades óticas, e por isso é muito usado como "vidro plástico", conhecido como *plexiglar* ou *luciter*. Sua temperatura de fusão cristalina é de 160°C. É muito empregado na fabricação de lentes para óculos infantis e para-brisas de aviões. Normalmente o polimetacrilato é transparente, mas pode ser colorido pela adição de outras substâncias (SANTOS, 2005). A Figura 3.25 apresenta a fórmula estrutural do polimetacrilato.

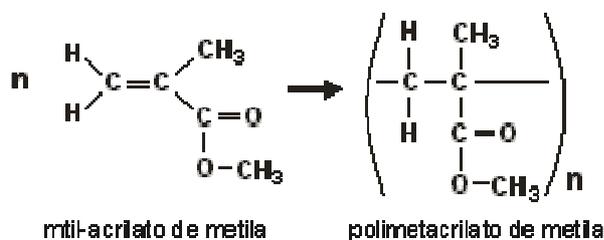


Figura 3.25 Fórmula estrutural do polimetacrilato.
(SANTOS, 2005).

3.7.2 Adesivos

Os adesivos podem ser classificados em duas principais famílias: adesivos estruturais e adesivos não estruturais. O primeiro é utilizado quando se necessita de grande performance de aderência, como reparos estruturais. Já o segundo, possuem moderado nível de força coesiva e moderada resistência nas condições ambientais de serviço, são normalmente fáceis de utilizar. Em função de suas características, muitos adesivos não estruturais são utilizados em linhas de união rápida, tornando-se os de maior uso, abrangendo desta forma a maior porção do mercado de adesivos, como a indústria de calçados, automotiva e da construção civil (PINTO et al, 2011).

Os tipos mais conhecidos de adesivos não estruturais são os seguintes:

- a) adesivos PSA (“Pressure Sensitive Adhesives” - Adesivos Sensíveis à Pressão),
- b) adesivos de contato,
- c) emulsões termoplásticas e elastoméricas,
- d) adesivos “*hot melt*”, adesivos sólidos, feitos com polímeros termoplásticos que apresentam ou não pegajosidade (“*tack*”) e que são aplicados no estado fundido, ganhando resistência à medida que se solidificam (POCIUS,2002).

Na família dos adesivos não estruturais sintéticos, estão ainda os de base aquosa, de base solvente, ou os adesivos sólidos e ainda existem duas maneiras de melhorar a viscosidade para uso de um adesivo:

- Aquecer o adesivo para reduzir a viscosidade e a tensão em sua superfície. Este procedimento normalmente é inadequado para alguns tipos de cura do adesivo;
- Adicionar surfactante para reduzir a tensão superficial do líquido adesivo, o uso abusivo de surfactantes pode levar ao enfraquecimento da união adesiva.

3.7.3 Influência da temperatura em polímeros

CHEW e seus colaboradores (2010) aplicaram técnicas de FTIR para caracterização da estrutura química de polímeros de poliuretano utilizado em fachadas. Estas técnicas

Segundo MANSUR (2007) as dispersões poliméricas aquosas ou látices poliméricos consistem de pequenas partículas de polímero (0,05 – 5 μ m) dispersas em água, usualmente obtidas por polimerização por emulsão. O total de sólidos destes materiais, incluindo polímeros e aditivos, está compreendido entre 40-50%, em peso. A maior parte destes látices é baseada em elastômeros e em polímeros termoplásticos que formam filmes contínuos após a sua secagem.

Os polímeros redispersíveis em pó são obtidos a partir de uma polimerização por emulsão seguida de um processo de secagem em um atomizador de partículas (spray-drier), que permite a remoção da água deixando o polímero na forma de um pó. Devido a ação dos surfactantes utilizados no processo de emulsão e secagem (usualmente PVA), quando o polímero é colocado na água sob agitação ele se redispersa com a fragmentação das partículas, fazendo com que estas adquiram menores tamanhos da ordem de 1 – 10 μ m. Em seguida com a posterior saída da água, as partículas coalescem formando o filme polimérico (MANSUR apud OHAMA, 1998; SILVA e ROMAN, 2001; PAKUSCH et al., 2004). A Figura 3.27 apresenta a representação esquemática e uma imagem de microscopia de fluorescência, que exemplificam os conceitos de tamanho de partícula do polímero em pó e do látex correspondente após redispersão.

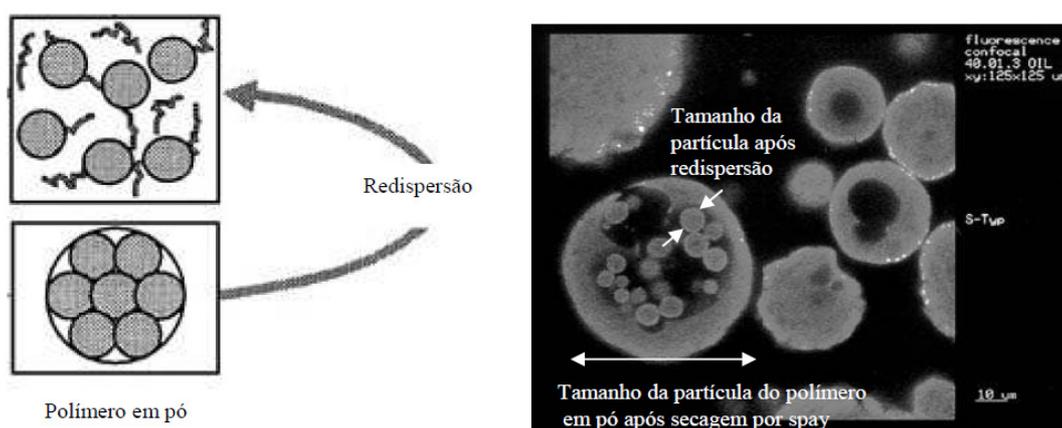


Figura 3.27 (a) Representação esquemática do processo de redispersão (b) imagem de microscopia de fluorescência para um polímero em pó redispersível. (MANSUR, 2004).

FRIGONE et al (2006) avaliaram a força de união de adesivos usados na construção civil e apresentam que a presença da água pode trazer mudanças estruturais

indesejáveis, a umidade é provavelmente o mais perigoso agente ambiental para os adesivos.

Em sistemas de assentamento utilizando-se de argamassa, pode-se dizer que a mesma é, tecnicamente, um material adesivo; e que seu objetivo mais importante é a aderência forte, total e durável com a unidade de alvenaria, sendo que todas as outras propriedades (incluída a resistência à compressão) são ocasionais (GALLEGOS, 1995).

O contato correto entre interfaces é importante para o desenvolvimento da aderência entre as superfícies a serem unidas; para tanto, deve-se ter um bom espalhamento do adesivo na superfície sólida, com pouca presença de ar e outros contaminantes. Deve-se considerar também: o equilíbrio hidrotérmico, a cinética da molhagem, os detalhes da operação de aderência e a energia superficial livre (KINLOCH, 1987, MENDES, 1999).

3.8 Sustentabilidade

Segundo CSILLAG (2007), a população continua crescendo e estima-se que, em 2025, a população mundial chegará a 8 bilhões de habitantes, sendo que, desse aumento, 98% ocorrerá em países em desenvolvimento. Com isso, principalmente nesses países, o ambiente construído continua crescendo incluindo o setor da construção civil. Calcula-se que até 2032 aproximadamente 70% da superfície do planeta e sua vida selvagem será impactada, caso nada seja feito para impedir. A construção civil é um dos setores mais impactantes para o meio ambiente e, por essa razão, há uma grande necessidade de práticas construtivas sustentáveis. O desenvolvimento sustentável é uma proposta de ação para a sociedade enfrentar esse desafio.

O conceito de desenvolvimento sustentável vai além da proteção ambiental. Seu significado implica na preocupação pelas gerações futuras e a manutenção ou melhoria da salubridade e integridade do ambiente a longo prazo. O desenvolvimento sustentável possui três dimensões: econômica, social e ambiental (CSILLAG, 2007).

3.8.1 Construção Sustentável

A América Latina ainda não possui um sistema de avaliação de sustentabilidade para construções. Segundo SILVA (2005), no Brasil, alguns órgãos escolhem sistemas de avaliação de sustentabilidade de outros países para se nortear, tais como os sistemas:

- Inglês BREEAM (“Building Establishment Assessment Method”);
- Americano LEED (“Leadership in Energy and Environmental Design”);
- Francês HQE (“Haute Qualité Environnementale”);
- Japonês CASBEE (“Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency”).

O governo brasileiro está desenvolvendo um sistema de avaliação de sustentabilidade. Esse sistema sugere caminhos para a definição de diretrizes, práticas e prioridades que façam da construção sustentável uma realidade no Brasil. Suas proposições foram formuladas a partir de diálogos estabelecidos entre a cadeia produtiva da construção e especialistas de diferentes áreas. O documento que descreve o sistema apresenta sete temas de abordagem e seus respectivos objetivos e ações (CNI, 2012) e foi apresentado na Rio+20. Os objetivos listados são:

- Utilização racional da água;
- Valorização do ser humano;
- Maximização da eficiência energética;
- Utilização dos materiais e sistemas sustentáveis;
- Adaptação do ambiente Construído;
- Redução de gases de efeito estufa na cadeia produtiva;
- Diminuição do consumo de recursos naturais.

3.8.2 Materiais e Sistemas

Todo o exercício da cadeia produtiva da construção desde a preparação de atividades iniciais como terraplanagem à produção, a manutenção e o uso efetivo de instalações e edificações depende de um fluxo constante de materiais e sistemas. É estimado que esse setor consome de 40% a 75% dos recursos naturais existentes (CNI, 2012). Esse não é o

único impacto previsto nesse setor já que toda cadeia e o ciclo de vida do material causam danos ao meio ambiente, fabricação, transporte e alguns materiais apresentam emissão de gases no uso e no pós-uso da obra, como por exemplo a emissão do gás CO_2 .

As emissões de CO_2 acumuladas na atmosfera têm aumentado devido à industrialização que está associada com o crescimento contínuo das economias, isso resulta em uma crescente demanda mundial por novos materiais de construção que, por sua vez deve minimizar o seu impacto sobre o clima global. A Figura 3.28 apresenta o ciclo do carbono (STACHERA, 2008).

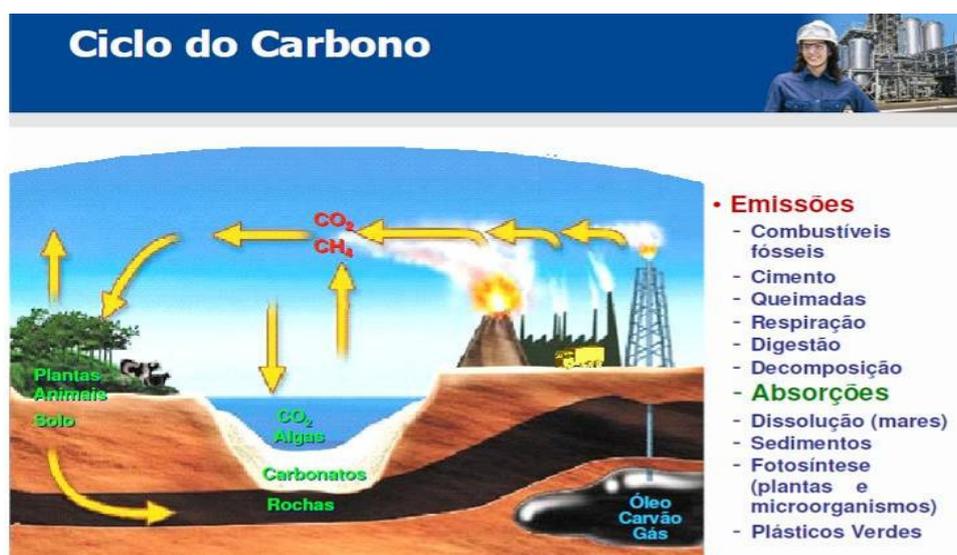


Figura 3.28 Ciclo do carbono.
(Fonte: BRASKEM).

Alguns materiais na construção civil são responsáveis pela alta porcentagem de CO_2 emitido no país, seja em sua fabricação ou na retirada do material da natureza, são eles, cimento, cal, aço (ferro), areia, brita e tijolos cerâmicos. (JOHN, 2005). STACHERA (2008) em seu artigo elaborou a relação da produção de CO_2 para cada material, a Tabela 3.9 apresenta a quantidade de CO_2 emitido pelos materiais relacionados.

Tabela 3.10 Emissão de CO₂ emitido por cada material
(Fonte: STACHERA, 2008)

Material	Quantidade	Produção de CO ₂ (kg)
Cimento	50kg	48,44
Cal	20kg	15,71
Tijolos Cerâmicos	1 unidade	0,95
Aço	1kg	1,45
Areia	1m ³	22,62

Os resíduos gerados mundialmente pela construção e demolição, são estimados entre 163 a 3658kg per capta, 400kg per capta é o valor típico de resíduos domésticos sólidos (JOHN, 2000).

3.8.3 Melhoria para sustentabilidade

3.8.3.1 Cimento com adição de escória

Com o objetivo de criar um mundo mais sustentável, engenheiros e cientistas têm de desenvolver e colocar em uso de materiais ecológicos de construção que pode revolucionar a indústria da construção inteira. Uma alternativa é a utilização de materiais suplementares de cimento (pozolanas, escória de alto forno, cinzas, entre outros) como substitutos de clínquer. A adição destes materiais no concreto não só reduz a quantidade de material de aterro (no caso de subprodutos industriais), mas também reduz a quantidade de clínquer necessária por tonelada de cimento produzido (HUNTZINGER, 2009).

3.8.3.2 Polietileno de origem biomassa

Empresas utilizam compostos orgânicos proveniente da cana de açúcar para produzir polietileno, esse procedimento reduz a emissão de CO₂ na atmosfera devido à plantação de cana. Por ser uma matéria prima abundante no país, seu custo de produção é menor. A Figura 3.29 apresenta a diferença da quantidade de CO₂ emitida para a produção do plástico na rota petroquímica e na rota alcoolquímica.

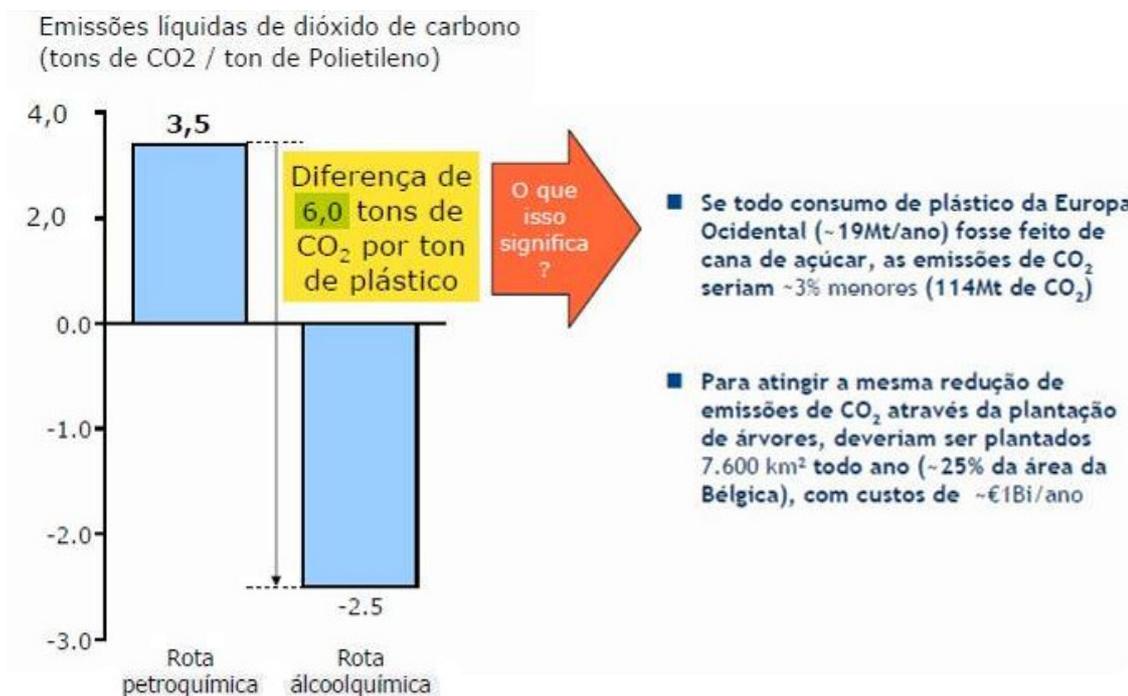


Figura 3.29 Redução da emissão de CO₂ utilizando produto a base de biomassa.
(Fonte: BRASKEM).

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para melhor entendimento do procedimento experimental, a Figura 4.1 apresenta o fluxograma da pesquisa com suas principais entradas e saídas. A Figura 4.2 mostra a representação esquemática dos sistemas estudados.

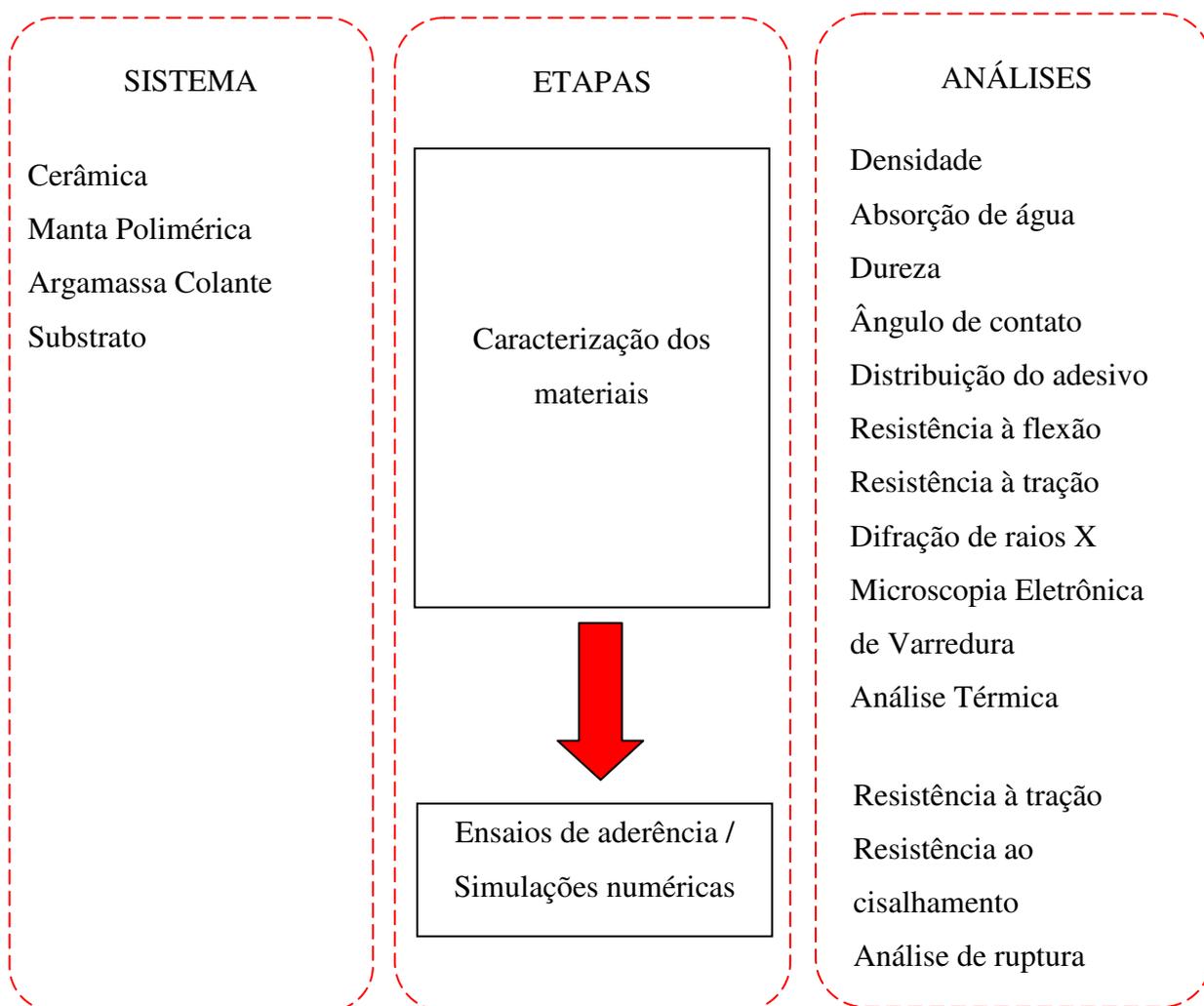


Figura 4.1 Representação das etapas fundamentais abordadas neste trabalho.

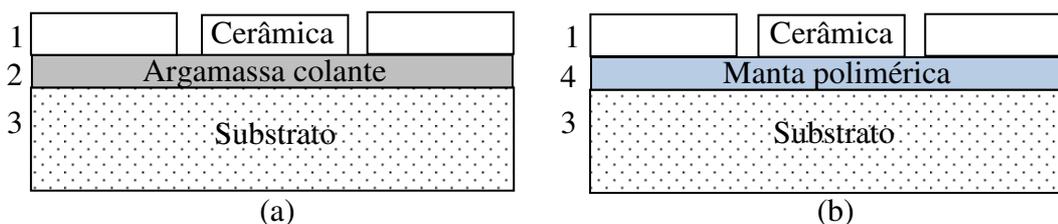


Figura 4.2 Sistemas em estudo (a) 1- cerâmica, 2- argamassa colante, 3- substrato (b) 1- cerâmica, 4- manta polimérica adesiva, 3- substrato.

4.1 Caracterização dos Materiais

4.1.1 Placa cerâmica

A Figura 4.3 apresenta as etapas realizadas para a caracterização da placa cerâmica.

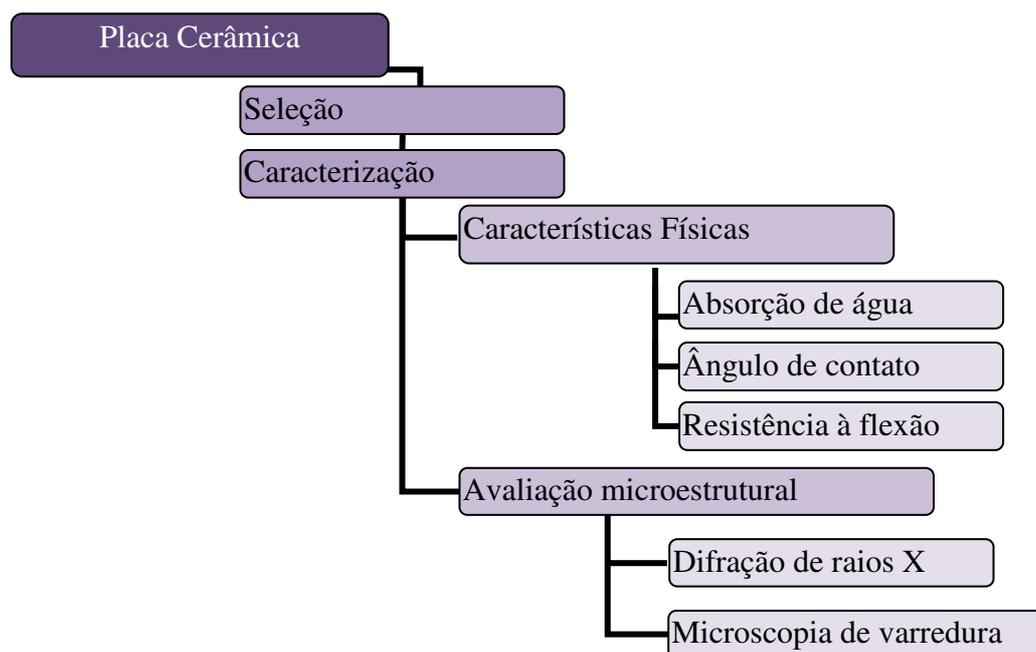


Figura 4.3 Fluxograma do procedimento experimental na placa cerâmica.

Foi selecionada a placa cerâmica do grupo BIa (Porcelanato - absorção 0% a 0,5%) em função da tipologia da superfície do material e as dificuldades de colagem por mecanismos de aderência mecânica conforme citado por CASASEK (2001). Outro fator relevante para a escolha dessa cerâmica foi o crescimento da produção e utilização deste tipo de material cerâmico como revestimento e para revitalização de ambientes (ABADIR et al. 2002; LEONELLI et al., 2001; ALMEIDA e SICHIERI, 2005). A Figura 4.4 mostra as superfícies da placa escolhida.

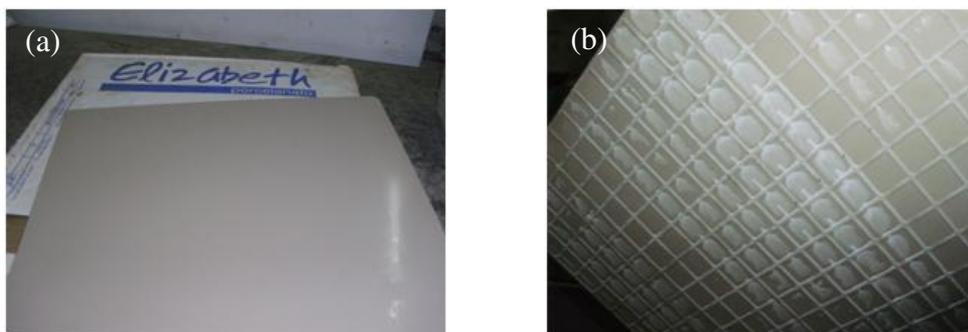


Figura 4.4 Placa cerâmica (porcelanato) selecionada para estudo (a) lado polido, (b) verso da placa (tardoz).

As placas cerâmicas foram adquiridas em lojas especializadas em revestimento apresentando as seguintes características, conforme informado na embalagem do produto:

- tipo: Porcelanato Elizabeth damasco polido;
- fabricante: Elizabeth Porcelanato, Lote: 20060971;
- dimensões: 498 mm x 498 mm x 07 mm;
- grupo de absorção de água: BIa.
- acabamento da superfície: UGL.

De acordo com estas características, utilizando a norma NBR 13817/97 (Placas cerâmicas para revestimento – Classificação), pode-se considerar que se trata de uma placa cerâmica de revestimento produzida por prensagem (B), com absorção de água inferior a 0,5% (Ia) e acabamento da superfície não esmaltada (UGL).

4.1.1.1 Caracterização Física

A. Determinação do ângulo de contato

A molhabilidade depende essencialmente da estrutura química da superfície e da sua rugosidade. Desta forma, o ângulo de contato pode ser útil como medida de limpeza de superfícies ou para identificar se um tratamento químico foi executado com sucesso.

O ensaio realizado consiste na aplicação de uma gota de 50 μ l de volume de água com microseringa na superfície do porcelanato. O ângulo de contato foi obtido através de

fotografias digitais capturadas após a aplicação do líquido. Todas as imagens foram realizadas dentro do tempo máximo de 1 minuto após a aplicação da microgota, usando uma câmera digital SONY DSC-H50. As medições foram conduzidas em condições monitoradas de umidade relativa ($65 \pm 5\%$) e temperatura ambiente (22 ± 3)°C. Foram utilizados como resultados a média e o desvio padrão de seis tratamentos independentes ($n = 6$).

B. Absorção de água

Foi realizado o ensaio de absorção na placa de acordo com a NBR 13817/97, a mesma utilizada pelo fabricante, no intuito de comprovar a informação obtida na embalagem.

Neste ensaio foram utilizadas 10 amostras (placas inteiras de porcelanato - 498x498mm), elas foram colocadas em estufa a (110 ± 5)°C, sua massa inicial determinada e em seguida depois submersos em água em ebulição por 2 horas, uma lâmina de 5cm deve ser mantida acima da amostra durante todo o ensaio. Ao final desta etapa, as amostras devem ser colocados sob circulação de água na temperatura ambiente até que as amostras entrem em equilíbrio, sendo então secas com uma flanela e logo em seguida pesadas. A absorção de água deve ser calculada conforme descrito no item 3.6B (Equação 3.2).

C. Resistência à flexão

Foi realizado o ensaio de resistência à flexão no porcelanato conforme a NBR 13818. Inicialmente as amostras são colocadas em estufa a à uma temperatura de (110 ± 5)°C por no mínimo 2 horas, para retirada de umidade. Após o término deste intervalo, as mesmas são retiradas e estabilizadas a temperatura ambiente.

Para realização dos ensaios de flexão as amostras são colocadas sob apoios que são dimensionados conforme tamanho da placa. Como as amostras (placas cerâmicas) possuem dimensões de 498x498mm, as dimensões dos apoios foram:

- diâmetro da barra: 20mm;

- espessura da borracha: 5mm;
- saliência de apoio: 10mm.

Para a execução desse ensaio foram utilizadas 7 amostras, uma força gradativa é aplicada a fim de obter uma velocidade de carga de $1,0 \pm 0,2$ MPa/s até a ruptura da amostra. A carga de ruptura e o módulo de resistência à flexão devem ser calculados conforme descrito no item 3.6C.

4.1.1.2 Técnicas de características microestruturais

A. Difração de raios X

A placa cerâmica foi caracterizada através de difração de raios X (XRD) para identificação das fases cristalinas e semi cristalinas.

O ensaio foi realizado na temperatura de 22 ± 2 °C e umidade de 65 ± 5 %. Utilizou-se 3 amostras do material, esse foi cominuído até que 100% dele passassem na peneira de 200mesh. A difração de raios X foi realizada no material constituinte da manta na faixa de 2θ compreendida entre 3 a 70° com passo de 0,06°. Os equipamentos de raios X e o amostrador encontram-se ilustrados na Figura 4.5 (PW1710, Philips, $\text{CuK}\alpha$, $\lambda = 1,54056$ Å).

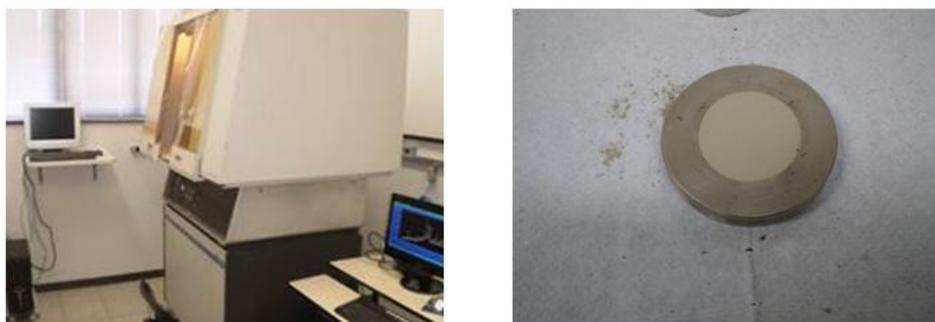


Figura 4.5 Equipamento de raios X e o amostrador para análise de difração de raios X (XRD).

A partir dos difratogramas obtidos, é possível promover a avaliação quantitativa da cristalinidade do material utilizando a partir da consideração do modelo de duas fases e

composto de cristais e regiões amorfas que define a separação da curva de difração em três regiões: cristalina, amorfa "background" (ruído de fundo).

Inicialmente, seleciona-se a região dos difratogramas que contém a maior partes dos picos e traça uma linha reta entre os ângulos limites escolhidos, definindo o background. Em seguida, as regiões consideradas amorfas e cristalinas ficam separadas através de uma linha que conecta os mínimos entre os picos correspondentes as reflexões cristalinas e que apresenta a forma que seria esperada se o material fosse completamente amorfo, conforme mostrado na Figura 4.6.

A partir das áreas dos difratogramas associadas as frações cristalina (A_c) e amorfa (A_a), calculada através do programa Microcal Origin® 6.1, pode ser estimado o grau de cristalinidade (GC) de um material.

$$GC = \frac{A_c}{(A_c + A_a)} * 100 \quad \text{(Equação 4.1)}$$

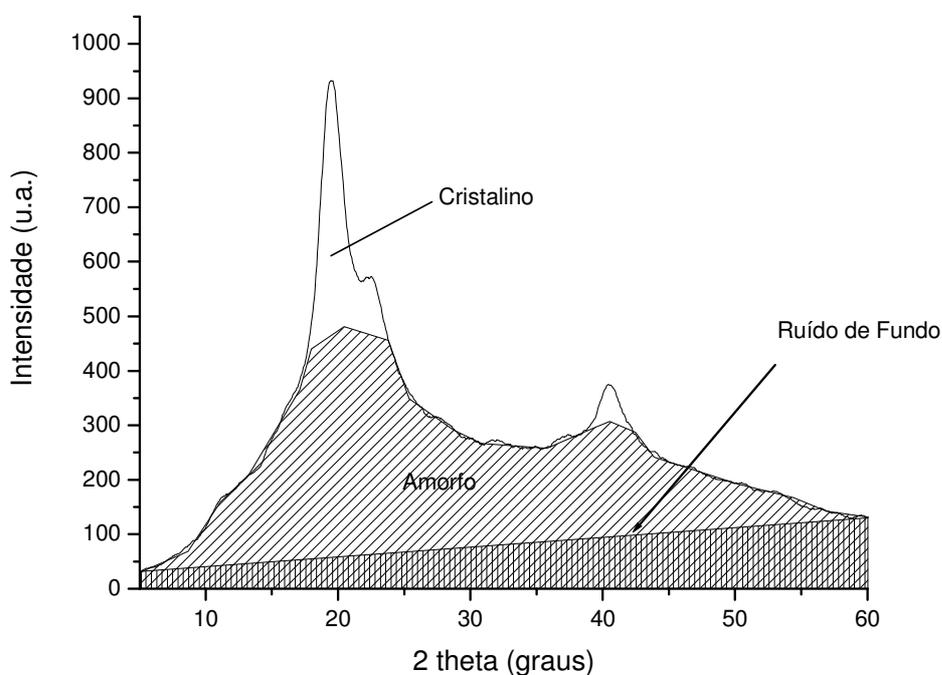


Figura 4.6 Exemplo da separação do difratograma nas três regiões: background, amorfo e cristalino.

(Fonte: MANSUR, 2007)

B. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada no material recoberto com ouro para torná-lo condutor, permitindo identificação da sua morfologia, porosidade e análise química EDS (“Energy Dispersive Spectrometry”).

Nesse ensaio a temperatura ambiente era de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e a umidade de $65 \pm 5\%$. As amostras submetidas a esta análise consistiam em fragmentos de cerâmica.

4.1.2 Manta Polimérica Adesiva de assentamento de placas (MaPA)

A Figura 4.7 apresenta as etapas realizadas para a caracterização da manta polimérica adesiva.

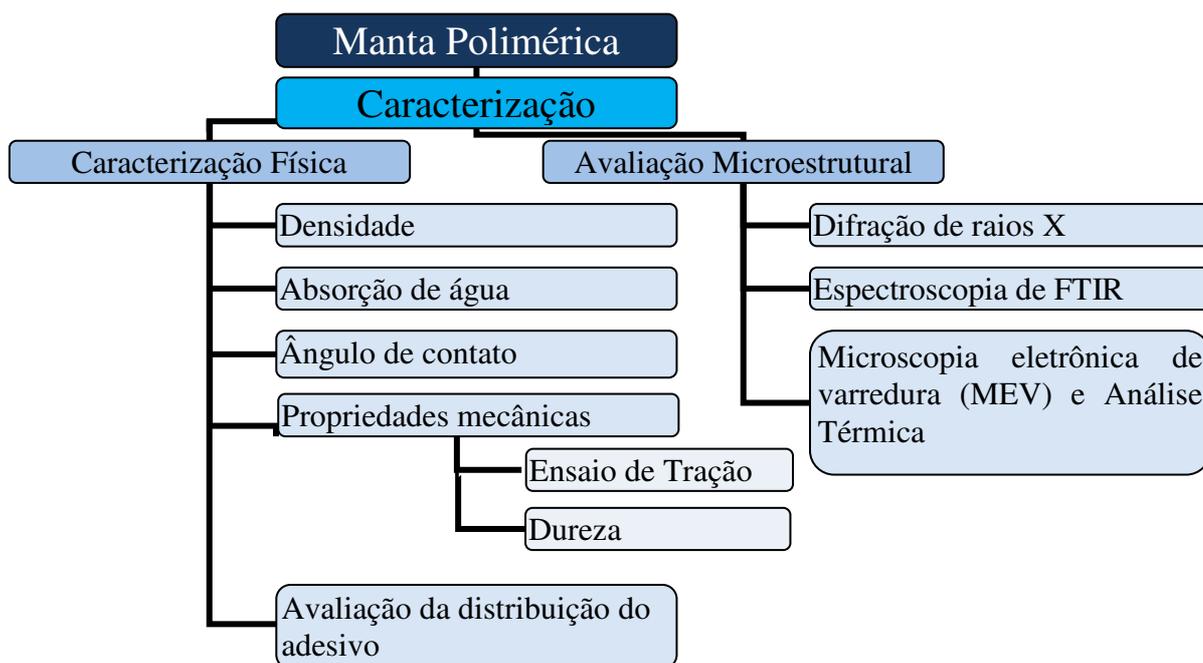


Figura 4.7 Fluxograma do procedimento executivo da manta polimérica adesiva.

Para a realização dos estudos foram utilizadas as mantas poliméricas adesivas em dupla face fabricadas pela empresa Bautech do Brasil, SP, fornecidas no tamanho de 40cm x 40cm, prontas para o uso, apenas retirando o filme protetor das áreas adesivas. A Figura

4.8 mostra a manta cortada em dimensões de 10cm x10cm, para as realizações dos ensaios, nela é possível observar a superfície da manta e o plástico protetor.

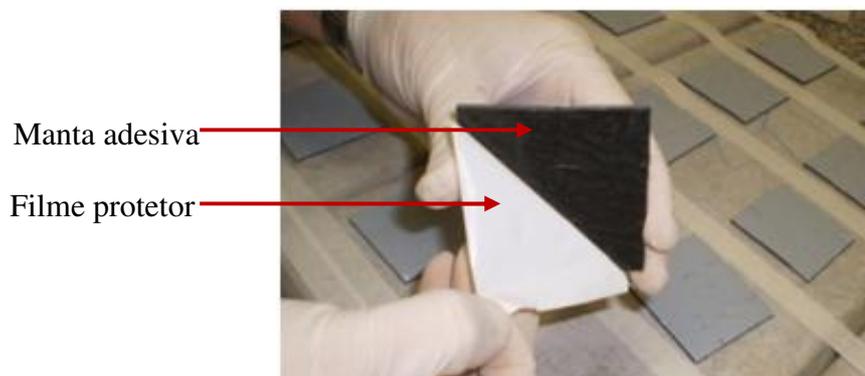


Figura 4.8 Modelo manta adesiva nas dimensões de 10cm x 10cm.
(Fonte: BAUTHEC)

4.1.2.1 Inspeção das características físicas

A. Densidade

Para a análise foram realizadas medições em 10 amostras da manta com dimensões de aproximadamente 50mm x 50mm para o ensaio de densidade. Para a determinação da densidade característica foi medida a espessura da manta utilizando o micrometro da marca Mitutoyo, e a sua massa foi determinada utilizando a balança de precisão. O valor de densidade foi obtido empregando-se a Equação 4.2.

Foram utilizadas 10 amostras para medir a densidade e para caracterizar geometricamente o material. A Figura 4.9 ilustra uma medição da manta com paquímetro.



Figura 4.9 Detalhe da medida com precisão.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Equação 4.2})$$

Onde:

ρ é a densidade

m é a massa medida

v é o volume calculado

B. Absorção de água

A manta polimérica foi submetida ao teste de absorção de água conforme a adaptação da NBR 9952, Manta asfáltica para impermeabilização.

C. Ângulo de contato

O ensaio foi realizado conforme item 4.1.1.1A.

D. Propriedades mecânicas

- Dureza "Shore A"

A dureza é a propriedade mecânica de um material apresentar resistência ao risco ou à formação de uma marca permanente quando pressionado por outro material ou por marcadores padronizados.

Para os testes de dureza "Shore A", partir do método de penetração com agulha durômetro, utilizou-se o equipamento Microtest nº 427, conforme a adaptação da NBR 7456:1982 (plástico – determinação da dureza shore). A Figura 4.10 apresenta o ensaio de dureza "Shore A" realizado.



Figura 4.10 Determinação da dureza “Shore” A.

Esse ensaio foi realizado a temperatura de $22 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade do ar de $65 \pm 5\%$. Para a execução deste foi utilizado 10 corpos de prova de 12mm de largura, 66mm de comprimento, neles foram realizadas 10 penetrações.

O corpo de prova é colocado em uma superfície rígida, regular, horizontal e plana. O durômetro é posicionado na direção vertical, aplica-se uma pressão suficiente para obter um maior contato entre base e o corpo de prova, efetua-se a leitura após $15 \pm 1\text{s}$.

- Resistência à tração

Esse ensaio foi executado a partir de adaptações dos sistemas propostos nas normas NBR 7462 (ABNT, 1992), que prescreve método para a determinação da resistência à tração de elastômeros vulcanizados flexíveis, e NBR 9952 (ABNT, 2007), que especifica a determinação da resistência à tração e alongamento em mantas asfálticas para impermeabilização.

Foram testadas duas situações diferentes: a manta nova, conforme fornecida, e após envelhecimento acelerado. O envelhecimento por temperatura foi realizado submetendo os corpos-de-prova a 400h de intemperismo, sendo ciclos de $60^\circ\text{C}/72\text{h}$ e 4 h de condensação d'água a 50°C , conforme definido na NBR 9952.

O ensaio consiste em submeter um corpo-de-prova ($n=6$) a uma solicitação de tração até a ruptura, com o auxílio de uma prensa da marca Emic DL3000 com velocidade de ensaio de 50 mm/min.

A Figura 4.11 mostra a dimensão do corpo de prova que foi utilizado para a realização do ensaio à tração. A Figura 4.12 apresenta os corpos-de-prova utilizados, a Figura 4.13 apresenta o ensaio realizado.

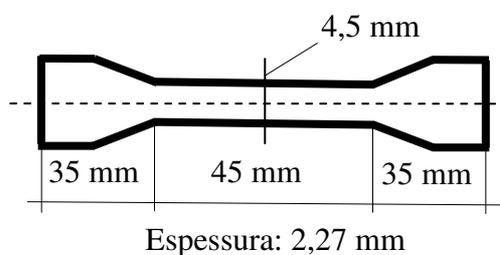


Figura 4.11 Dimensões do corpo de prova para a realização do ensaio de tração.

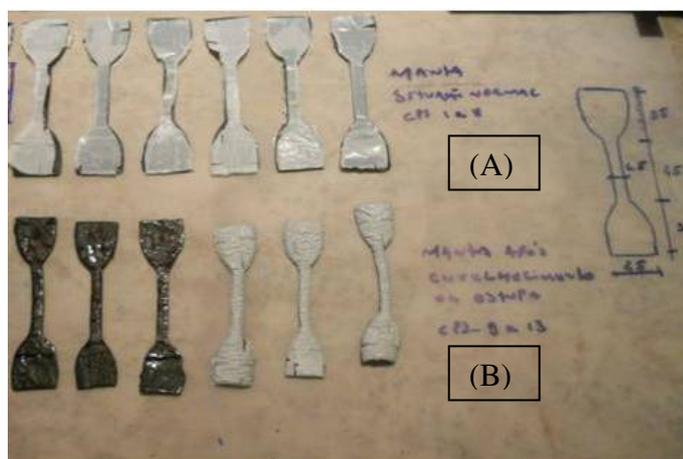


Figura 4.12 Corpos de prova do ensaio de resistência à tração na condição normal (A) e na condição envelhecida por temperatura (B).

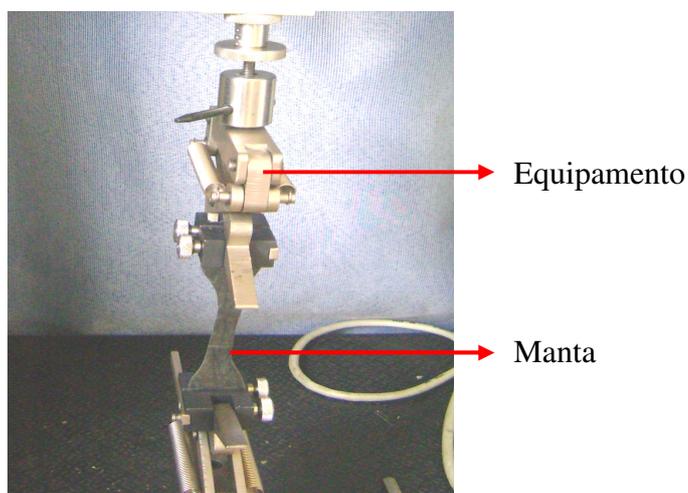


Figura 4.13 Ensaio de tração na manta.

E. Avaliação da continuidade superficial do adesivo

A manta polimérica adesiva possui em sua superfície um filme adesivo. Para a verificação de sua continuidade foi realizado um ensaio com 3 amostras do produto com as dimensões 30x30cm, na temperatura de $22 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $65 \pm 5\%$.

O ensaio consiste na aplicação de um material com uma granulometria definida, o filler de calcário, em toda a superfície adesiva da manta. Dependendo da quantidade do material que ficar aderido na superfície, é possível avaliar a continuidade do adesivo. A Figura 4.14 apresenta a aplicação do filler de calcário sobre a superfície da manta.

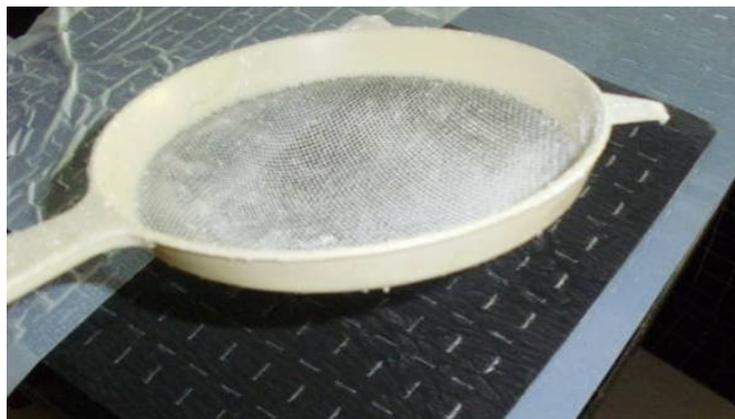


Figura 4.14 Aplicação de filler de calcário sobre a superfície da manta.

4.1.2.2 Avaliação Microestrutural

A. Difração de raios X

Utilizando o mesmo equipamento apresentado no item 4.1.1.2A, foi executado o ensaio de difração de raios X na manta polimérica adesiva. Neste caso foi utilizado um pedaço da manta para a análise. As informações obtidas a partir do difractograma resultante são comparadas a dados conhecidos para materiais disponíveis em banco de dados, proporcionando informações sobre a cristalografia interna e da superfície da amostra (MANSUR, 2001).

B. Espectroscopia na região do infravermelho da seção transversal e da superfície

A espectroscopia vibracional de absorção de infravermelho é uma técnica utilizada para a identificação, determinação de grupos funcionais e para estudos de conformação e estrutura de macromoléculas (CANEVAROLO, 2007).

Os espectros de infravermelho foram obtidos na superfície do adesivo e no material do interior da manta, utilizando a técnica de reflectância atenuada (ATR) e 32 varreduras na faixa de número de onda entre 750 e 4000 cm^{-1} (IR-Affinity, Shimadzu). Para a execução desse ensaio utilizou-se 3 amostras do material à temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade do ar de $65 \pm 5\%$.

C. Análise microscopia eletrônica de varredura (MEV) sobre a manta e o seu interior

Foi executado o ensaio de MEV da mesma forma que o apresentado no item 4.1.1.2B, com o objetivo de caracterizar os componentes existentes no produto.

4.1.2.3 Análise Térmica

Permite a avaliação do comportamento do material da manta com a temperatura. Para este estudo foi utilizado o equipamento Q600 SDT (TA Instruments) na faixa de temperatura entre 20°C e 700°C , taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$ e atmosfera de nitrogênio (100ml/min) obtendo-se informação de variação de massa (TG – Análise termogravimétrica) e fluxo de calor (DSC – calorimetria) em função da temperatura. Os ensaios foram realizados em pedaço de manta cortado de modo a se adequar à dimensão do cadinho de platina utilizado no ensaio.

4.1.3 Argamassa Colante - ACIII

A Figura 4.15 apresenta as etapas realizadas para a caracterização da argamassa colante.

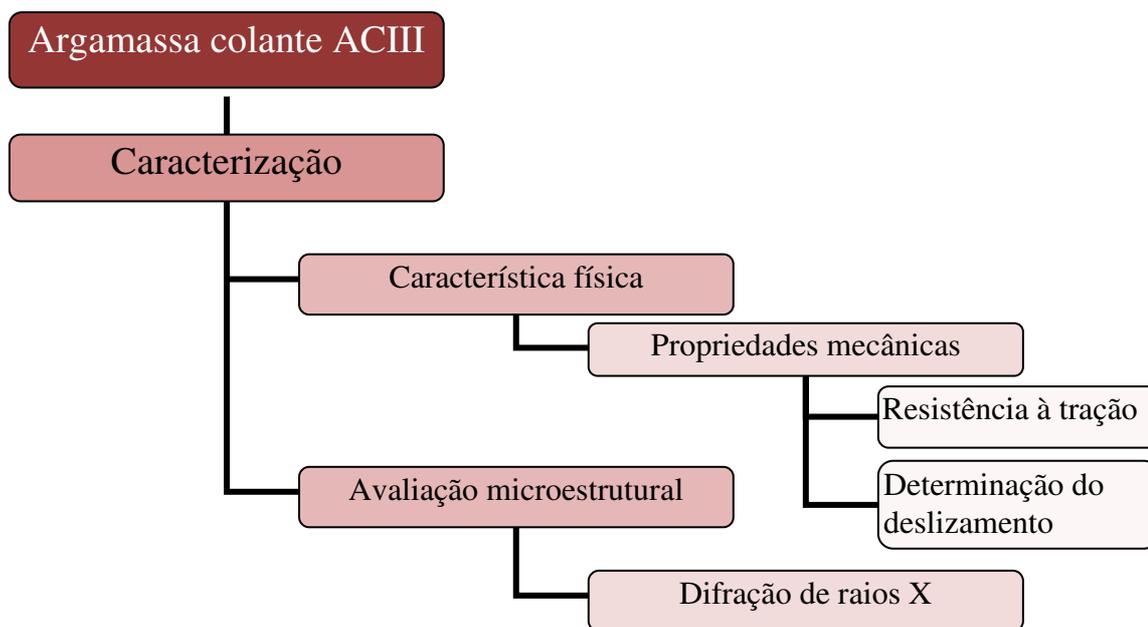


Figura 4.15 Fluxograma do procedimento executivo da Argamassa ACIII.

Para a seleção da argamassa colante a ser estudada, foram considerados os produtos disponíveis comercialmente. Foi selecionada a argamassa colante AC III, conforme NBR 14081 (Argamassa industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Requisitos). Trata-se de uma argamassa com adição de polímero e indicada pelos fabricantes para utilização em porcelanatos devido à baixa absorção de água do produto cerâmico pertencente ao grupo Ia (abs 0% a 0,5%). A Figura 4.16 apresenta a aplicação da argamassa colante selecionada.



Figura 4.16 Argamassa colante ACIII, fabricante Precon.

4.1.3.1 Características Físicas

A argamassa colante AC III foi caracterizada quanto a suas características físicas e mecânicas, de acordo com a NBR 14081-4 e NBR 14081-5 (ABNT, 2012a e ABNT, 2012d); foram realizados todos os ensaios previstos nesta norma.

A. Propriedades mecânicas

- Deslizamento

Foi executado o ensaio de deslizamento conforme a NBR 14081-5 (ABNT, 2012e). O ensaio foi realizado à temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $65 \pm 5\%$. Foram utilizadas 3 amostras de placas cerâmicas quadradas com lado $100 \pm 1\text{mm}$ do grupo de absorção BIa, e com massa individual de $195 \pm 5\text{g}$. As amostras de cerâmicas foram assentadas sobre a argamassa previamente colocada no substrato padrão com a formação de cordões (altura e espaçamento de $6 \pm 0,1\text{mm}$). O sistema foi colocado na posição vertical e deslocamento das placas foi medido.

- Resistência à tração

Foram realizados ensaios de arrancamento por tração para a determinação da resistência de aderência para argamassa colante industrializada a partir da metodologia da NBR 14081 (ABNT, 2012). A argamassa colante é avaliada nas condições de cura listadas na Tabela 4.1.

Para a realização desse ensaio foram cortadas placas cerâmicas com absorção de água $10 \pm 2\%$ em seção quadrada de $(50 \pm 1)\text{mm}$ de aresta, todas foram limpas e secas ($n=10$) que foram assentadas sob substrato padrão. As amostras foram submetidas a 3 tipos de cura, conforme apresentado na Tabela 4.1. Um suporte metálico é colado sobre cada amostra de cerâmica e uma força de tração é então aplicada. Esse ensaio foi executado à temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e a umidade relativa do ar de $65 \pm 5\%$. Condições de imersão

e temperatura acima do ambiente foram simuladas com tanque e estufa de ventilação forçada.

Tabela 4.1 Ensaios utilizados para a comparação dos sistemas de assentamento

Tipo de cura	Resumo do tratamento de cura
Cura Normal	Cura em condições ambientais de laboratório: temperatura $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade 85 %
Cura Submersa	Cura em condições de laboratório durante 07 dias e posterior cura submersa em tanques de água potável com temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ durante 21 dias.
Cura em Estufa	Cura em condições de laboratório durante 14 dias e posterior cura em estufa com temperatura de $(70\pm 2)^{\circ}\text{C}$ por mais 14 dias.

Após os períodos de cura, foi realizado o arrancamento das placas cerâmicas utilizando equipamento para determinação da resistência à tração direta com uma velocidade de carregamento uniforme de (250 ± 50) N/s.

4.1.3.2 Características Microestruturais

A. Difração e raios X (XRD)

Utilizando o mesmo método apresentado no item 4.1.1.2A, para o ensaio de difração de raios X na argamassa ACIII, a partir do material em pó conforme fornecido pelo fabricante.

4.2 Caracterização Mecânica dos Sistemas de Assentamento – Ensaios de Aderência

A Figura 4.17 apresenta as etapas realizadas para a caracterização dos sistemas de assentamento.

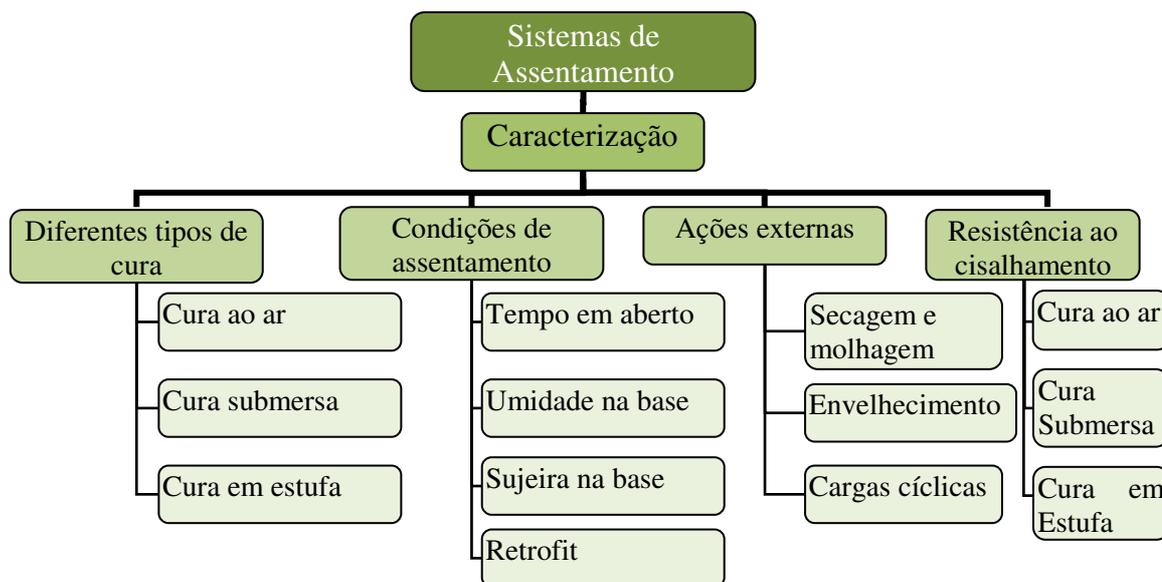


Figura 4.17 Fluxograma do procedimento executivo da caracterização dos sistemas de assentamento.

Para a caracterização mecânica dos sistemas de assentamento foram analisados os vários aspectos que podem influenciar a aderência dos sistemas. As Tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 apresentam as situações analisadas e o tipo de influência avaliada.

Tabela 4.2 Variações nos sistemas de assentamento/condições, para avaliação do desempenho de aderência à tração em ambos os sistemas (convencional ACIII e manta adesiva dupla face)

Situação para ensaio de aderência	Avaliação da influência
Determinação da resistência de aderência após cura normal	Tipo de cura após assentamento
Determinação da resistência de aderência após cura submersa	
Determinação da resistência de aderência após cura em estufa	

Tabela 4.3 Avaliação de desempenho por condição de assentamento

Situação para ensaio de aderência	Avaliação da influência
Determinação da resistência de aderência após assentamento sobre base saturada (na situação de cura normal)	Condição de assentamento
Determinação da resistência de aderência após assentamento sobre base impregnada de pó (na situação de cura normal)	
Determinação da resistência de aderência após assentamento de tempo em aberto do material de assentamento de 30 min (na situação de cura normal)	
Determinação da resistência de aderência após assentamento sobre peça de porcelanato (na situação de cura normal)	

Tabela 4.4 Avaliação de desempenho por situação de trabalho

Tipo de avaliação de aderência	Avaliação da influência
Determinação da resistência de aderência após ciclos de secagem e molhagem	Ações externas após assentamento em cura ao ar
Determinação da resistência de aderência após envelhecimento por temperatura após 21 dias de cura normal, durante 36 horas a 70°C	
Determinação da resistência de aderência após aplicação de cargas cíclicas (10 ciclos de 1KN) na borda da placa de revestimento após 28 dias de cura normal	

Tabela 4.5 Avaliação de desempenho por cisalhamento após cura ao ar

Tipo de avaliação	Avaliação da influência
Cisalhamento entre placa porcelanato / assentamento / substrato padrão, após cura normal, submersa e em estufa.	Conhecimento do comportamento em situação de cisalhamento

4.2.1 Caracterização dos sistemas de assentamento com argamassa colante ACIII e manta polimérica adesiva – Resistência de aderência atração – efeito do tipo de cura

Para a avaliação do desempenho de aderência dos sistemas de assentamento de placas cerâmicas, foram realizados ensaios para determinação da resistência de aderência à tração conforme os procedimentos da norma NBR 14081-4 (ABNT, 2012d). Essa norma utiliza a placa cerâmica como material assentado, entretanto, foi utilizado nesse sistema placas de porcelanato selecionadas anteriormente.

Foram confeccionados 40 painéis de teste, com 10 amostras em cada um, para a execução dos ensaios, em que 20 foram assentados com argamassa e 20 com a manta polimérica como mostra a Figura 4.18.

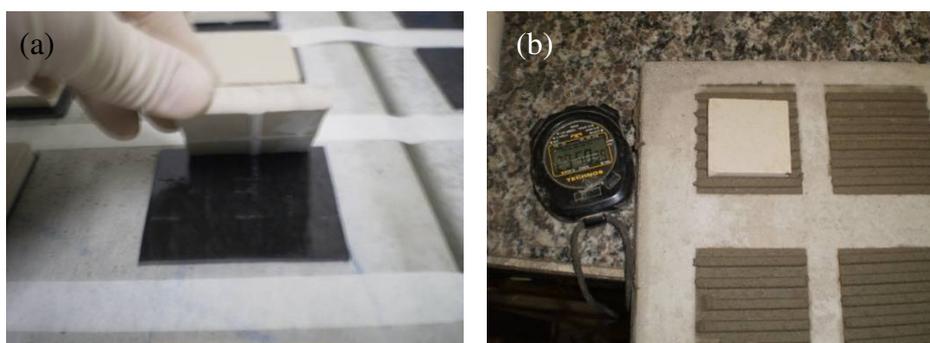


Figura 4.18 Execução dos ensaios de aderência (a) Painel contendo porcelanato assentado com a manta adesiva; (b) Painel contendo porcelanato assentado com argamassa colante AC III.

Dos 40 painéis confeccionados 36 foram executados utilizando como base o substrato padrão como recomenda a norma NBR 14081-2 (ABNT, 2012b). A Figura 4.19 mostra a representação esquemática dos assentamentos nesse tipo de base.

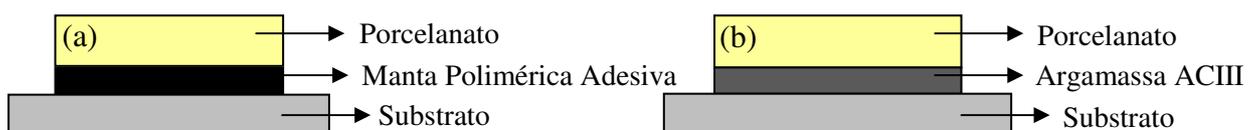


Figura 4.19 Representação esquemática dos sistemas montados sobre substrato padrão (a) Assentamento utilizando a manta polimérica adesiva (b) Assentamento utilizando argamassa ACIII.

Os outros 04 painéis, com 10 amostras cada, foram confeccionados utilizando como base uma placa de porcelanato, para a realização do ensaio sobre “retrofit”. Foram executadas as mesmas condições que os painéis anteriores, assentamento com a argamassa e com a manta. A Figura 4.20 mostra a representação esquemática do ensaio.



Figura 4.20 Representação esquemática dos sistemas montados sobre porcelanato (ensaio sobre o “retrofit”) (a) Assentamento utilizando a manta polimérica adesiva (b) Assentamento utilizando a argamassa ACIII.

4.2.1.1 Resistência de aderência em cura normal

Os dois sistemas em análise foram caracterizados e classificados a partir da metodologia da NBR 14081-1 (ABNT, 2012a), que apresenta um assentamento sobre substrato padrão e cura ao ar de 28 dias. Após este tempo foi realizado o arrancamento das placas assentadas, avaliando a aderência e suas alterações na forma de ruptura. Posteriormente, foram realizadas análises microscópicas nas interfaces, para estudo comparativo entre os sistemas.

O estudo foi realizado com as mesmas recomendações propostas pela NBR 14081-4 (ABNT, 2012d) sobre substrato padrão (lado liso) e placas cerâmicas cortadas com dimensões 5,0cm x 5,0cm. A Figura 4.21 mostra fotos do ensaio.



Figura 4.21 Ensaio realizado com a cura normal e aparelho de arrancamento.

4.2.1.2 Resistência de aderência após submerso em água

As alterações nas condições do sistema proposto de manta adesiva e do sistema de argamassa colante foram avaliadas em cura de 07 dias ao ar e posterior cura de 20 dias imersa em água a $20 \pm 3^\circ\text{C}$. Depois de avaliar a aderência foram analisadas as alterações na forma de ruptura e tipologia de ruptura nas interfaces, para análise comparativa com o sistema de cura normal. O estudo foi realizado pelo mesmo método proposto pela 14081-4 (ABNT, 2012d), como mostra a Figura 4.22.



Figura 4.22 Ensaio de cura submersa em água.

4.2.1.3 Resistência de aderência em cura em estufa

As alterações nas condições do sistema proposto de manta polimérica adesiva e do sistema de argamassa foram avaliadas na condição de cura em estufa: 14 dias ao ar e posteriormente submetida a uma temperatura de $70 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 14 dias. Foram avaliadas a aderência e suas alterações na forma de ruptura, para análise comparativa com o sistema em cura natural, utilizando o mesmo sistema proposto pela NBR14081-4 (ABNT, 2012d) sobre substrato padrão e adaptado com placas cerâmicas de porcelanato, como mostra a Figura 4.23.



Figura 4.23 Ensaio de cura em estufa.

4.2.1.4 Análise da forma de ruptura – Identificação

A partir dos conceitos mencionados as formas de ruptura foram divididas em dois diferentes tipos, a coesiva e a adesiva. A ruptura coesiva foi subdividida em cinco tipos:

Coesiva A – ruptura porcelanato/assentamento, com material residual (película) aderido ao porcelanato; *Coesiva B* – ruptura substrato/assentamento, com material residual (película) aderido ao substrato; *Coesiva C* – ruptura integral no corpo do material de assentamento; *Coesiva D* – ruptura integral na placa cerâmica; *Coesiva E* – ruptura integral no substrato padrão.

A análise da ruptura adesiva foi subdividida em dois tipos: *Adesiva F* – ruptura substrato/assentamento; *Adesiva G* – ruptura porcelanato/assentamento. As rupturas coesivas e adesivas estão ilustradas na Figura 4.24.

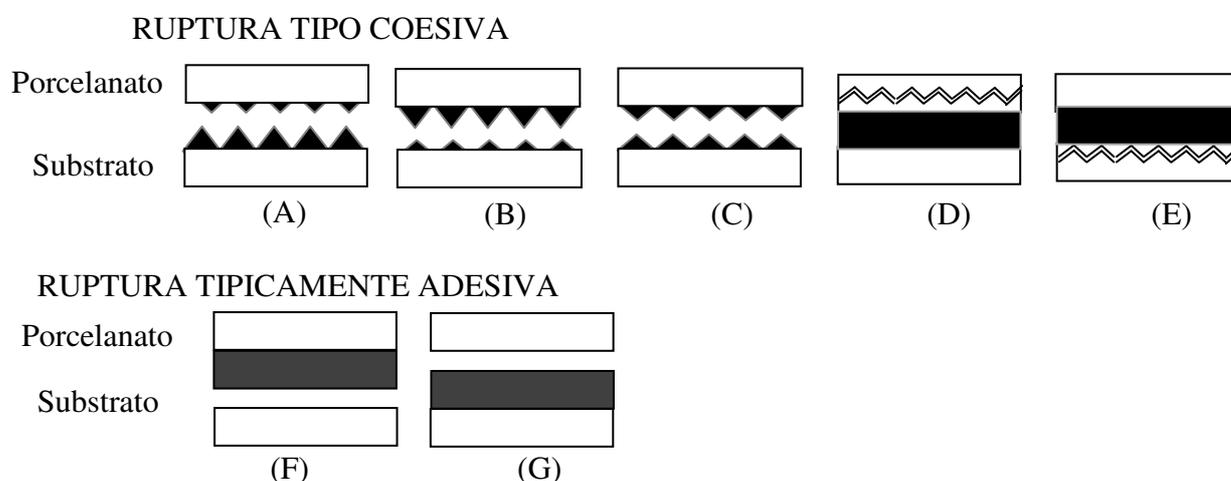


Figura 4.24 Análise da forma de ruptura.

Para a obtenção dos dados de extensão de aderência, ou seja, a identificação da área de contato efetiva e a área total a ser aderida utilizaram-se a impregnação com pó de cor escura para o registro da área de contato, sendo possível a análise do registro de ocorrências e a tipologia de ruptura, através de inspeção visual e registro fotográfico com ampliação.

As Figuras 4.25 e 4.26 mostram o procedimento da impregnação de pó quando em contato com o adesivo da manta. Na Figura 4.25 a cerâmica sem uso não apresenta impregnação de “filler” quando em contato com o mesmo. Na Figura 4.26 nota-se a impregnação do “filler”, de cor escura, indicando a presença de adesivo na placa de porcelanato, concluindo-se que a ruptura é do tipo Coesiva A.



Figura 4.25 Placa sem uso e a verificação da não impregnação do pó.



Figura 4.26 Placa com contato de adesivo da manta utilizada e a verificação da impregnação do pó.

Foram realizadas observações e análise da interface com auxílio do microscópio eletrônico de varredura MEV, para determinação da impregnação de material de assentamento na placa, visando identificar a interação e a tipologia da aderência.

4.2.2 Caracterização dos sistemas de assentamento com argamassa colante e manta polimérica adesiva em relação a resistência à aderência sob efeito das condições de assentamento

Visando simular a condição de execução do sistema de assentamento, foi realizada uma avaliação da resistência de aderência nas situações descritas a seguir, que poderão colaborar na avaliação de durabilidade e confiabilidade dos sistemas de assentamento de placas cerâmicas.

4.2.2.1 Efeito do tempo em aberto

A avaliação do tempo em aberto foi realizada devido às deficiências encontradas em modelos adesivos e de argamassa colante quando não é observada a aplicação imediata da cerâmica sobre os cordões ou a manta adesiva, podendo existir falhas de colagem.

Em ambos os casos, a resistência de aderência à tração foi avaliada aos 28 dias, sendo o assentamento da placa cerâmica realizado após 30 minutos da abertura dos cordões da argamassa colante ou exposição do adesivo da manta polimérica adesiva, como mostra a Figura 4.27.

Para este fato observado, foi realizada uma análise deste efeito sobre os materiais de assentamento (argamassa colante e manta adesiva) para identificação dos fatores que podem perder o desempenho quanto à aderência dos sistemas. O conjunto passou 28 dias em cura nas condições de laboratório ao ar, posteriormente levadas ao ensaio de arrancamento por tração das placas de porcelanato aplicadas sobre o sistema de assentamento.



Figura 4.27 Assentamento da manta adesiva após 30 minutos da retirada do adesivo.

4.2.2.2 Efeito da umidade da base

Em ambos os sistemas foi medida a aderência da argamassa colante e manta adesiva aplicados sobre o substrato saturado para avaliação da influência da umidade no sistema de aderência (Figura 4.28). A umidade da base foi simulada pela saturação do substrato padrão por imersão do substrato durante duas horas em água à temperatura de $22 \pm 3^\circ\text{C}$, sendo aplicado o sistema de assentamento sobre o substrato padrão saturado. Após 28 dias foi realizado o ensaio de arrancamento e avaliada a aderência ao arrancamento e a tipologia de ruptura.



Figura 4.28 Saturação da base para assentamento das placas cerâmicas.

4.2.2.3 Presença de “sujeira” – material particulado pulverulento

Os dois sistemas em estudo foram submetidos à contaminação da base de aplicação com filler de calcário passante na peneira 0,075mm, reproduzindo a condição de sujeira de obras durante assentamentos. Foi aplicado sobre o substrato padrão pó na superfície na cerca de 100g por m² na superfície de assentamento a aplicação dos cordões de argamassa e da manta adesiva, como mostra a Figura 4.29.

O conjunto passou 28 dias em cura ao ar, nas condições de laboratório, conforme a NBR 14081-4 (ABNT, 2012d) e posteriormente, levado ao ensaio de arrancamento, para avaliação da resistência de aderência e a tipologia de ruptura.



Figura 4.29 Presença do pó no substrato padrão.

4.2.2.4 Efeito da natureza da base (Retrofit)

Os dois sistemas em análise foram submetidos a avaliações de caracterização de seu desempenho quanto à aderência sobre substrato. Foi utilizado como substrato placas de porcelanato e sobre este foram aplicados os sistemas de assentamento de argamassa colante e manta adesiva, avaliando a aderência na condição de cura ao ar aos 28 dias e também suas alterações na forma de ruptura.

A Figura 4.30 mostra a utilização do porcelanato como substrato. O ensaio foi realizado baseado no modelo proposto pela NBR 14081-4 (ABNT, 2012d). Este sistema simula o possível assentamento de cerâmica sobre cerâmica, muito utilizado em reformas e “retrofit”.



Figura 4.30 Assentamento de placa de porcelanato sobre placa porcelanato (“retrofit”).

4.2.3 Caracterização dos sistemas de assentamento com argamassa colante e manta adesiva de aderência à tração, do ponto de vista da utilização – Desempenho

4.2.3.1 Ciclos de secagem e molhagem

Para avaliar as possíveis alterações nos sistemas de assentamento foi elaborado o ciclo de secagem (estufa com 60 °C, durante 4 horas) e molhagem (submerso em água $22 \pm 3^\circ\text{C}$ durante 2 horas) nas condições do sistema proposto (manta adesiva) e o sistema de argamassa colante. O conjunto ficou em cura nas condições de laboratório durante 21 dias e posteriormente submetido aos ciclos de secagem e molhagem, sendo definida em 10 ciclos de 06 horas cada.

Figura 4.31 mostra as fotos dos ciclos realizados. Foi posteriormente avaliada a resistência de aderência à tração e as formas de ruptura. Para análise comparativa com o sistema somente em cura natural, o estudo foi conduzido utilizando o mesmo sistema

proposto pela NBR 14081-4 (ABNT, 2012d) sobre substrato padrão e placas cerâmicas de porcelanato.



Figura 4.31 Ciclos de secagem e molhagem da argamassa colante.

4.2.3.2 Aderência após simulação de envelhecimento por temperatura

Foram aplicadas placas de porcelanato sobre o substrato padrão, assentados com argamassa e manta adesiva. O conjunto ficou 21 dias em cura ao ar nas condições de laboratório, e posteriormente submetido à temperatura de 60°C durante 06 dias. As amostras foram submetidas ao ensaio de arrancamento (resistência de aderência) e foram comparadas com placas que não foram submetidas ao tratamento térmico, visando avaliar o desempenho da aderência em condições severas de temperatura.

4.2.3.3 Avaliação da resistência de aderência após cargas cíclicas

Esta avaliação é baseada no conceito de durabilidade (ABNT, 2010), que estabelece avaliação de cargas cíclicas em pisos residenciais. Sobre o substrato padrão foram aplicadas placas de porcelanato de 10,0 x 10,0cm em ambos os sistemas de assentamento (argamassa ACIII e manta). Após 28 dias de cura ao ar em condições de laboratório, foram aplicadas cargas cíclicas de 0,1kN em intervalos de 10 minutos, durante 6 horas sobre as placas assentadas em uma das bordas, como mostra a Figura 4.32. O conjunto então foi levado ao ensaio de aderência ao arrancamento por tração.

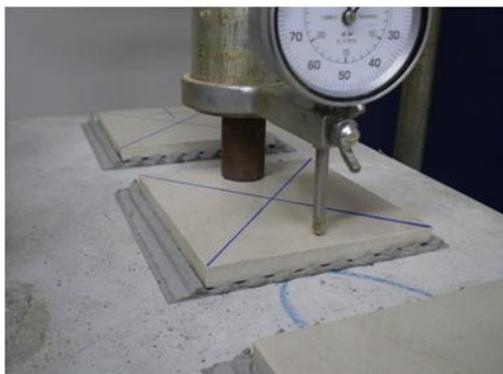


Figura 4.32 Carga sendo aplicada na placa cerâmica.

4.2.4 Caracterização dos sistemas de assentamento com argamassa colante e manta adesiva, avaliação da aderência quando submetida a uma força de cisalhamento.

4.2.4.1 Avaliação da resistência de aderência ao cisalhamento sob o substrato

Para a determinação da resistência de aderência ao cisalhamento direto foi desenvolvido um equipamento adaptado do procedimento do ensaio realizado por STOLZ (2011), associada a uma célula de carga com resolução 0,005N.

A Figura 4.33 apresenta o desenho esquematizado do equipamento. Para a execução desse ensaio foram utilizadas 10 amostras de cada material de assentamento, ACIII e manta polimérica, em cada condição de cura (normal, submersa e em estufa). Cada sistema foi constituído de: substrato padrão – sistema de assentamento – placas de porcelanato de 5x5cm.

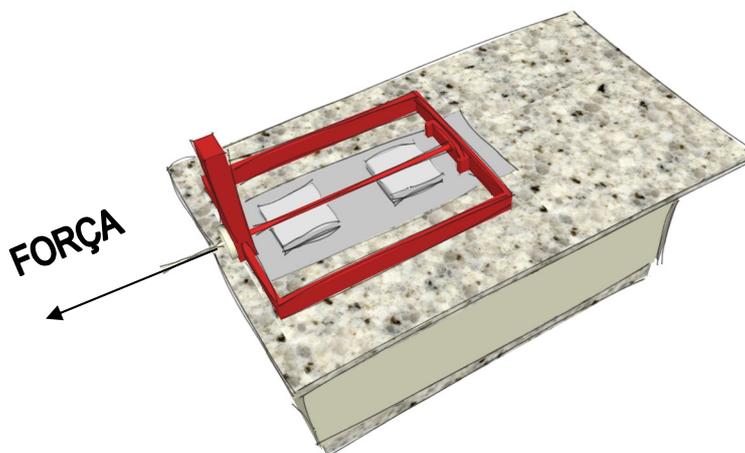


Figura 4.33 Desenho esquematizado do equipamento utilizado.

A identificação dos valores e suas possíveis alterações nos diversos sistemas em estudo visam o conhecimento do valor da resistência ao cisalhamento, deformabilidade sob ação de arraste e forma de ruptura em ambos os sistemas de assentamento. A Figura 4.34 mostra a fotografia do equipamento desenvolvido para a realização desse ensaio.



Figura 4.34 Aparelho desenvolvido para ensaio de cisalhamento.

4.2.4.2 Assentamento com manta polimérica adesiva em placa cerâmica (lado liso)

A fim de avaliar a influência da presença das garras do tardez na aderência da manta polimérica adesiva, foram realizados ensaios para determinação da resistência de aderência à tração com a manta aderida à parte lisa de uma cerâmica, conforme mostrado na Figura 4.35. O ensaio foi executado conforme adaptação dos procedimentos da norma NBR 14081-4 (ABNT, 2012d). No ensaio foram utilizadas placas cerâmicas com dimensões 10x10cm em 3 painéis de teste com 03 amostras em cada. A Figura 4.36 apresenta uma imagem ilustrativa do sistema ensaiado.

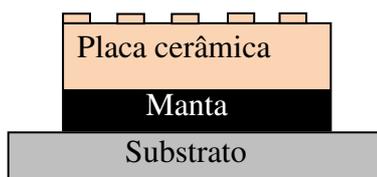


Figura 4.35 Desenho esquemático do sistema ensaiado sobre substrato padrão.

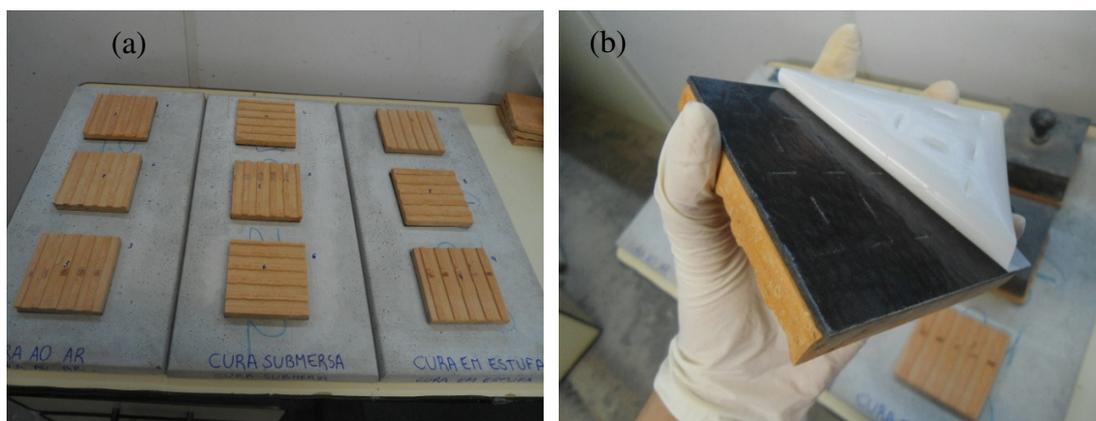


Figura 4.36 (a) Foto dos painéis utilizados para execução dos ensaios; (b) Manta assentada na placa cerâmica para posterior assentamento no substrato.

Foram realizados ensaios em três situações de cura diferentes, cura normal, cura submersa e cura em estufa. Esses seguiram os mesmos procedimentos realizados nos itens 4.2.1.1, 4.2.1.2, 4.2.1.3, respectivamente. A Figura 4.37 apresenta o ensaio em cura normal, cura submersa e a cura em estufa.

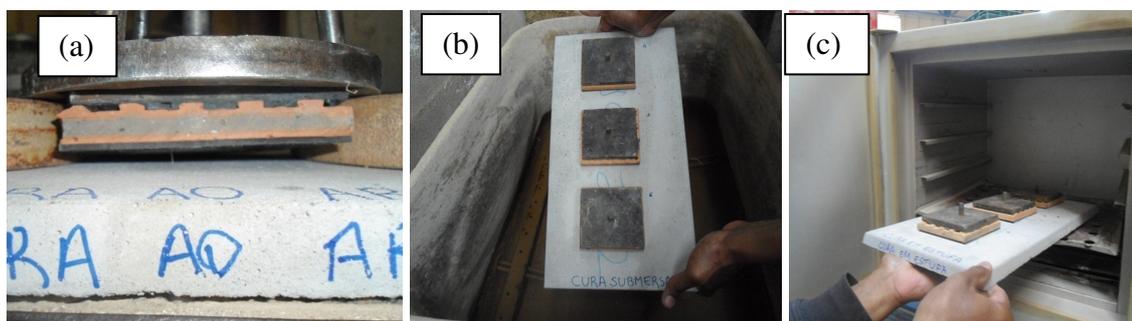


Figura 4.37 Ensaios realizados com o lado liso da cerâmica assentado (a) cura normal (b) cura submersa (c) cura em estufa.

Para a avaliação do máximo desempenho de aderência da cerâmica com a manta, realizou-se um ensaio em que a interferência do substrato padrão foi anulada. Para obter essa situação, a manta foi colada na superfície do substrato padrão com uma cola do tipo epóxi, conforme apresentado no desenho esquemático na Figura 4.38. O ensaio de aderência à tração foi realizado conforme prescrições da norma ABNT NBR 14081-4 (ABNT, 2012d). Foram executados 3 corpos-de-prova com dimensão de 10cm x10cm.

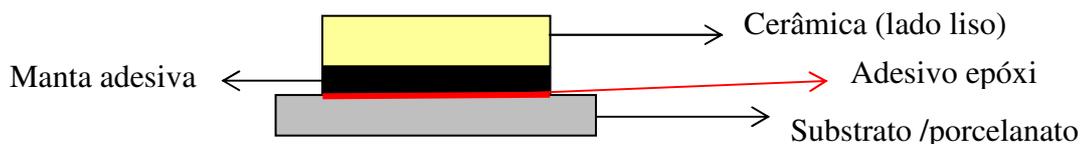


Figura 4.38 Representação esquemática do ensaio realizado com a manta colada no substrato padrão com cola tipo epóxi.

4.3 Procedimento numérico para Análise numérica de tensões entre sistema de assentamento cerâmico com Argamassa Colante ACIII e Manta Polimérica adesiva

Para realizar a análise de tensões foi realizado um estudo através do Método dos Elementos finitos, onde, a partir do modelo numérico definido para análise, verificam-se as tensões existentes na interface do material de assentamento, as placas cerâmicas e o substrato quando submetidas a esforços da natureza térmica. Foram analisados os esforços ao se variar apenas o material de assentamento cerâmico, argamassa colante ACIII e manta polimérica adesiva dupla face.

Para avaliação numérica, foi adotado um modelo reduzido, (Figura 4.39) com a intenção de avaliar as tensões e os deslocamentos que podem ocorrer num sistema de revestimento cerâmico, sujeito a uma expansão térmica. Utilizando o programa ANSYS®, para a realização da análise estática pelo método dos elementos finitos com elementos do tipo SOLID e grau de interpolação de 1ª ordem. Adotou-se condições de contorno fixas e variação de temperatura de 40°C.

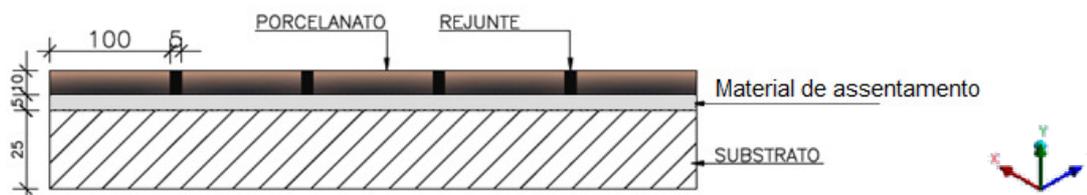


Figura 4.39 - Modelo reduzido adotado para avaliar o sistema de assentamento.

4.3.1 Condição de contorno

O elemento adotado pode ser utilizado na modelação de corpos sólidos em duas dimensões (2-D) para a análise em estado plano de deformação, conforme as hipóteses simplificadoras adotadas. O elemento possui quatro nós, tendo cada nó dois graus de liberdade (correspondendo às translações UX e UY nas direções X e Y respectivamente).

A distribuição de temperaturas através do sistema de revestimento será conhecida ao se submeter o modelo em elementos finitos a um gradiente térmico, que por simplificação foi considerado em regime estacionário de 40 °C.

Neste estudo as condições de contorno são essenciais para os dados da análise, sendo os resultados dependentes diretos dos dados numéricos e de análise cuidadosa das condições envolvidas. A seguir apresenta-se as condições de contorno adotadas:

- base: considerada como rígida e com espessura de 25mm, sendo desconsideradas as deformações no sentido vertical/transversal ao revestimento;
- painel: utilizou-se o modelo reduzido de 25 placas cerâmicas de 50mm x 50mm e rejuntamento entre estas de 5mm, assentadas com argamassa colante e manta adesiva dupla face;
- ação externa: consideração de efeito térmico de 40° C, sobre as placas de porcelanato em cada sistema. Não foi considerado deslocamentos no sentido transversal e nem confinamento das placas inicialmente.

Para avaliar o estado de deformação das duas amostras foi considerado as mesmas condições no substrato, nas peças cerâmicas de 50mm e no material de rejunte, sendo diferenciadas apenas pelo tipo de material de assentamento, argamassa colante ACIII, apresentada na Figura 4.40 e manta polimérica adesiva apresentada na Figura 4.41. Foram consideradas no estudo as espessuras de cada camada.

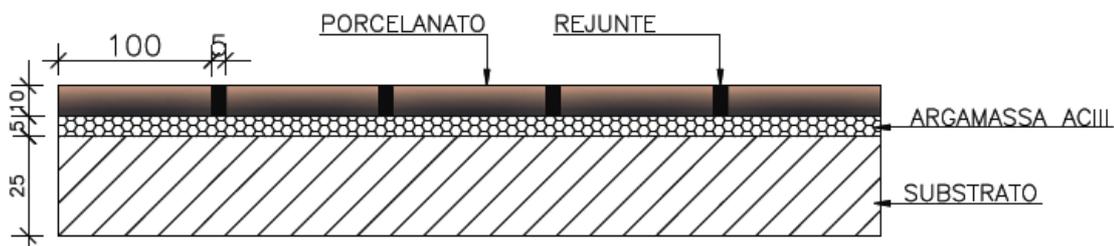


Figura 4.40 Sistema 01- assentamento com argamassa colante ACIII.

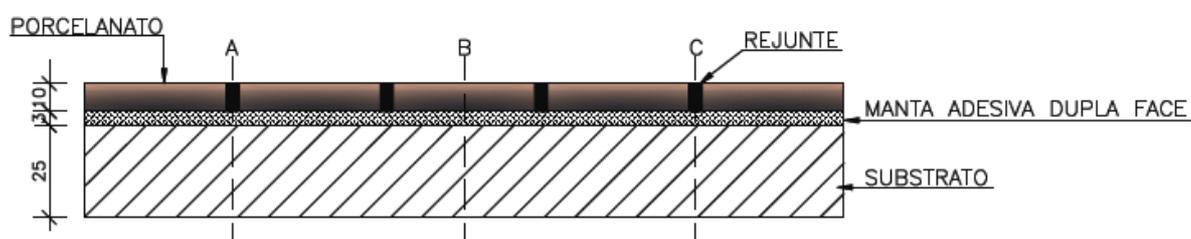


Figura 4.41 Sistema 02 - assentamento com a Manta Polimérica Adesiva -croqui esquemático.

4.3.2 Análise térmica

Foram escolhidos dois materiais de assentamento distintos, e, por essa razão, foi estudado o comportamento de ambos quando são submetidos a variações térmicas. Com o intuito de simplificar a análise, considerou-se um carregamento térmico estacionário e foi simulado o efeito térmico do fluxo do calor através do modelo, utilizando-se uma modelação numérica que traça o perfil térmico do modelo. De posse desse perfil e dos dados sobre o modelo, pode-se iniciar a análise das tensões nas diferentes camadas dos sistemas de revestimento.

Esse trabalho apresenta apenas as tensões normais ao longo do eixo X, entre as camadas ao longo do eixo X entre o material de assentamento e a cerâmica, e a tensão de tração na direção Y.

A Figura 4.42 apresenta a representação esquemática dos carregamentos e deslocamentos gerados na situação analisada.



Figura 4.42 Croqui esquemático dos deslocamentos gerados na situação de variação térmica.

4.4 Avaliação da tendência de sustentabilidade

A análise de quantidade de carbono foi determinada em função do inventário de produção de CO₂ para construção civil, que leva em conta desde a extração até o ciclo de vida do material. Foram considerados os valores definidos na Tabela 4.6 para a análise de 1m² de assentamento de placas de porcelanato, nesta comparação foi determinado como constantes os valores para o contra piso, placas cerâmicas e rejuntamento, sendo então, material de estudo apenas os dois tipos de assentamento com argamassa colante e com manta adesiva.

Tabela 4.6 Quantidade de carbono para cada tipo de material
(Fonte *1 STACHERA, 2007; *2 – BRASKEN, 2011).

Descrição	Quantidade kg CO ₂ /t material
Cimento *1	480
Areia *1	15
Polímero *1	3000
Retentor de água *1	2000
Acrílico *1	2500
Polietileno *2	3000

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização dos Materiais

Foram caracterizados os diferentes constituintes dos sistemas de assentamento em análise. Os resultados estão apresentados como valores individuais das amostras ou a partir de sua média com seu desvio padrão (média \pm 1 desvio padrão).

5.1.1 Caracterização da Placa cerâmica

5.1.1.1 Características físicas

A. Inspeção visual

Fotografias da superfície polida e do verso da placa cerâmica (porcelanato) utilizada nos estudos estão mostradas na Figura 5.1. Como se pode observar, o verso da placa de porcelanato apresenta engobe não pulverulento, especialmente sobre as regiões mais elevadas do tardez.

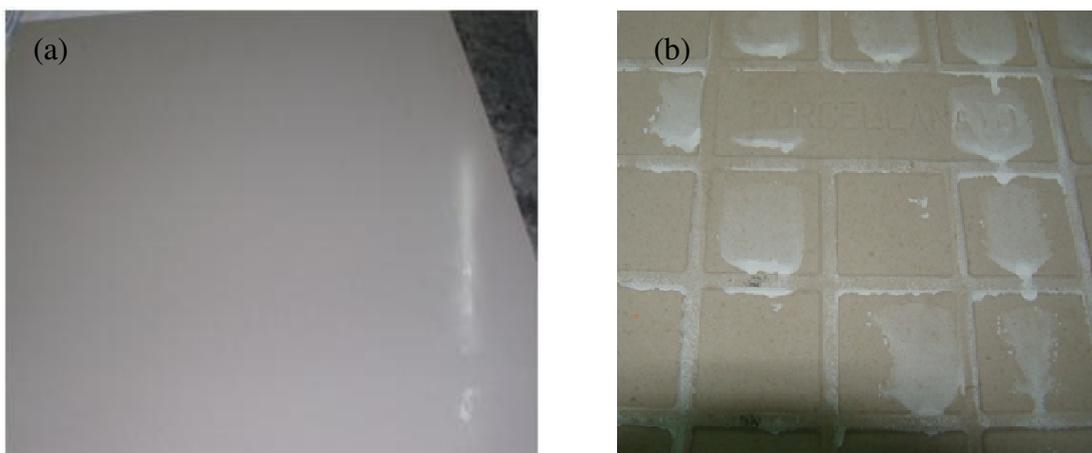


Figura 5.1 (a) Superfície polida (b) verso da placa cerâmica (tardez).

B. Absorção de água

Para o ensaio de absorção de água das placas cerâmicas foi obtido um valor de $0,2 \pm 0,1\%$, se enquadrando no grupo de absorção de água B1a conforme a NBR 13817/97 (ABNT, 1997b) e em acordo com a especificação do fabricante na embalagem do produto.

C. Medida do ângulo de contato do tardo de placa cerâmica

O ângulo de contato (θ_c) foi medido a partir de fotografias digitais capturadas como a mostrada na Figura 5.2. Ângulo de contato obtido de $64 \pm 3^\circ$ corresponde ao valor típico de superfícies vítreas parcialmente hidrofílicas.

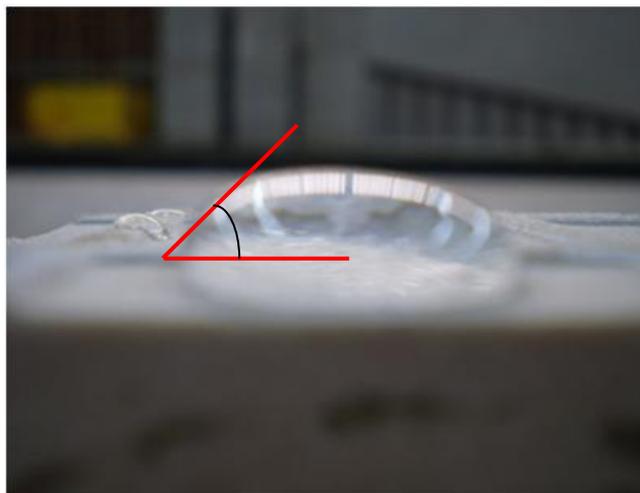


Figura 5.2 Fotografia da placa cerâmica utilizada nos estudos mostrando o seu tardo onde pode ser verificado o ângulo de contato.

D. Resistência à flexão

O ensaio do módulo de resistência à flexão, conforme a norma NBR 13818 (ABNT, 1997c) apresentou o resultado de $40,0 \pm 2,0\text{N/mm}^2$. Essa norma determina que o valor da média do módulo de resistência à flexão seja maior que 35N/mm^2 , de modo que a placa estudada atende à recomendação da norma.

5.1.1.2 Avaliação microestrutural

A. Difração e raios X (XRD)

A placa cerâmica foi caracterizada através de difração de raios X (XRD) para identificação das principais fases cristalinas constituintes da placa cerâmica.

O difratograma obtido para o porcelanato (Figura 5.3) indica a presença de quartzo e mulita, conforme banco de dados (ICCD). Identifica-se, ainda, uma região amorfa na faixa de $15^\circ < 2\theta < 30^\circ$, região característica dos silicatos que pode ser associada ao material vítreo presente nos porcelanatos.

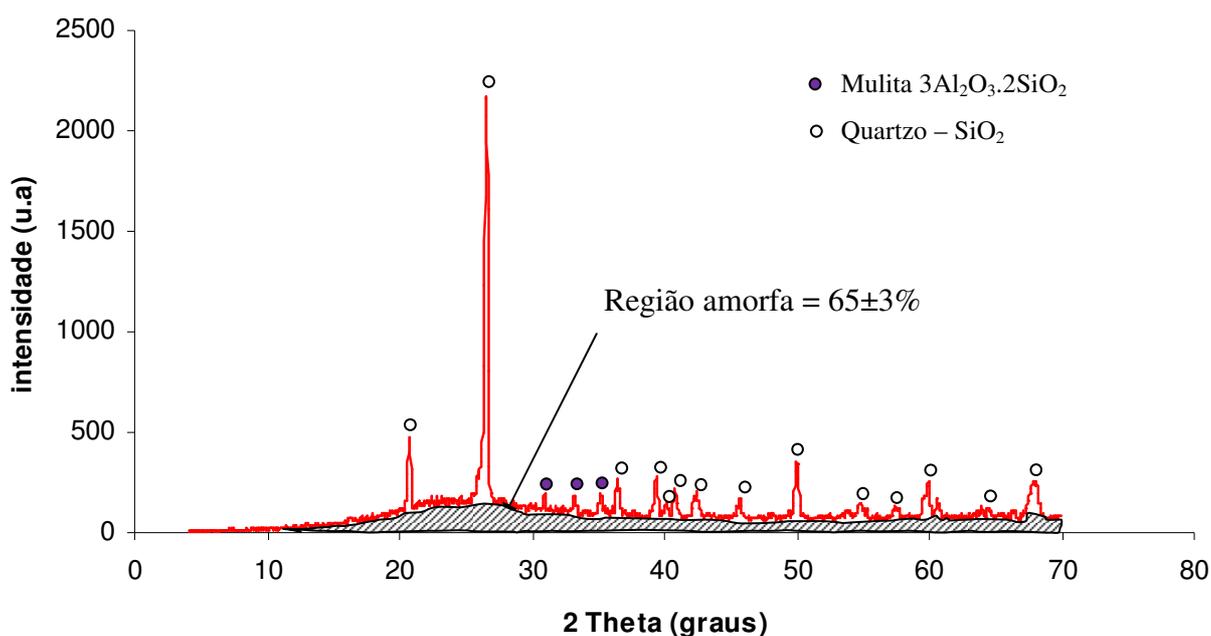


Figura 5.3 Difratograma obtido para a placa cerâmica.

Segundo a literatura consultada (SANCHEZ et al., 2001; SANCHEZ-MUNOZ et al., 2002; LEONELLI et al., 2001; ABADIR et al., 2002), os porcelanatos são consolidados a partir da queima do corpo cerâmico em altas temperaturas ($1150\text{-}1200^\circ\text{C}$) em ciclos inferiores a 1 hora, de modo que, as reações de decomposição e neomineralizações são governadas pela cinética não atingindo o equilíbrio termodinâmico. Observa-se apenas a formação de mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) obtida a partir da desidroxilação das argilas

passando uma estrutura instável de espinélio que se converte em mulita em temperaturas da ordem de 1075°C. Identifica-se também a formação de uma fase vítrea resultante de uma grande quantidade de fase líquida formada devido aos fundentes presentes nas matérias-primas.

Portanto, o produto "queimado" é, em geral, constituído de uma matriz vítrea na qual as partículas de mulita formadas e de quartzo que não se dissolveram totalmente estão dispersas. A partir do difratograma a fração de material vítreo (amorfo) foi estimada em $65\pm 3\%$, calculado através da separação das áreas de região de material amorfo, cristalino e "background", conforme descrito no item 4.1.1.2.

B. Microscopia Eletrônica de Varredura com EDS

Imagens de microscopia eletrônica de varredura foram obtidas no verso da placa de porcelanato. Duas áreas foram exploradas, a região com um material esbranquiçado, denominado engobe, e a parte limpa da placa, conforme identificado na Figura 5.4.

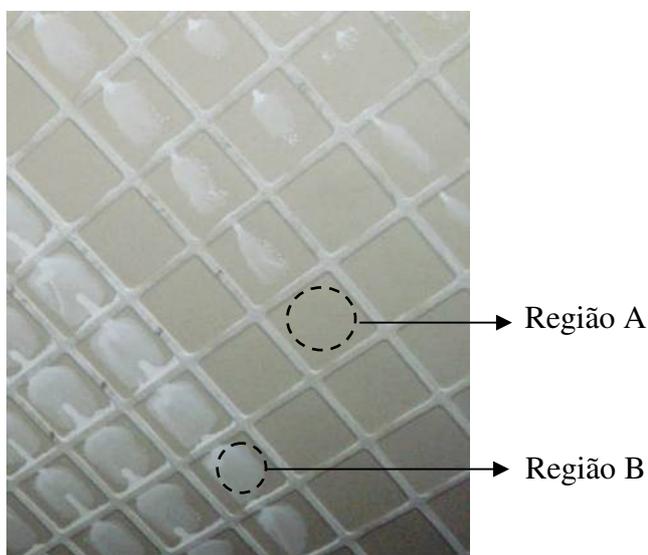


Figura 5.4 Parte posterior da Placa de porcelanato, a região A é a região limpa da placa, a região B é a região de engobe.

Imagem ampliada da Região A está apresentada na Figura 5.5 com o respectivo espectro de EDS mostrado na Figura 5.6.

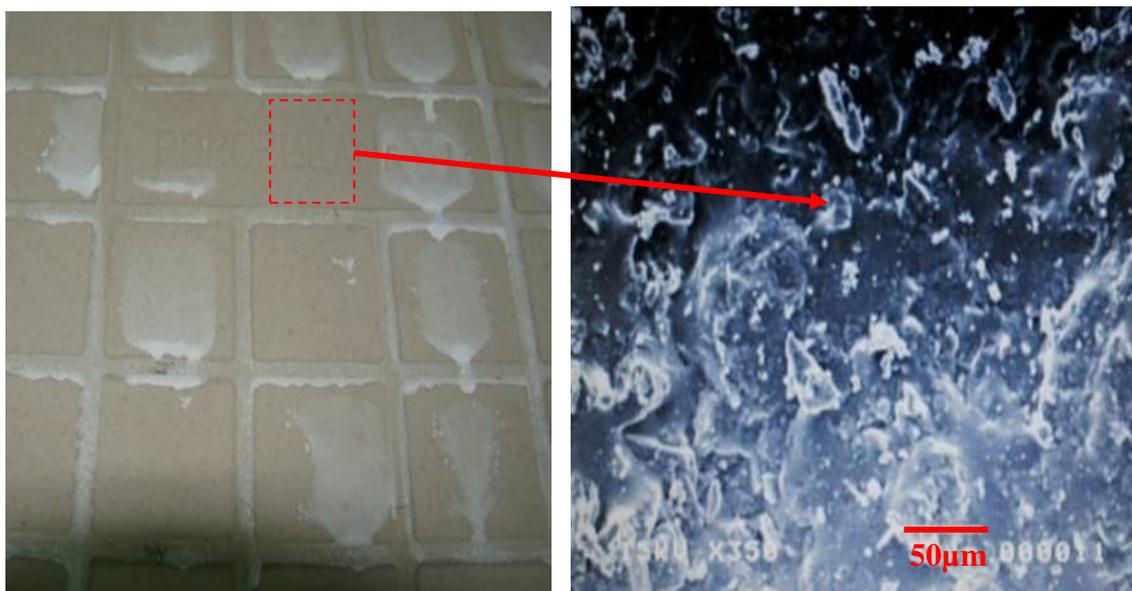


Figura 5.5 Micrografia da região do verso da placa cerâmica limpa – Região A (ampliação X350).

Na imagem de MEV, na ampliação observada, não foi revelada na superfície do porcelanato porosidade aberta aparente, em acordo com a ocorrência de baixo valor de absorção de água para o material (0,3%). Identifica-se uma extensa fase vítrea, caracterizada por sua textura lisa, na qual estão imersas as fases cristalinas presentes (quartzo e mulita) identificadas através da difração de raios X.

No espectro de EDS obtido a partir desta região A foram encontrados os elementos Al, Na, Ca, Fe, Mg e Si, com maiores teores de alumínio e silício. A predominância de Si e Al é esperada considerando-se que os porcelanatos são obtidos a partir de uma mistura de caulim ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) e/ou argilas ílítico-cauliníticas ($\text{K}_{1-1,5}\text{Al}_4(\text{Si}_{7-6,5}\text{Al}_{1-1,5}\text{O}_{20})(\text{OH})_4 - \text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) e feldspatos sódico-potássicos (XY_4O_8 onde o X está geralmente substituído por Na^+ , K^+ e Ca^{+2} e o Y representa quase sempre o Al^{+3} e o Si^{+4}). Os demais elementos aparecem em menores proporções sendo compatíveis com outras matérias-primas utilizadas no processamento de cerâmicas (SANCHEZ et al, 2001; SANCHEZ-MUNOZ et al, 2002).

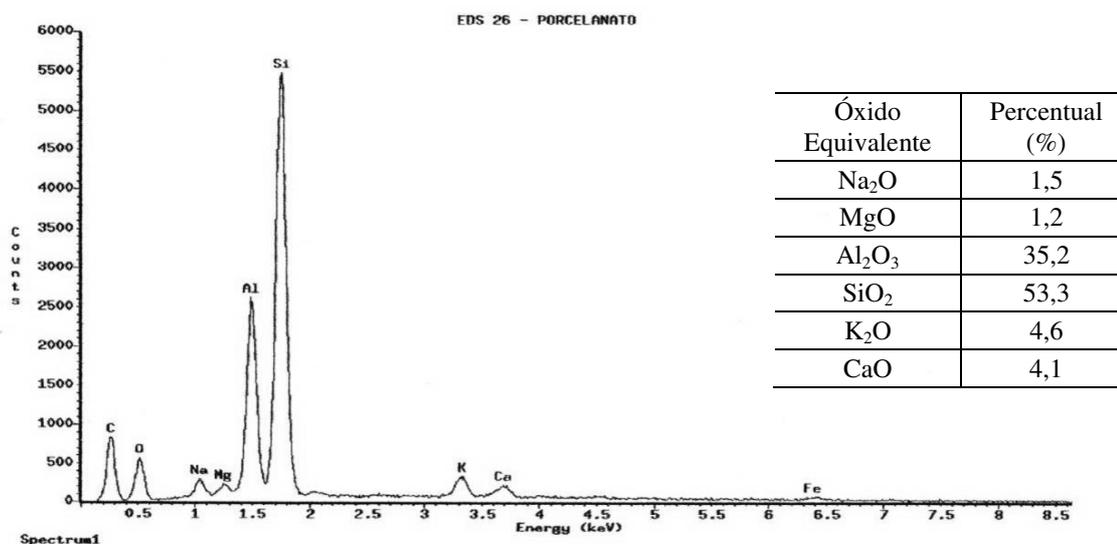


Figura 5.6 EDS área sem engobe (A). Análise na região central, predominante material cerâmico (porcelanato).

A Figura 5.7 mostra a microscopia da região B, local com a presença de engobe. As micrografias capturadas sobre o engobe revelam que o material impregnado é bastante poroso. Alguns autores relatam que este material aderido pode prejudicar a aderência por comprometer a ancoragem mecânica da argamassa, atuando como uma barreira à migração da argamassa aos poros da cerâmica (MARANHÃO et al, 2003). Por outro lado, MANSUR et al. (2007) verificaram a ancoragem de argamassa predominantemente sobre o engobe em placas de porcelanato, associado com o fato de ele não se apresentar pulverulento e seu material ser mais poroso do que o porcelanato.

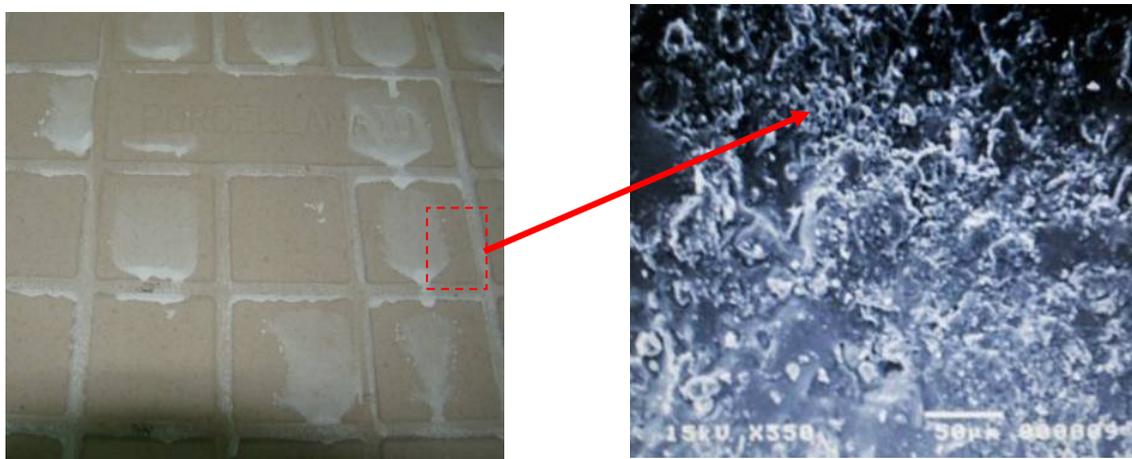


Figura 5.7 MEV 02 - Micrografia da região de engobe, ampliação X350, apresenta a fina camada de engobe depositada sobre a superfície.

A Figura 5.8 mostra o espectro de EDS obtido na área com presença de engobe (Região B). O gráfico apresenta os principais elementos constituintes dos materiais cerâmicos (Al e Si), além de disso foram encontrados teores de magnésio superiores aos valores aos medidos na Região A, sem engobe. A presença do Mg pode ser associada com a utilização de talco ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$) como engobe no friso do tardez para evitar a aderência da placa aos rolos do forno durante o processo de sinterização da placa cerâmica (MARANHÃO et al, 2003).

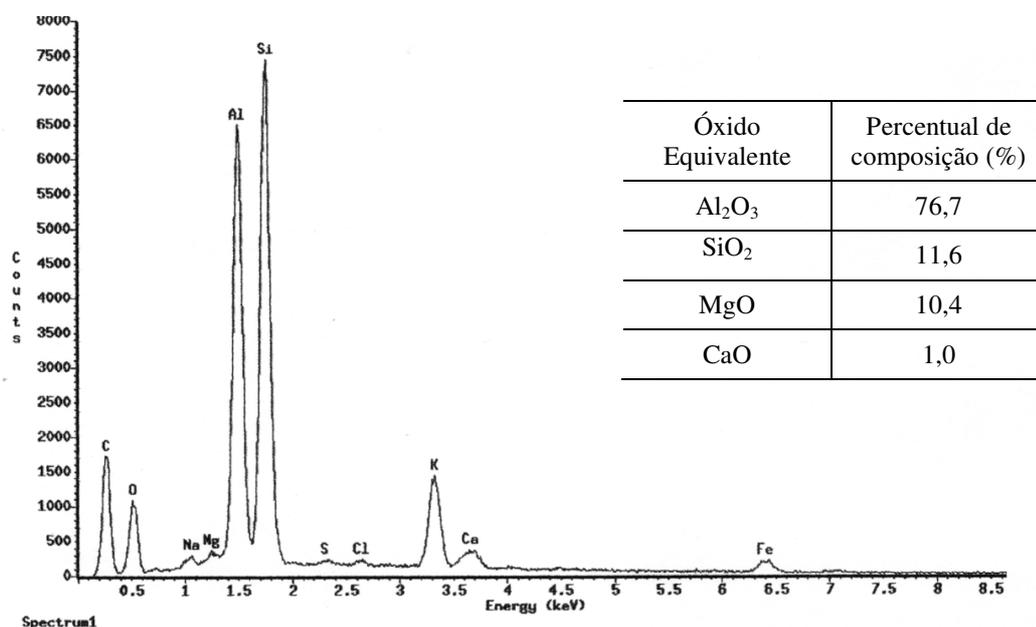


Figura 5.8 EDS da área com engobe com resultados dos cálculos estequiométricos dos óxidos equivalentes.

Foi também realizada a análise na região do friso do tardez do porcelanato, como mostra a Figura 5.9. É possível verificar a concentração do material esbranquiçado impregnado, nitidamente mostrado na micrografia.

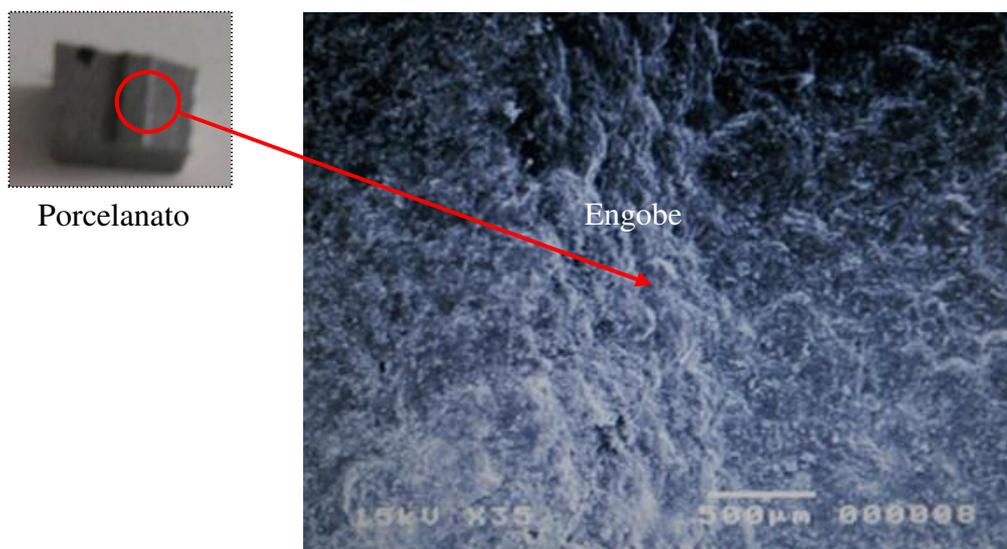


Figura 5.9 Micrografia na região de engobe no tardo da placa ampliação X35.

5.1.2 Caracterização da manta polimérica adesiva

5.1.2.1 Características físicas

A. Inspeção Visual

A Figura 5.10 mostra a manta polimérica adesiva estudada com parte do protetor plástico removido, trata-se de uma placa de 40x40 cm (A) com adesivo impregnado em ambas as faces, recoberta com um protetor plástico de cada lado (B), que deve ser removido para o assentamento.

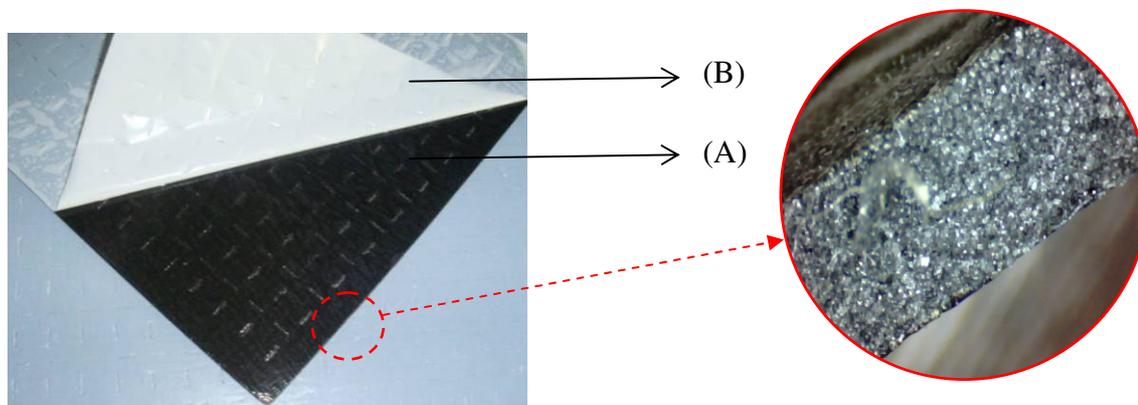


Figura 5.10 Manta Polimérica Adesiva em seu tamanho original e sua espessura, em detalhe, em uma ampliação x15.

B. Densidade

Avaliações dimensionais para determinação do volume da manta resultaram em uma medida $(2,27 \pm 0,05)$ mm de espessura, sendo identificada uma parte interna (Área 1 e detalhe da Figura 5.10) que possui cerca de $(2,00 \pm 0,08)$ mm, resultando que a parte externa possua, em cada lado, aproximadamente 0,14mm (Figura 5.11).

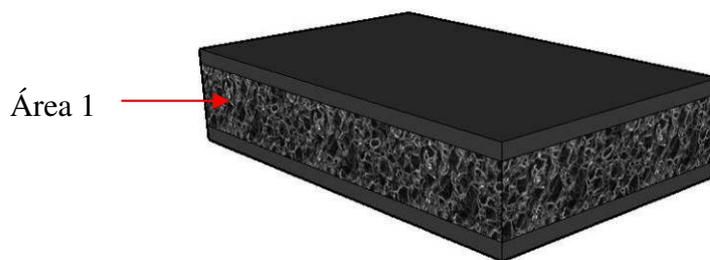


Figura 5.11 Representação esquemática das regiões da manta.

Após a pesagem e a medição do volume da manta, obteve-se o valor da densidade, que foi de $224,5 \pm 1,04$ kg/m³. Percebe-se que esse material possui baixa densidade, tendo em vista que o Polietileno de Baixa Densidade (PBD) possui densidade entre 912 a 925kg/m³ (COUTINHO et al., 2003). É possível perceber visualmente que a manta possui alvéolos semelhantes aos de espuma porosa (Área 1), característica esta explica a baixa densidade encontrada.

C. Absorção de água

A Tabela 5.1 mostra os resultados individuais e a média de absorção de água obtidos para a manta polimérica adesiva. A norma NBR 9952 determina que a absorção do material seja de até 3% para mantas asfálticas. A manta polimérica adesiva apresentou um valor médio de absorção de aproximadamente 7,5x menor que o especificado para manta asfáltica, o que indica que esse material absorve pouca água. Apesar de possuir característica visual de espuma, a absorção de água é baixa, o que indica que as células constituintes do material não são comunicantes, o que dificulta a passagem de água.

Tabela 5.1 Tabela de absorção

CP	Massa (g)		Absorção de água (%)	Média da absorção de água (%)
	Seca (m1)	Saturada (m2)		
1	133,00	133,64	0,4	0,4 ± 0,1
2	133,00	133,97	0,6	
3	130,00	130,17	0,5	
4	131,00	131,36	0,4	
5	131,00	131,47	0,3	
6	135,00	136,14	0,4	

D. Ângulo de contato

O ângulo de contato (θ_c) médio determinado para a superfície do adesivo na manta foi $93 \pm 2,8$ °, que caracteriza a superfície como hidrofóbica. A Figura 5.12 apresenta uma das fotografias utilizadas para a análise, que foi realizada na superfície da manta.



Figura 5.12 Ângulo de contato na manta adesiva.

E. Propriedades mecânicas

- Dureza “Shore” A

A manta polimérica adesiva sem o plástico protetor possui o valor da Dureza “Shore” A de 25 ± 2 . Essa propriedade é considerada importante em função da necessidade de conformação da manta nas variações do verso da placa de porcelanato e também devido à necessidade de ajuste de empenos característicos e previstos na norma brasileira de placas cerâmicas. ROCHA (2006) menciona que valores de dureza superiores a 35 indicam dificuldade de conformação para acomodar variações de espessura. Assim conclui-se que a manta possui condições de conformabilidade.

- Resistência à tração

Os gráficos da Figura 5.13 apresentam as curvas de Força x Alongamento para a manta adesiva sem uso (A) e após envelhecimento por temperatura (B). A Tabela 5.2 apresenta os resultados de tensão de ruptura, alongamento e o módulo de elasticidade obtidos nos ensaios.

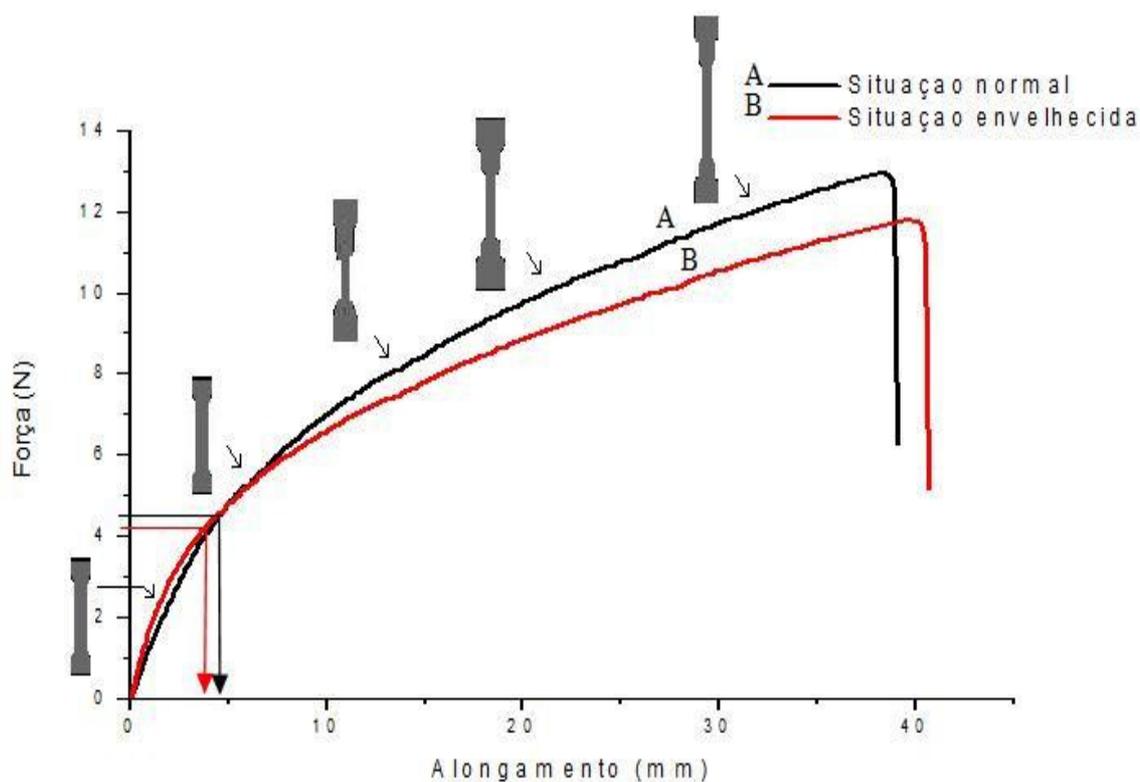


Figura 5.13 Curva de Força x Alongamento para as mantas adesivas nas duas situações de ensaio.

Tabela 5.2 Resultados e valores médios da tensão de ruptura, alongamento e módulo de elasticidade

Ensaio	Normal	Desvio Padrão	Envelhecida	Desvio Padrão
Tensão de Ruptura (MPa)	0,82	±0,15	0,73	±0,12
Alongamento (%)	91	±35	121	±30
Módulo de Elasticidade (MPa)	2,92	-	2,85	-

A Figura 5.14 apresenta o gráfico com os resultados da resistência à tração nas duas situações em estudo. A manta na condição normal apresenta maior resistência do que a envelhecida (redução de 11%). Segundo CHEW (2004), a presença de altas temperaturas altera as cadeias poliméricas, o que justifica a redução da resistência na fase envelhecida.

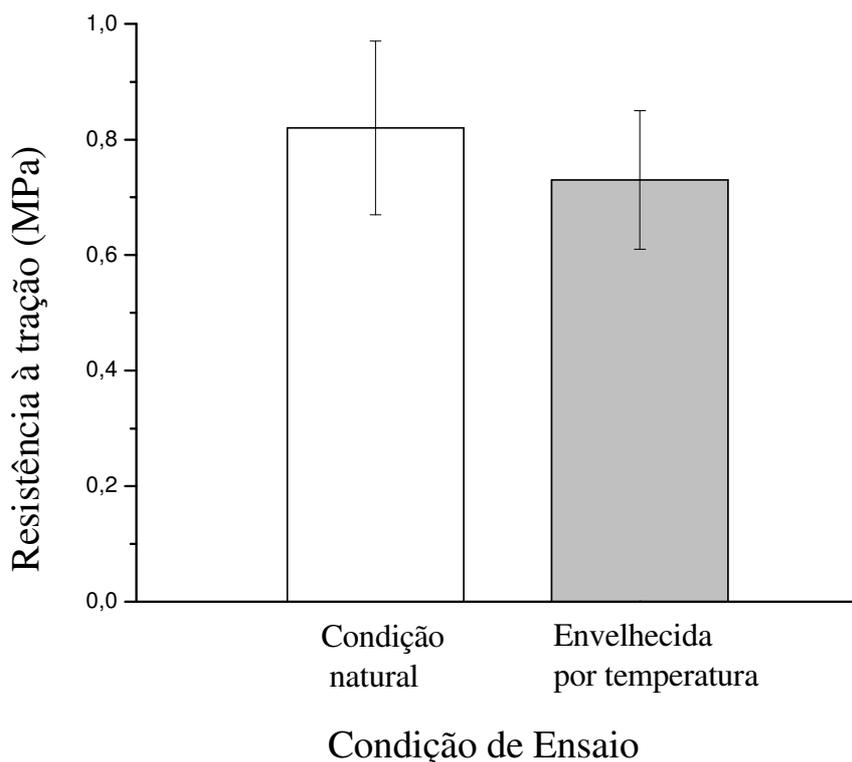


Figura 5.14 Gráfico da resistência à tração em cada uma das situações.

A Figura 5.15 apresenta o gráfico da porcentagem de alongamentos nas duas situações. É possível notar que na fase envelhecida por temperatura a manta atingiu um maior alongamento (33%). Segundo FELIXBERG (2008), a temperatura exerce grande influência sobre os polímeros, que tem suas propriedades alteradas quando esses são submetidos a temperaturas superiores à temperatura de transição vítrea.

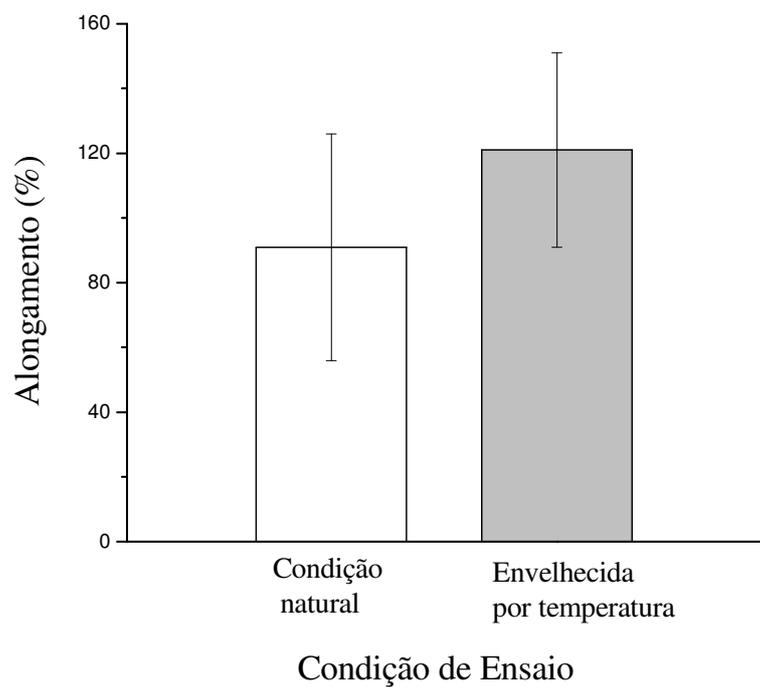


Figura 5.15 Gráfico da porcentagem do alongamento das duas situações.

A Figura 5.16 apresenta o gráfico do módulo de elasticidade dos dois tipos de amostras, que apresentam valores bem próximos indicando que a temperatura não teve grande influência na elasticidade do material.

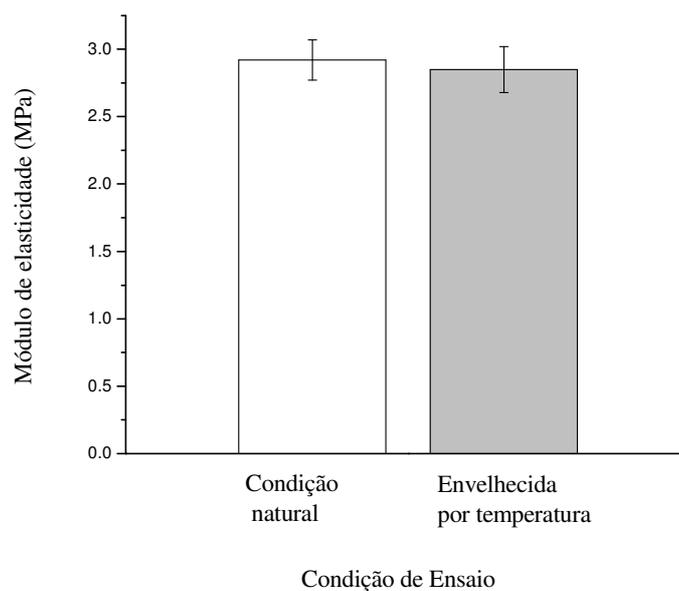


Figura 5.16 Gráfico do módulo de elasticidade nas duas situações.

F. Avaliação da distribuição do adesivo

A Figura 5.17 apresenta o resultado de impregnação da manta com fíller calcário. A região na figura que está em destaque é a região impregnada com fíller calcário, a outra área escura corresponde a região que estava coberta com o plástico protetor.

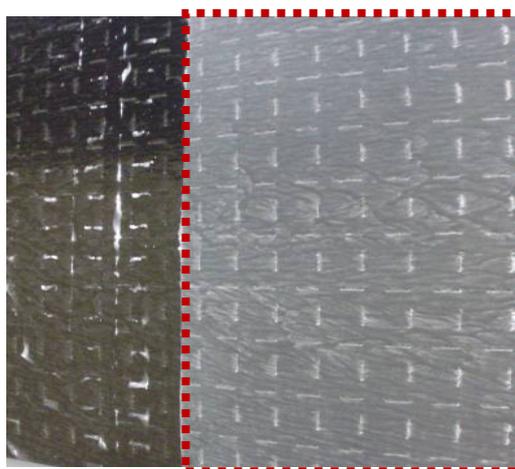


Figura 5.17 Ensaio para determinação da impregnação do adesivo sobre a manta.

Baseado neste resultado verifica-se que o adesivo está presente homogeneamente na superfície e distribuído em 100% de sua área, conforme pode ser visto na Figura 5.18. A porcentagem de distribuição apresenta a área de contato do adesivo, essa análise é importante em função do desempenho de aderência estar diretamente relacionado à área de contato com a superfície, conforme citado por PINTO et al, (2011).

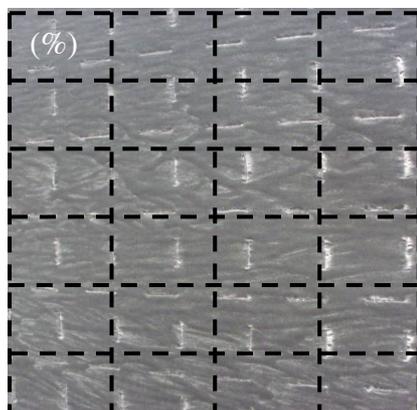


Figura 5.18 Testes para a avaliação da área de impregnação na superfície dividida em frações para determinação da área total.

5.1.2.2 Avaliação Microestrutural

Para efeito da análise microestrutural, a manta foi dividida em três partes. A Área 1 é a parte interior da manta, onde é visível a presença de vazios em forma de alvéolos reticulados. A Área 2 representa a parte exterior da manta, lisa e fechada da mesma coloração e material similar ao interior. Finalmente, a Área 3 apresenta a parte adesiva em forma de filme disperso na superfície, como mostra a Figura 5.19.

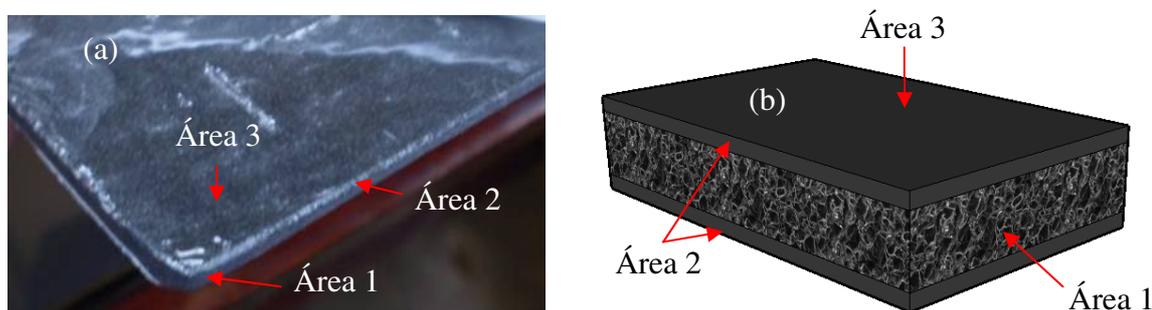


Figura 5.19 (a) Foto da manta (b) Representação esquemática da estrutura da manta estudada.

A. Difração de raios X

O padrão de difração do interior da manta, denominada de Área 3, está apresentado na Figura 5.20. O difratograma obtido para a manta em estudo, em comparação com as fichas do ICDD (International Centre for Diffraction Data) indicou picos associados ao polietileno (PE) semicristalino, além da presença de calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e feldspatos ($(\text{Na,K})\text{AlSi}_2\text{O}_3$, $\text{CaAl}_2\text{SiO}_3$), provavelmente utilizados como cargas no polímero. O propósito de adição de fillers minerais em matrizes poliméricas estava inicialmente relacionado à redução de custos. No entanto, estas adições também podem ser utilizadas para modelar propriedades mecânicas ou melhorar a estabilidade dimensional da matriz polimérica (ZUIDERDUIN et al, 2003).

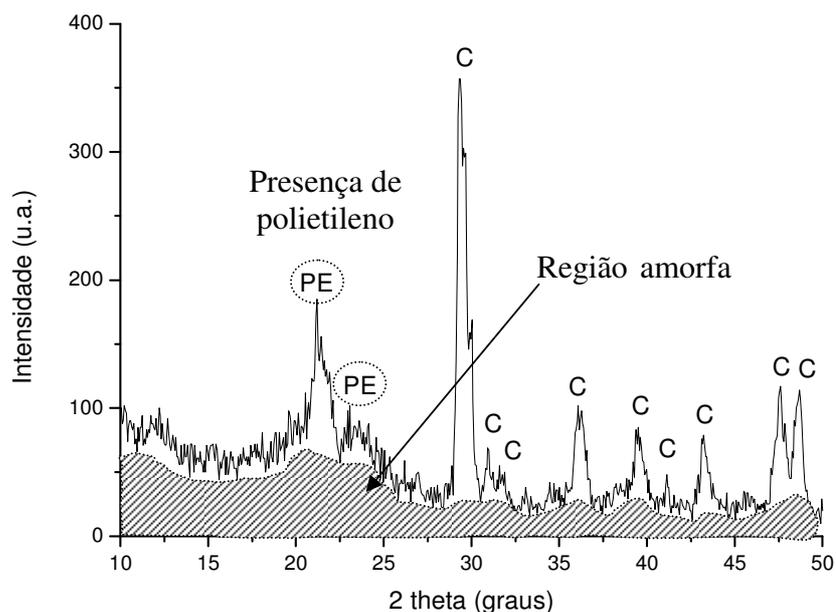


Figura 5.20 Padrão de XRD obtido para a manta adesiva em estudo (Área 3). PE = polietileno e C = cargas minerais.

A partir do difratograma foi possível calcular que o percentual da área amorfa, associado com o polietileno semicristalino, é de 60,4%, conforme procedimento descrito por COATES (2000).

B. Espectroscopia na região do infravermelho da seção transversal e da superfície

Os espectros resultantes da espectroscopia de absorção de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) apresentaram os picos relacionados aos diferentes polímeros em estudo e alguns associados com ambos os polímeros.

Foi realizado o ensaio para a determinação da composição da parte interior da manta. O espectro obtido está apresentado na Figura 5.21. No espectro da manta identificam-se picos em 2917 e 2855 cm^{-1} relativos ao $\nu(\text{C-H})$ e na região de 1470-1430 cm^{-1} associado ao $\delta(\text{C-H})$, características do polietileno (Figura 5.22). Esta última região se encontra sobreposta com a faixa característica dos carbonatos (1470-1420 cm^{-1}) que também são identificados pela vibração em 870-850 cm^{-1} (VAN DER MAREL e BEUTELSPACHER, 1976). Bandas relativas aos feldspatos também foram verificadas (Si-O-Si na faixa de 1000-800 cm^{-1}). As bandas de 1660 e 850-1000 cm^{-1} ,

correspondentes às ligações C=C, resultantes de rupturas da cadeia e formação de produtos insaturados, apresentaram-se com picos muito fracos para ambas as amostras, não evidenciando com clareza a presença destas ligações confirmadas por BRANDAO (2008).

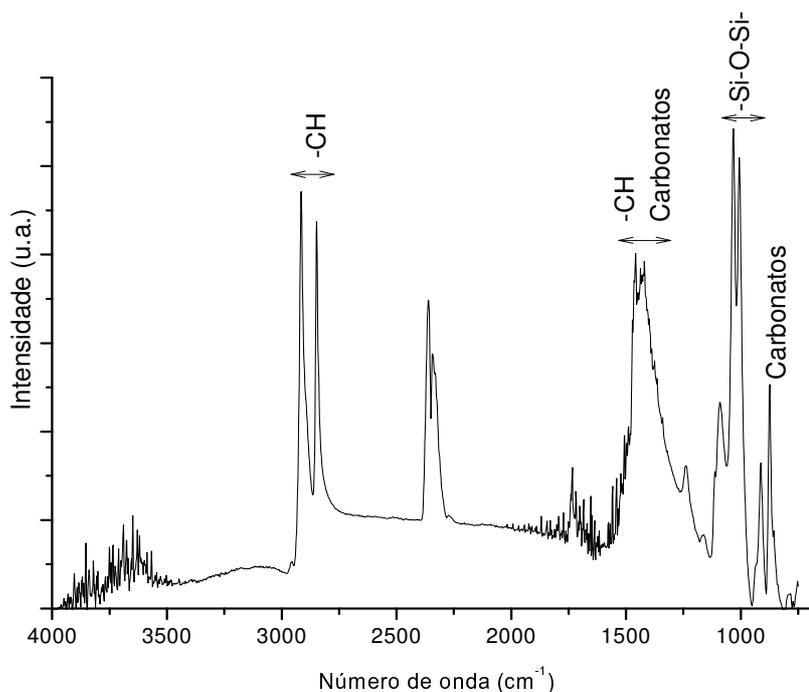


Figura 5.21 Espectro de FTIR obtido a partir do interior da manta (áreas 1 e 2).

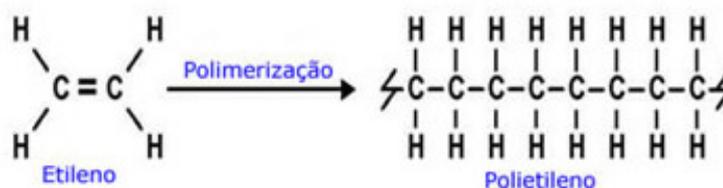


Figura 5.22 Etileno submetido a polimerização se transformando em polietileno.

Espectro de infravermelho também foi obtido na superfície da manta, região do adesivo (Área 3) conforme mostrado na Figura 5.23. No espectro do adesivo são identificados bandas de vibração associadas a polímeros acrílicos, a saber: carbonila, C=O, em 1740-1720 cm^{-1} , grupos éster, C=O-OR, em 1455-1445 cm^{-1} e grupos éter, C-O-C, na faixa de 1150 a 1170 cm^{-1} (POVOAS et al., 2005; SILVA E RONAN, 2001; FONSECA et al., 1991). A estas bandas somam-se as vibrações associadas ao estiramento dos grupos -C-

H na região de $3000\text{-}2800\text{cm}^{-1}$ (SCHÖSSLER, 2001; VAN DER MAREL e BEUTELSPACHER, 1976).

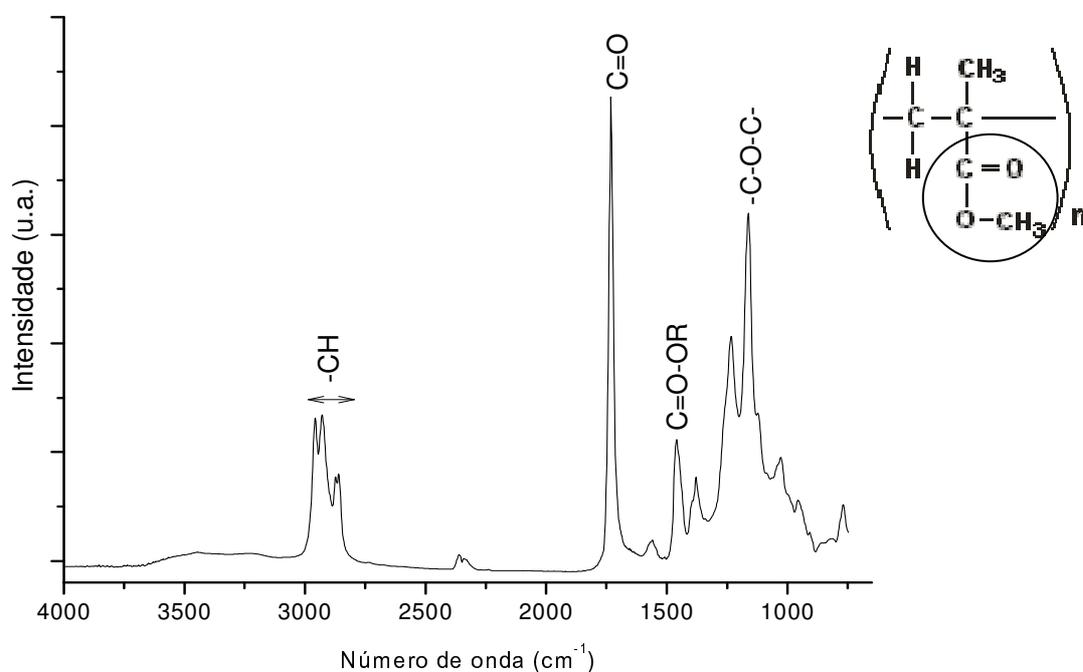


Figura 5.23 Espectro de FTIR obtido a partir da superfície da manta (área 3).

C. Análise microscopia eletrônica de varredura sobre a manta e o seu interior

Imagens de microscopia eletrônica de varredura foram obtidas a partir de uma amostra da manta polimérica adesiva, em duas regiões distintas: região interna (áreas 1 e 2, Seção transversal) e região externa (área 3). A Figura 5.24(a) mostra as imagens de MEV realizado na parte interior da manta, que foi identificada na Figura 5.19 como área 1 (interior da manta adesiva). É possível verificar a existência alvéolos reticulados com espaços vazios, característica predominante de polietileno expandido.

Na Figura 5.24(b), é apresentada a micrografia da superfície da manta polimérica, que foi representada como área 3 na representação esquemática da manta (Figura 5.19). Nessa área é possível perceber o filme adesivo.

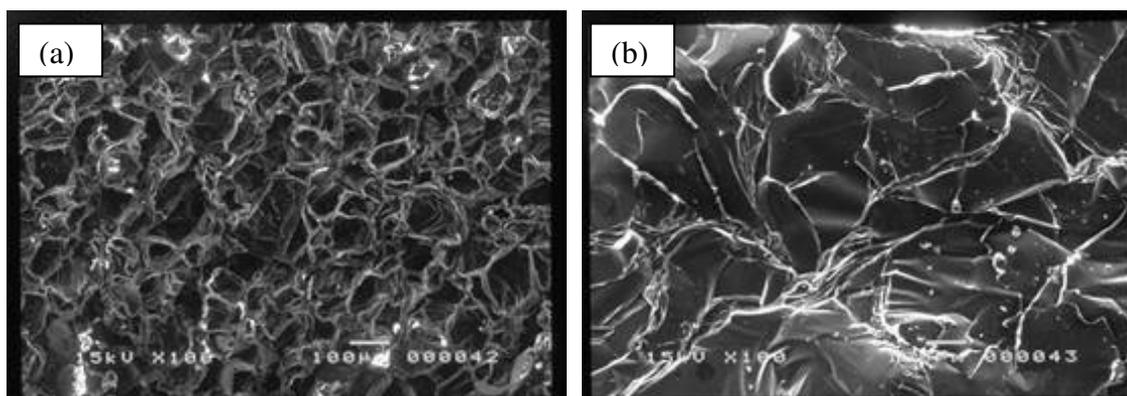


Figura 5.24 Microscopia de poros com dimensões compreendidas entre 1 e 100 μm , (100X); (a)verificadas no interior da manta (b)verificadas na superfície da manta.

A imagem de MEV e os espectros de EDS obtidos a partir de seção transversal da manta estão apresentados na Figura 5.25. Pode-se se observar que a região central da manta apresenta estrutura celular (Figura 5.25b) justificando a baixa resistência à tração medida. O espectro de EDS desta região (Figura 5.25a) indica a presença dos elementos químicos constituintes do polietileno, além dos característicos das cargas (Al, Si, Na, K, Ca e Mg). A região da superfície da manta, que contém o adesivo, revela especialmente a presença do carbono (Figura 5.25c). Em ambos os espectros foi detectada a ocorrência de enxofre (S) que pode ser associada à vulcanização do polietileno (Figura 5.26).

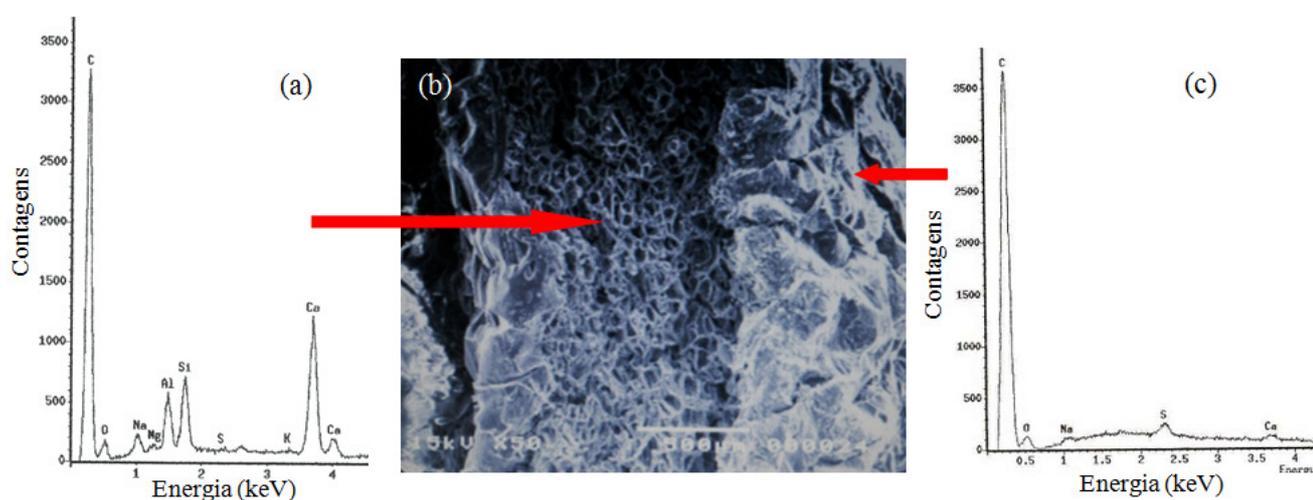


Figura 5.25 Imagem de MEV da seção transversal da manta (b) com os espectros de EDS da superfície do adesivo (c) e do interior da manta (a).

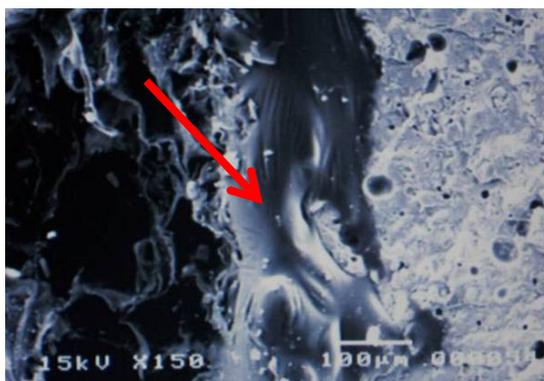


Figura 5.26 Representação esquemática da vulcanização.

É interessante observar que a vulcanização não foi identificada através do FTIR devido às bandas características destas ligações cruzadas, -C-S-C- e -S-S-, por exemplo, serem encontradas na faixa de $690\text{-}710\text{ cm}^{-1}$ e $540\text{-}500\text{ cm}^{-1}$ (ZHANG et al, 2002; PARDASANI et al, 2005), respectivamente. Portanto, em números de onda abaixo da faixa de detecção utilizada para a análise.

D. Análise térmica da manta polimérica

As curvas de TG (Análise termogravimétrica) e DTG (derivada da perda de massa) e DSC (Calorimetria exploratória diferencial) obtidas a partir da manta estão apresentadas na Figura 5.27 e 5.28, respectivamente.

Os perfis associados à perda de massa da manta (Figura 5.27) mostram dois picos distintos, em $390,5^{\circ}\text{C}$ e $472,5^{\circ}\text{C}$, associados com a degradação térmica do polímero, com redução de massa de 61,6%. A curva de DSC também apresenta dois picos endotérmicos nesta região, associados aos picos de variação de massa na curva de DTG. De acordo com a literatura o processo de degradação dos PE ocorre entre as temperaturas de 380 e 530°C sendo dependente da densidade do polímero e da taxa de aquecimento (SINFRÔNIO, 2006). A ocorrência de dois picos endotérmicos nesta região característica da decomposição do polímero pode estar relacionada com as diferentes morfologias/conformação e macro e microestrutural do polietileno nas Áreas 1 e 3, condensada e alveolar, identificadas anteriormente (KARDOS et al, 1965).

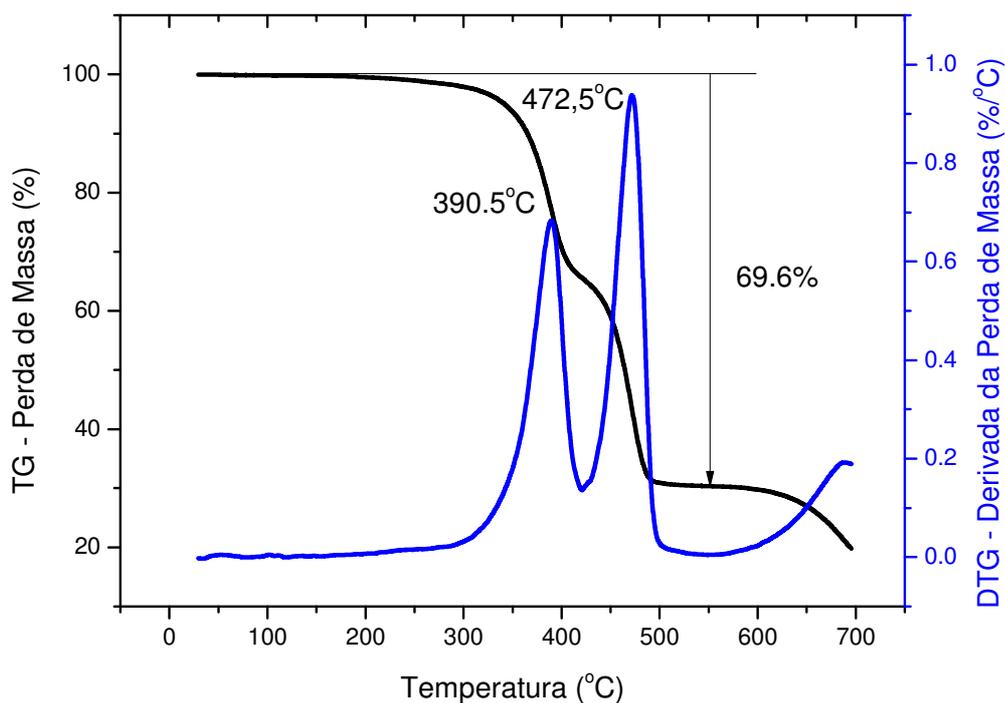


Figura 5.27 Curvas de TG e DTG obtidas para a manta polimérica dupla face.

A curva de DSC também permite considerações sobre a fusão do polímero constituinte da manta. Pode-se observar um pico endotérmico em centrado em 134°C. A fusão do PE ocorre na faixa de 105°C a 135°C dependendo principalmente do tipo do polietileno. A pequena definição do pico pode ser associada ao elevado caráter amorfo identificado para a manta (CASTANHO, 2012).

Baseado no perfil térmico de perda de massa/eventos endotérmicos, foi feita a calcinação da manta em mufla em condições ambientais (sem atmosfera inerte) para a determinação da quantidade de polímero no sistema manta adesiva. Os resultados indicaram a presença de cerca de $67 \pm 2\%$ de polímeros e $33 \pm 2\%$ de cargas e cinzas.

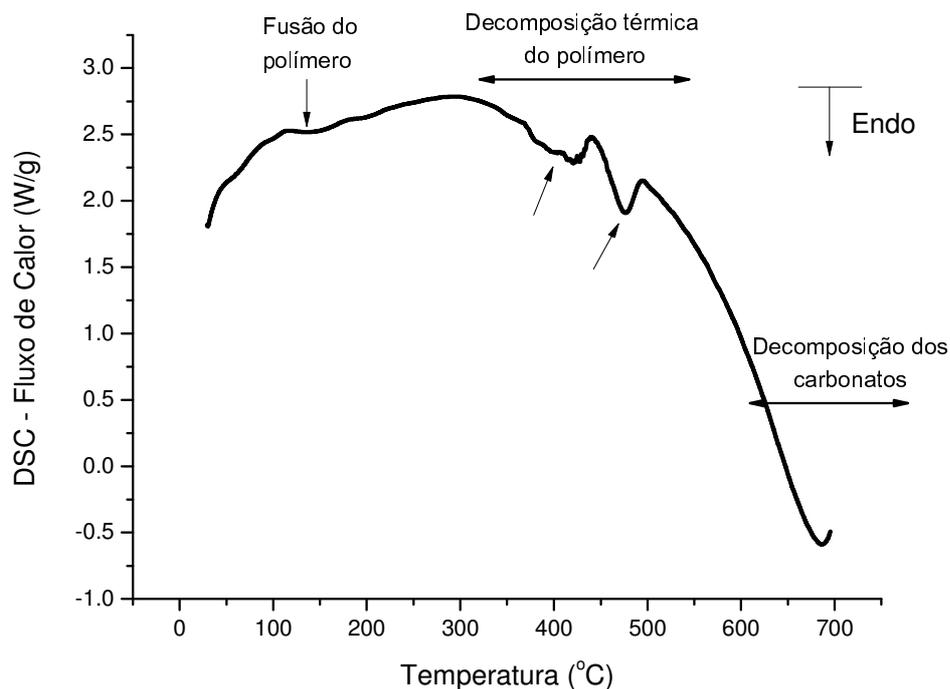


Figura 5.28 Curva de DSC obtida para manta polimérica dupla face.

A partir dos ensaios de caracterização da manta, pode-se afirmar que a manta é constituída por três regiões distintas, como mostra a representação esquemática na Figura 5.29. A área 1 corresponde a espuma de polietileno porosa, a área 2 ao polietileno vulcanizado, e a região da área 3 representa o adesivo. O fabricante informou que há adição de minerais na espuma de polietileno, os mesmos encontrados por FTIR e DRX. A Figura 5.29 mostra a mesma representação esquemática da Figura 5.19, entretanto com a identificação das áreas.

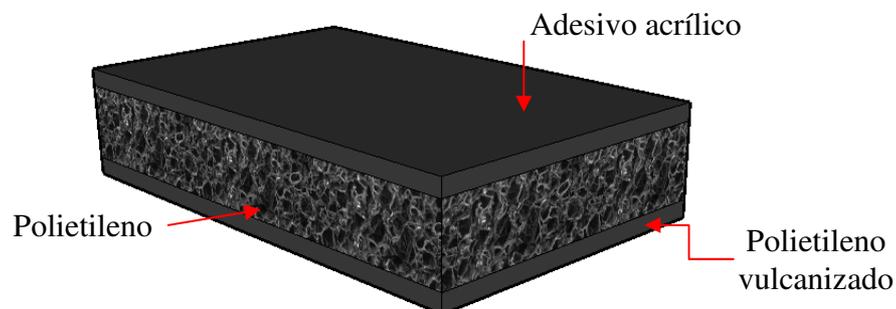


Figura 5.29 Representação esquemática da Manta adesiva com suas partes constituintes.

5.1.3 Caracterização Argamassa Colante

5.1.3.1 Características Físicas

A. Ensaio de caracterização de argamassa colante – Aderência à tração, tempo em aberto e deslizamento

O ensaio proposto de caracterização de argamassa colante é o ensaio preconizado na NBR 14081 (ABNT, 2012 a, b, c, d, e), que constitui em avaliar a aderência em situações de cura normal, submersa e estufa além da avaliação de deslizamento e tempo em aberto de argamassa colante. Os resultados dos ensaios estão na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 Caracterização argamassa colante

Ensaio	Cura normal	Cura submersa	Cura em estufa
Resistência de aderência	1,66±0,22 MPa	1,21±0,35 MPa	1,10±0,30 MPa
Ruptura predominante	CA/AP*	CA/AP*	CA/AP*
Tempo em aberto	≥ 30 minutos		
Deslizamento	0,44 mm		
CLASSIFICAÇÃO	ACIII		

*CA – camada de argamassa; AP – interface argamassa colante / placa cerâmica.

Resultados referem-se a média de 10 amostras ± desvio padrão (MPa). Os valores de resistência de aderência caracterizam a argamassa colante do estudo como ACIII, conforme a NBR 14081/2012, atendendo à especificação do fabricante na embalagem do produto. Este material é utilizado como referência para o estudo dos sistemas de assentamento.

5.1.3.2 Avaliação Microestrutural

A. Difração de raios X (XRD)

O difratograma obtido para a argamassa colante está mostrado na Figura 5.30. A curva permite identificar o caráter cristalino dos materiais utilizados na composição da argamassa colante e fases características do cimento (alita e belita), agregados (quartzo) e adições (calcita). Estes materiais inorgânicos são usualmente encontrados em cimentos e areias e alguns picos adicionados aos polímeros em pó redispersíveis (SILVA e ROMAN, 2001).

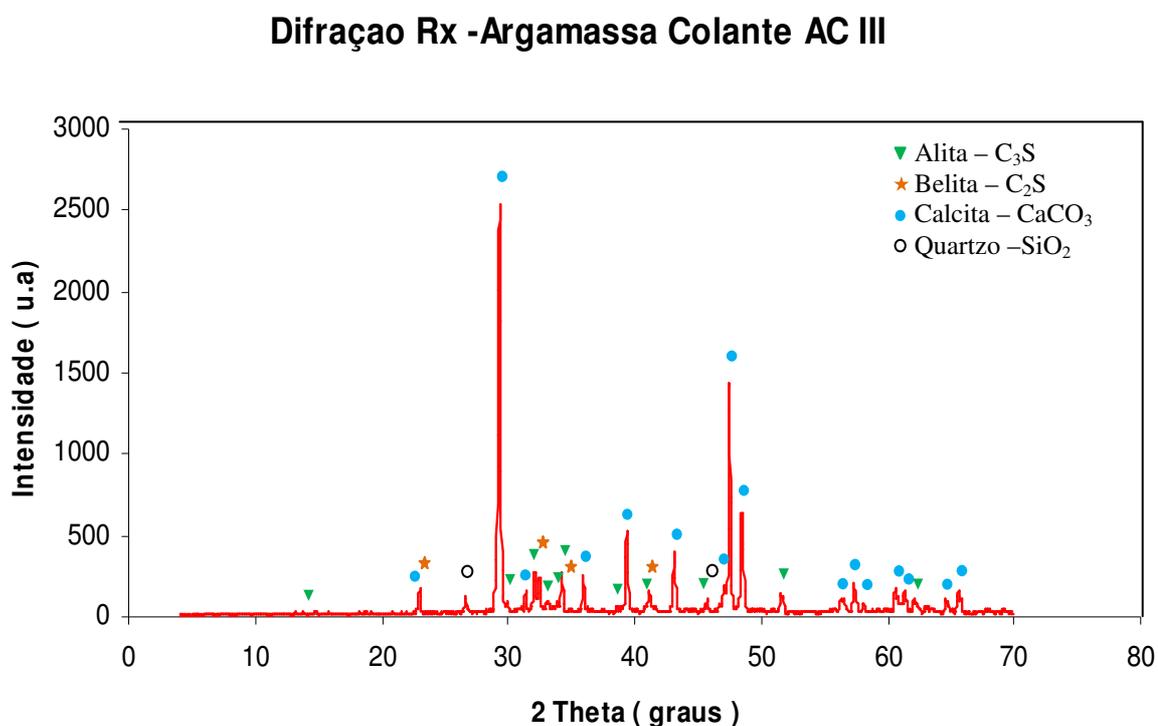


Figura 5.30 Difração de raios –X da argamassa colante.

5.2 Avaliação do Desempenho de Aderência dos Sistemas de Assentamento

5.2.1 Resistência de aderência da manta polimérica adesiva e Argamassa colante ACIII com diferentes tipos de cura

5.2.1.1 Cura ao ar

A situação cura ao ar é a situação de referência nas comparações com os outros tipos de condições de ruptura. A Tabela 5.4 apresenta a média dos resultados obtidos do ensaio à tração, o desvio padrão e a forma de ruptura. A Figura 5.31 mostra a imagem das placas após a ruptura.

Tabela 5.4 Resultados do ensaio de aderência na situação de cura ao ar

Situação	Material de assentamento	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Cura ao ar	Manta	0,14	±0,02	
	ACIII	0,75	±0,08	

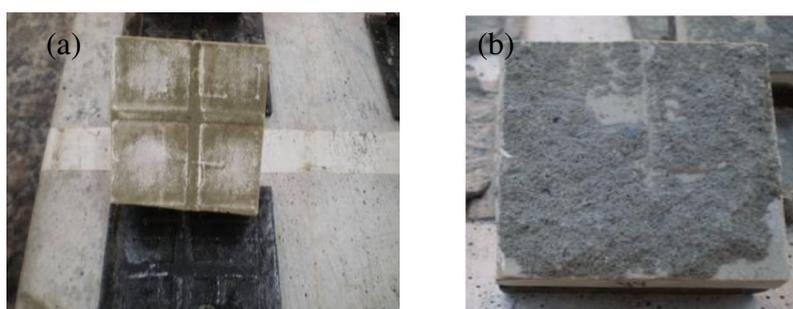


Figura 5.31 Ruptura quando submetido a cura normal (a) Manta (b) ACIII.

O valor de referência para a resistência de aderência de placas cerâmicas assentadas com argamassa colante em ambientes internos e externos é 0,30 MPa. Os resultados obtidos na cura ao ar para a manta adesiva foram inferiores a esta referência e cerca de 400% menores que os obtidos para a argamassa colante, apesar de terem a mesma tipologia de ruptura. Isso demonstra que as forças de aderência na manta são mais fracas devido às ligações poliméricas, como citadas por SILVA (2008). A ausência de contato em toda a área da placa também pode ter influenciado negativamente o resultado.

Em relação à forma de ruptura do sistema assentado com manta polimérica, observa-se macroscopicamente ruptura no adesivo (devido à impregnação pelo filler) com poucos sinais de ruptura coesiva na manta. Pode-se observar nas amostras utilizando-se da

manta adesiva que a manta fica aderida no local do friso, mas na região de baixo relevo logo após o friso, há espaços vazios. A Figura 5.32 mostra esse detalhe observado.

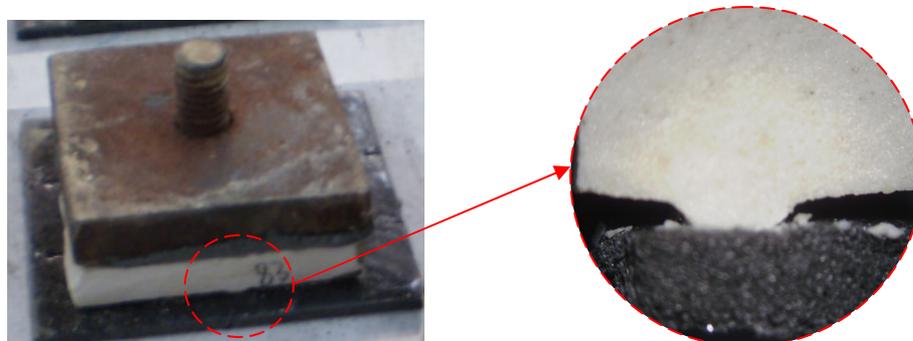


Figura 5.32 Detalhe da manta aderida ao friso com espaços vazios na região de baixo relevo em função da rugosidade e presença de frisos no verso da placa.

5.2.1.1.1 Análise microestrutural

A. Manta Polimérica Adesiva após a ruptura na situação de cura ao ar

Após a ruptura do sistema substrato, manta e porcelanato submetido à cura normal foi realizada a microscopia eletrônica de varredura na amostra detalhada na Figura 5.33. A região 1 da Figura 5.33 representa a área da manta polimérica em contato com o substrato, a região 2 representa o friso do porcelanato e a região 3 é a área de baixo relevo da placa.

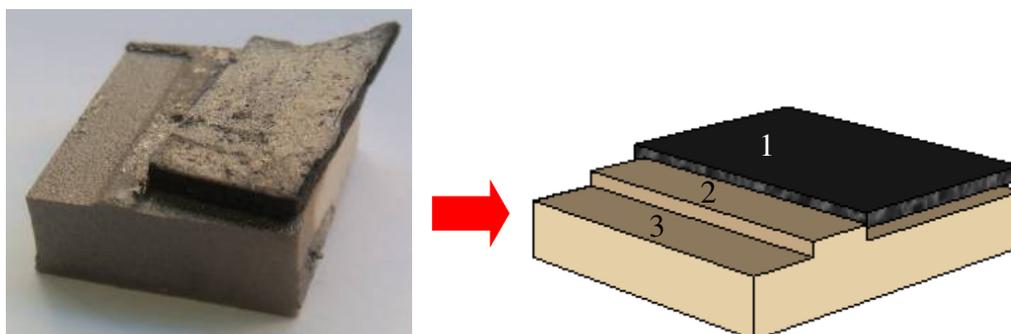


Figura 5.33 Detalhe da amostra em estudo.

Foi realizada a microscopia na região de baixo relevo (área 3 na Figura 5.33), mostrando a aderência da manta ao porcelanato. A Figura 5.34 apresenta a microscopia

realizada. Nota-se a presença de duas regiões distintas, uma clara indicada pela área A e a escura indicada pela área B.

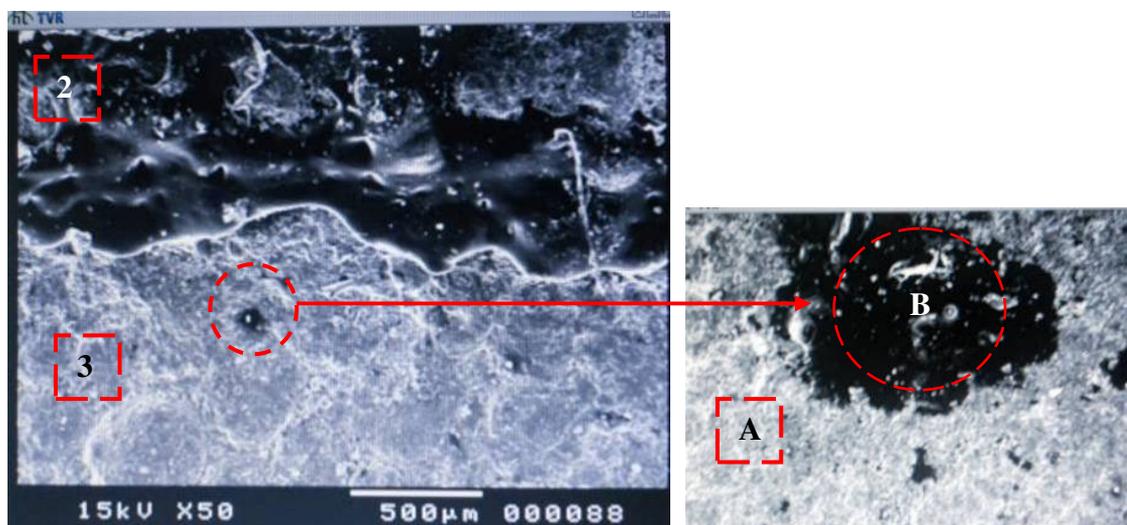


Figura 5.34 Micrografia 50X da região de baixo relevo em situação de cura normal.

A Figura 5.35 mostra o EDS referente a análise na área clara (A) do tarso do porcelanato, representativa da área 3, na qual predomina o aspecto do tarso do porcelanato na imagem. Esse espectro confirma a composição característica do porcelanato com pequena presença de polimérico, pelo menor teor de carbono nesta região.

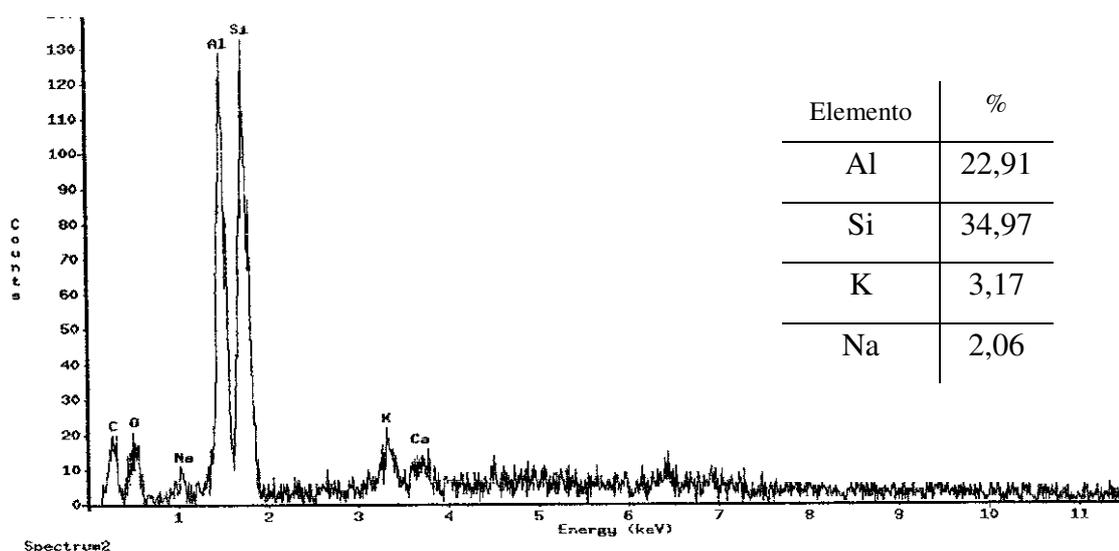


Figura 5.35 EDS área clara da região do tarso região 1.

A Figura 5.36 mostra o gráfico EDS referente à análise na região escura do friso do tardoz (área 2 na Figura 5.34). A partir de sua análise é possível confirmar a presença do material polimérico da manta adesiva impregnado na superfície devido ao elevado teor de carbono indicativo de material orgânico, demonstrando a ruptura coesiva no interior da manta quando se analisa o EDS juntamente com a imagem.

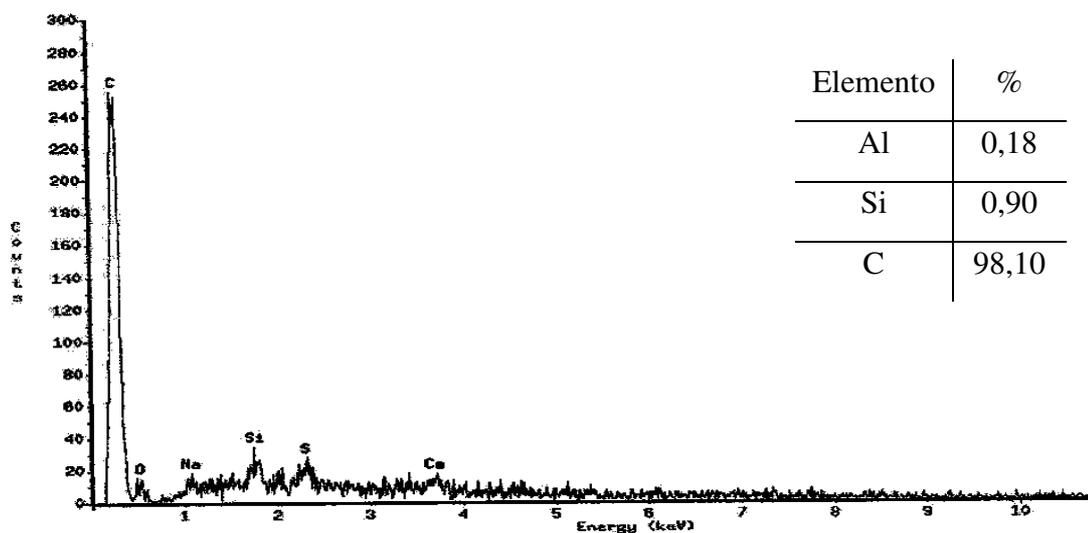


Figura 5.36 EDS região escura do friso do tardoz região 2.

Os pontos escuros da região de baixo relevo (Ponto B, área 3) são provenientes da manta aderida no local, indicando a ocorrência de interação entre o porcelanato e a manta. A manta adesiva se encontra na extensão da área de contato, se comportando melhor sobre os frisos deixando fragmentos presos a placa. Isso confirma os dados apresentados por SILVA (2008) que cita o efeito da pressão influenciando positivamente a colagem, este fato foi verificado na região do friso, isto é comprovado com a presença de carbono proveniente do material polimérico nesta região.

A Figura 5.46 mostra o detalhe da impregnação de polímero sobre o porcelanato na região de baixo relevo, confirmando a presença polimérica no ponto escuro da micrografia, demonstrando sua presença na ampliação de 500 X.

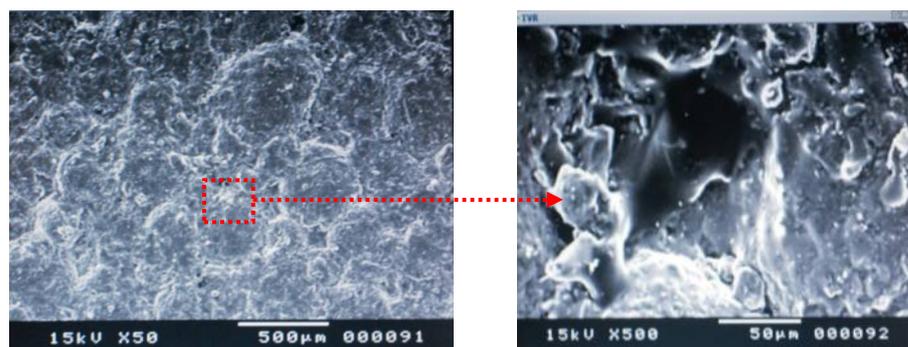


Figura 5.37 Detalhe da impregnação do polímero e ponto escuro da micrografia, com ampliação de 500 X.

A Figura 5.38 mostra a região da manta (face em contato com porcelanato) após a ruptura na situação de cura normal. Essa mesma região foi utilizada para a execução do EDS. Há presença de um ponto com impregnação de cor clara, apresentando característica de material cerâmico, mostrado na ampliação da microscopia de 500X.

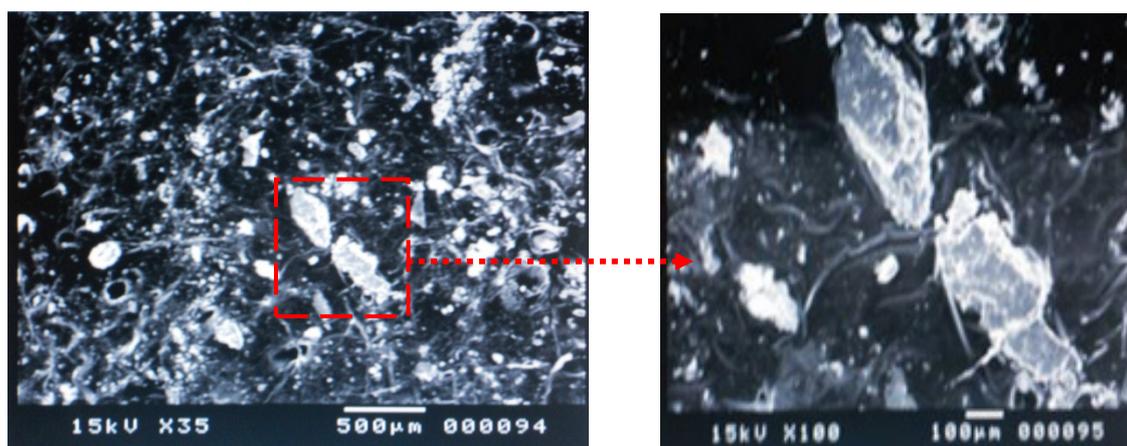


Figura 5.38 Região da manta após a ruptura e ampliação a região do engobe.

A Figura 5.39 mostra a análise de EDS sobre o ponto claro em detalhe na Figura 5.38. A análise no ponto identificado como partículas claras na região da manta adesiva apresenta indícios de material do porcelanato e cargas características da manta adesiva.

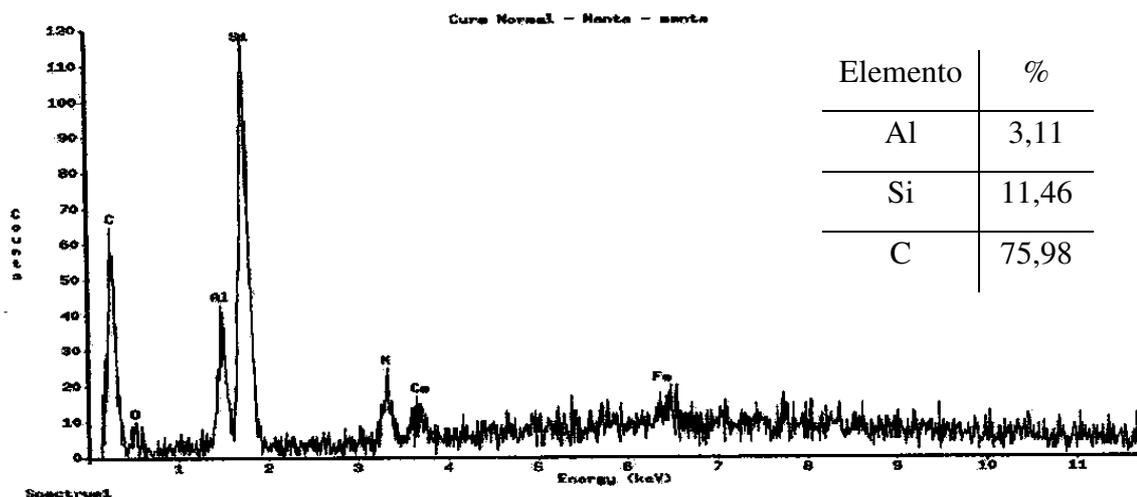


Figura 5.39 EDS região clara.

A Figura 5.40 mostra a região da manta, com a presença de material particulado. Nessa mesma região foi realizada a análise de EDS sobre estas partículas, confirmando a presença de material cerâmico e cargas da manta; a microscopia foi obtida a partir da ampliação de 1000X.

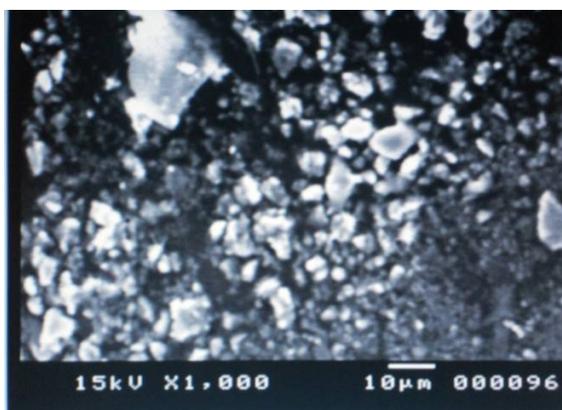


Figura 5.40 Região da manta, com a presença de material particulado, aumento de 1000X.

Na Figura 5.41 mostra o EDS obtido através da mesma região da Figura 5.49. Nessa região verifica-se a presença de um material particulado sobre a manta adesiva após sua ruptura em cura normal. No material em estudo foi identificada a presença de material dos elementos típicos do porcelanato e das cargas da manta.

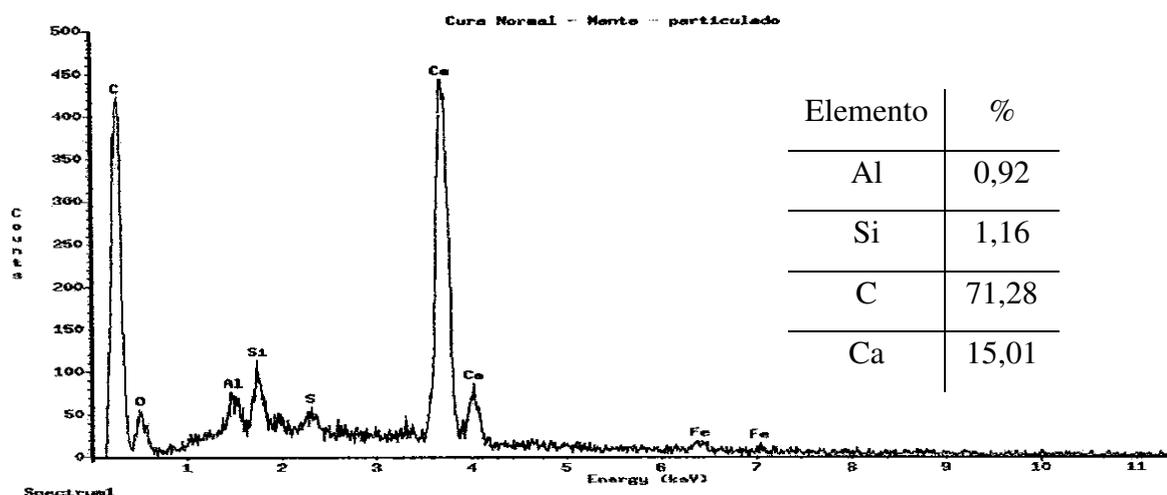


Figura 5.41 EDS área da manta contendo material particulado.

A Figura 5.42 mostra a microscopia e o detalhe na região da manta para avaliação do tipo de ruptura e o contorno dos grãos de contato do porcelanato com a manta. Pode-se observar pontos de rasgos no filme polimérico da manta adesiva. A região mostrada como 1 representa a região da manta com presença de reticulado e a área 2 é a região intermediária entre a área reticulada e o grão.

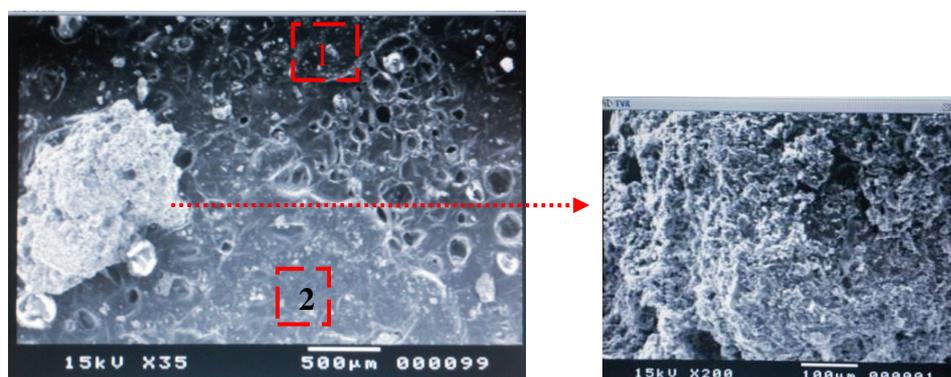


Figura 5.42 Detalhe da região da manta para avaliação do tipo de ruptura e pontos de rasgos no filme polimérico da manta adesiva.

A Figura 5.43 mostra o EDS realizado na manta sobre a região de aparente ruptura do filme polimérico (reticulado) e a partícula (região do grão). Nota-se a presença dos componentes típicos das cargas da manta.

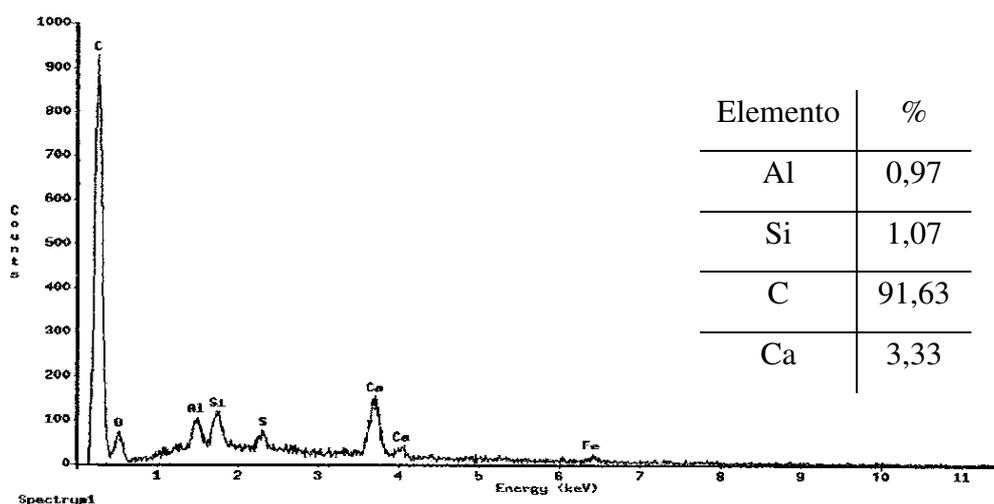


Figura 5.43 EDS da região intermediária entre a área reticulada e o grão.

A Figura 5.44 mostra o EDS realizado na região do grão, que pelas suas características ele corresponde ao engobe aderido na manta com a formação polimérica ao seu redor.

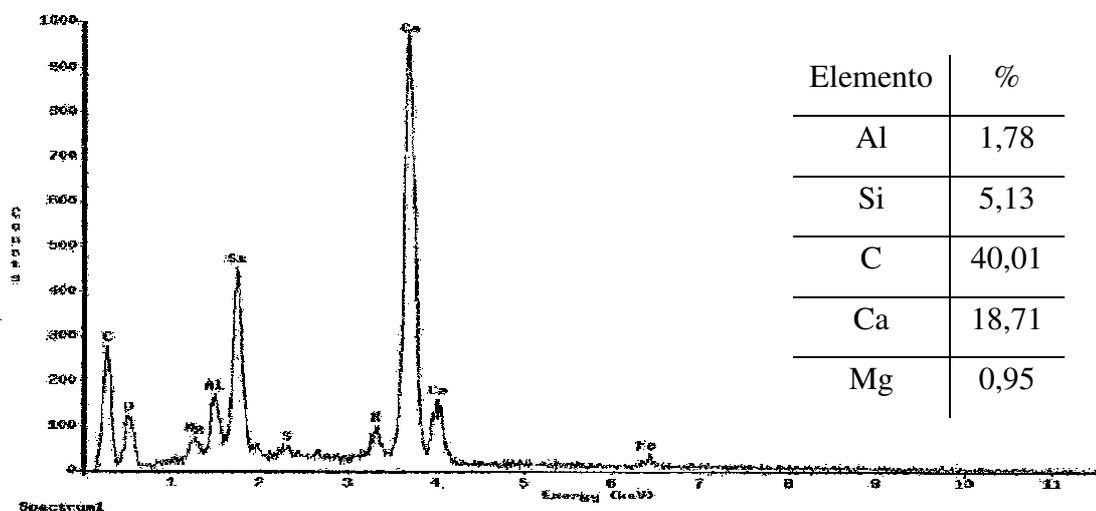


Figura 5.44 EDS, análise realizada na área da partícula (região do grão).

A Figura 5.45 mostra a microscopia de região de transição do engobe com a manta polimérica (vista pelo lado da cerâmica), a Figura 5.54(a) mostra a imagem com ampliação de 50X e a Figura 5.54(b) apresenta a região mais detalhada com ampliação de 200X. Essas imagens mostram muito material agregado na manta, isso indica que houve uma aderência suficiente do adesivo da manta nesse local.

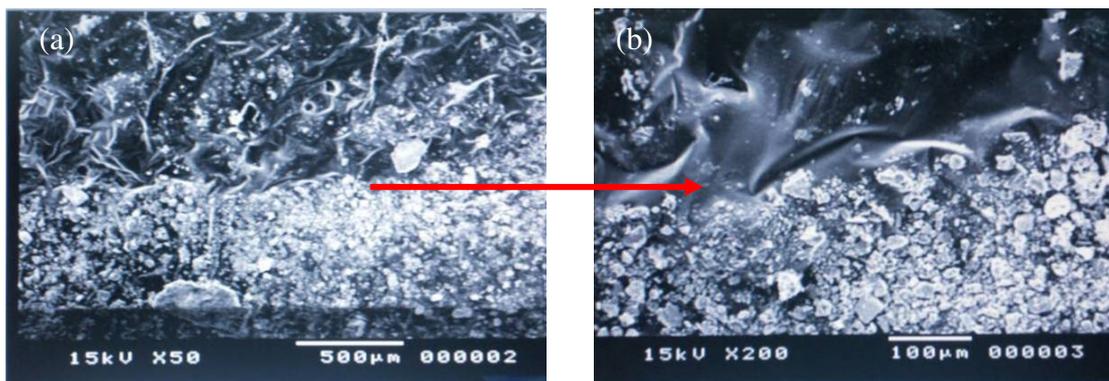


Figura 5.45 Detalhe da micrografia da transição da região de engobe com material polimérico, ampliação de 50x(a) e 200x(b).

A Figura 5.46 apresenta a microscopia na região da manta após a ruptura, essa imagem mostra que o filme polimérico densificado da manta foi rompido em vários locais, como delimitado na imagem. Isso comprova a boa aderência do adesivo no substrato.

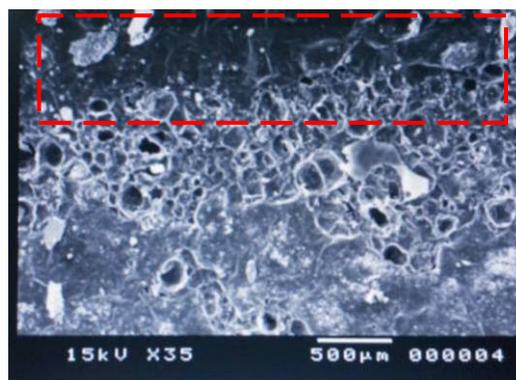


Figura 5.46 Detalhe da região da manta após ruptura em cura normal, ruptura do filme polimérico.

B. Argamassa polimérica ACIII após cura ao ar

Foi realizado o ensaio de microscopia eletrônica da argamassa colante em situação de cura normal após sua ruptura. Na Figura 5.547 está micrografia da amostra utilizada para a realização desse ensaio, há três componentes no sistema, a argamassa (1), porcelanato (2) e o amostrador do MEV (3). A argamassa estava impregnada na superfície do porcelanato recoberto para análise de microscopia eletrônica.

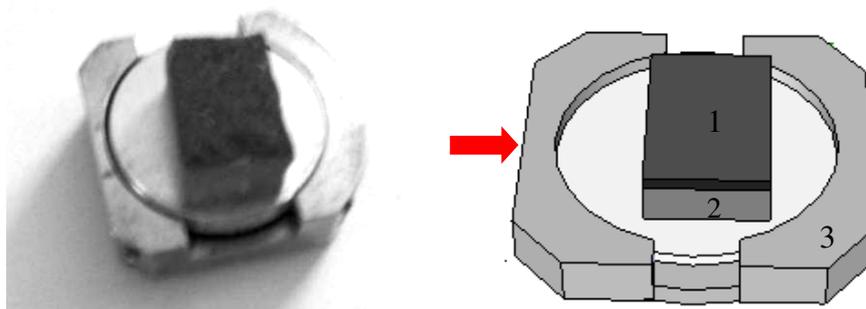


Figura 5.47 Amostra utilizada para a realização do ensaio de microscopia eletrônica.

A Figura 5.48 apresenta a microscopia realizada na argamassa após sua ruptura. É possível notar, inicialmente, a elevada porosidade desta argamassa, usualmente verificada em função da presença de surfactantes nos polímeros em pó redispersíveis adicionados nestas argamassas industrializadas. Além disso, foi verificada a presença de polímeros na argamassa colante pela ocorrência de “fibrilas” poliméricas (Figura 5.48b e 5.48c) pontecendo compostos de cimento/agregados (MANSUR, 2007).

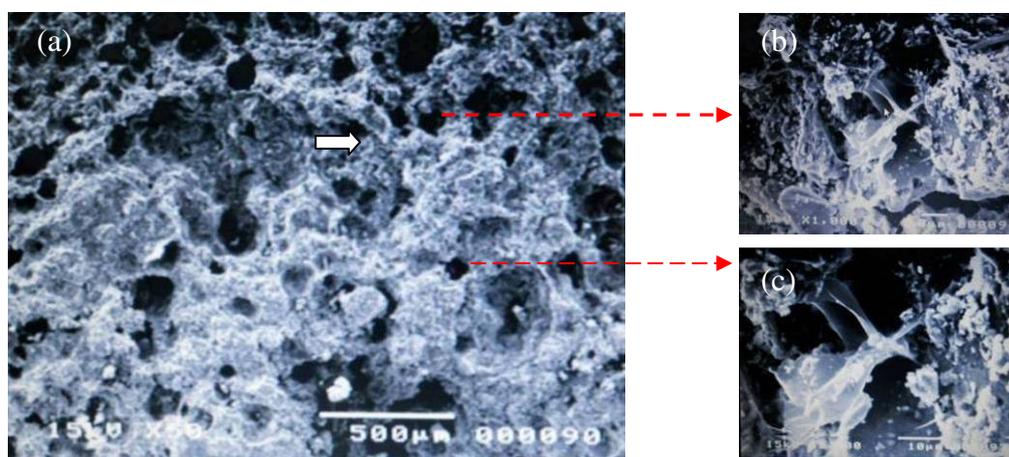


Figura 5.48 Microscopia com aumento de (a) 50x, (b) 1000x e (c) 2000x da argamassa colante.

A Figura 5.49 mostra a análise EDS na região com argamassa colante. O gráfico apresenta os componentes característicos de material cimentício, com presença predominante de cálcio e silício, constituintes dos compostos de hidratação do cimento, além de carbono que pode ser associado ao polímero ou ao carbono utilizado para tornar a superfície condutora.

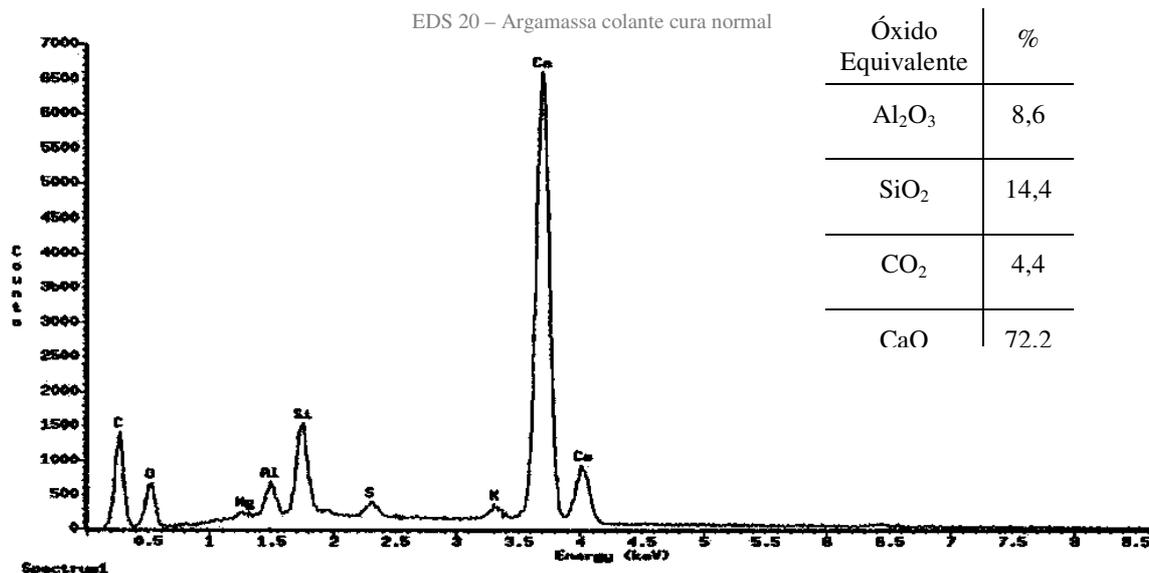


Figura 5.49 EDS argamassa colante após ruptura normal.

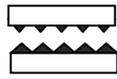
Como a condição de cura ao ar será adotada como referência para análise das demais situações, torna-se importante a observação do comportamento do sistema de assentamento com manta adesiva e com argamassa colante. Em breve descrição apresenta-se as ocorrências e observações relevantes para serem verificados nas diversas situações de avaliação nos itens comparativos entre os sistemas de assentamento, tais como:

- variação entre a resistência de aderência: a manta apresenta resultados inferiores ao da argamassa em torno de 400%;
- tipo de ocorrência verificada na avaliação EDS: nota-se a impregnação do material da manta nas amostras após a ruptura, especialmente na muratura do tardo (frisos) onde se tem contato garantido entre a manta e o porcelanato e se observa a concentração de engobe;
- em alguns pontos foi verificada ruptura no interior da manta, tanto na região densificada quanto na região alveolar;
- verifica-se a dificuldade da conformação da manta nas variações geométricas no verso da placa, ocorrendo vazios e consequentes falha de contato.

5.2.1.2 Cura submersa

A Tabela 5.5 apresenta a média dos resultados obtidos do ensaio de resistência de aderência a tração, o desvio padrão e a forma de ruptura na situação de cura submersa. Realizando a análise estatística pode-se afirmar que tanto para manta quanto para a argamassa temos que as médias se diferem da condição de referência (cura normal), adotando-se valores de nível de significância (α) igual a 1%.

Tabela 5.5 Resultados do ensaio de aderência na situação de cura submersa

Situação	Material de assentamento	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Cura submersa	Manta	0,33	$\pm 0,07$	
	ACIII	0,42	$\pm 0,10$	

A Figura 5.50 mostra as fotos da ruptura após o ensaio de aderência na condição de cura submersa possuir ruptura coesiva A. Esta tipologia na manta adesiva pode ser confirmada quando se aplica nas faces rompidas o material fino e o mesmo fica impregnado se houver adesivo na superfície e como mostra a base em sua maior parte está coberta com o pó, em razão disso, sua ruptura foi classificada como coesiva A.

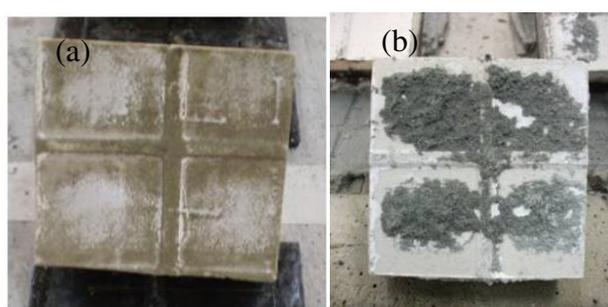


Figura 5.50 Ruptura quando submetido a cura submersa (a) Manta (b) ACIII.

A média do valor da resistência ao arrancamento da manta polimérica nessa situação é superior ao da situação na cura ao ar (aproximadamente 2x), o que mostra que a presença de água favorece sua aderência e superior aos 0,30 MPa recomendado pela norma brasileira. Já na argamassa ACIII acontece ao contrário. A melhoria da aderência

na manta pode ser associada ao processo de re-emulsão do adesivo na água da cura submersa (Figura 5.51), permitindo um maior espalhamento deste material na interface placa cerâmica/manta adesiva e recuperando a resistência após a secagem. No caso da argamassa colante, o polímero EVA em pó usualmente utilizado nestes produtos, também sofre re-emulsificação, mas como ele está interconectado com os compostos hidratados não ocorre um efeito significativo na interface. Além disso, acredita-se que o tempo para secagem no sistema argamassa colante seja superior ao verificado para o adesivo da manta, devido ao baixo teor de absorção de água da manta, não garantindo completa secagem e reconsolidação do adesivo após o intervalo recomendado pela norma para realização do ensaio de aderência (1 dia).

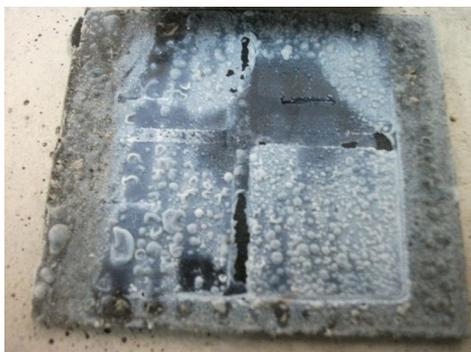


Figura 5.51 Re-emulsão do adesivo da manta em contato com a água.

5.2.1.2.1 Avaliação microestrutural na situação de cura submersa

A. Manta Polimérica Adesiva

A Figura 5.52 apresenta a amostra típica e representativa que foi utilizada para a realização da microscopia da região do porcelanato após a ruptura da manta na situação de cura submersa. Como o tipo de ruptura da manta foi a Coesiva A, a região da manta que ficou aderida foi o adesivo e a manta se encontra apenas no substrato, não havendo parte da manta na superfície da amostra. Na representação esquemática da amostra há duas regiões distintas, a região 1 que corresponde a região do friso do tardez e a região 2 que corresponde a área de baixo relevo do tardez.

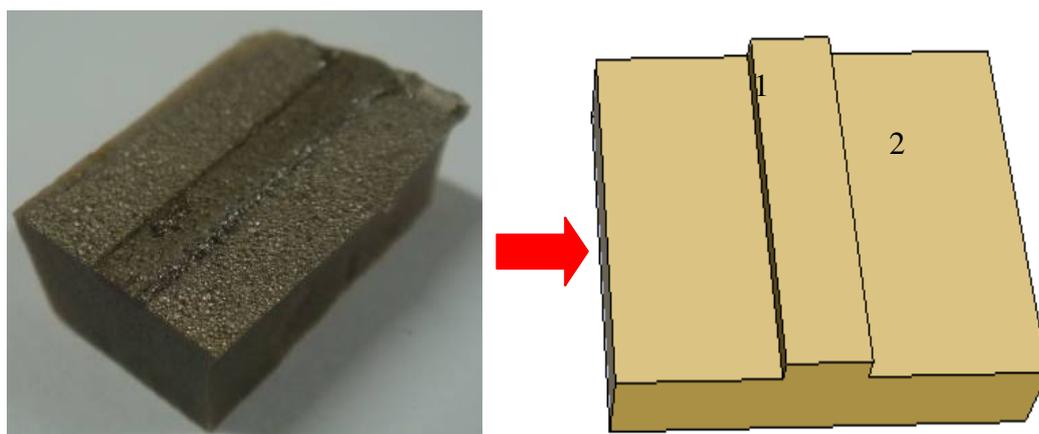


Figura 5.52 Identificações da amostra para microscopia eletrônica, após a ruptura na condição de cura submersa.

A Figura 5.53 apresenta a microscopia realizada na região do friso do tardez na situação de cura submersa após assentamento do porcelanato com manta adesiva. É possível verificar a presença de material polimérico com aparência de escorrimento na superfície da região. Autores como QUEIROZ (1996), MANSUR (2007), FELIXBERGER (2008) e CHEW (2010) citam que após o amolecimento de adesivo em contato com água e sua posterior secagem, este retorna o seu desempenho. Isso ocorre devido à presença de polímero na forma de emulsão e seu inchamento em contato com a água, devido à presença de surfactantes (PAKUSCH et al, 2005).

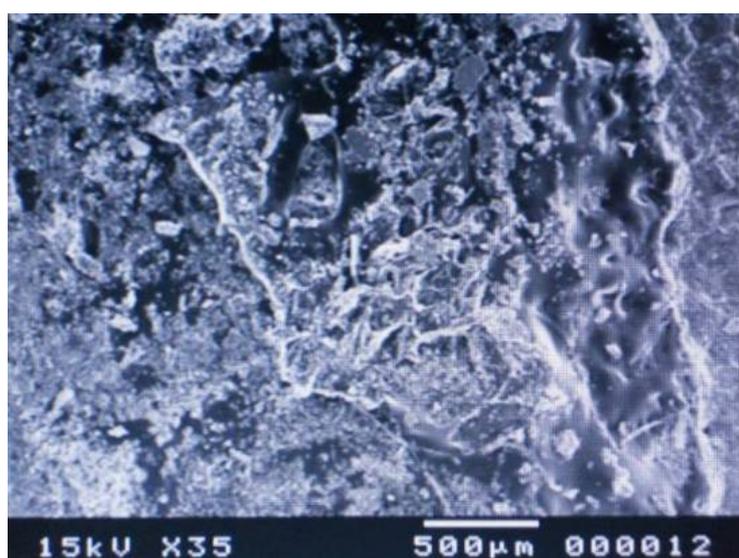


Figura 5.53 Microscopia da superfície do porcelanato contendo material polimérico com aparência de “escorrimento”.

Na Figura 5.54 da placa, confirma-se que o tipo de ruptura da manta é Coesiva A, sendo a cobertura do adesivo praticamente uniforme, conforme pode-se observar as microscopias realizadas na superfície da placa. Isso corrobora com as observações de amolecimento do adesivo, já citadas. Conforme QUEIROZ (1996) a presença de água por um intervalo de tempo suficientemente grande em contato com o adesivo proporciona a este um maior alcance na cobertura, melhorando sua aderência após a secagem, o que dá maior valor de resistência à aderência nessa situação em relação a de cura ao ar. Pode-se notar também que a ocorrência de alteração e “inchamento” do adesivo quando o mesmo permanece em repouso na água por um tempo maior (Figura 5.51). Esta característica é compatível com o ângulo de contato medido para o sistema manta adesiva: inicialmente hidrofóbico, mas que com o tempo, com a interação da água com o adesivo, com a re-emulsão do mesmo.

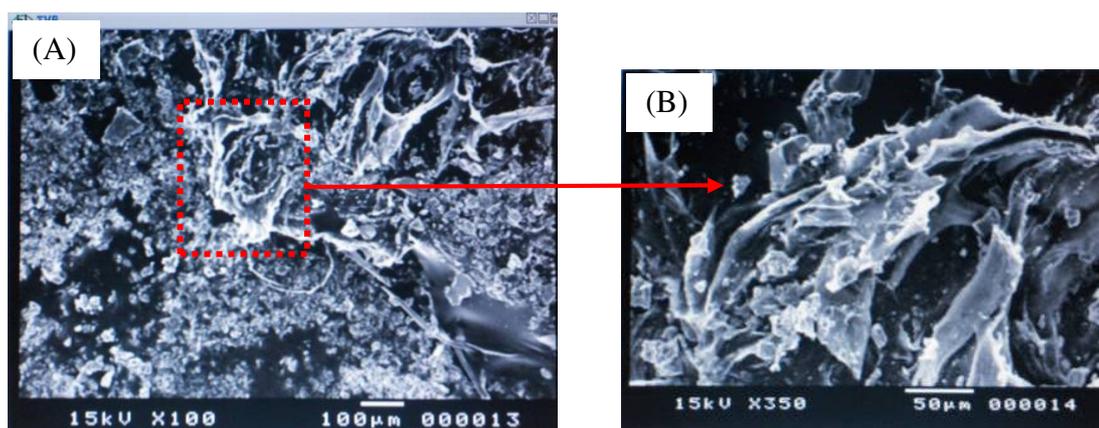


Figura 5.54 Detalhe da tipologia do material polimérico após aplicação na situação de cura submersa, imagens com 100x(A) e 350x(B), respectivamente.

Foi realizada a microscopia eletrônica na manta que estava no substrato para a verificação da interação entre a mesma e a placa do porcelanato. A Figura 5.55 apresenta a amostra que foi realizada o ensaio. Essa mesma região foi utilizada para a obtenção dos espectros de EDS.

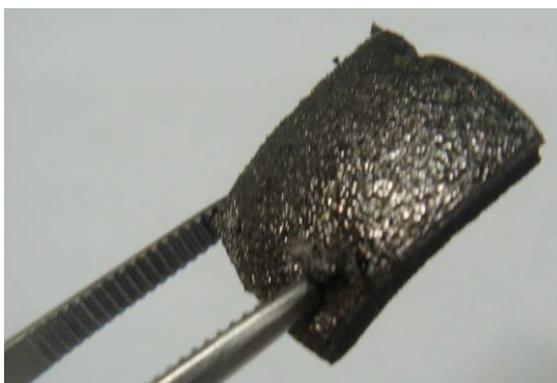


Figura 5.55 Amostra da manta utilizada no ensaio.

A microscopia com ampliação de 35x permite a análise de um material aderido na superfície. Esse apresenta células com características distintas das encontradas na manta e do adesivo. A Figura 5.56 mostra a microscopia realizada.

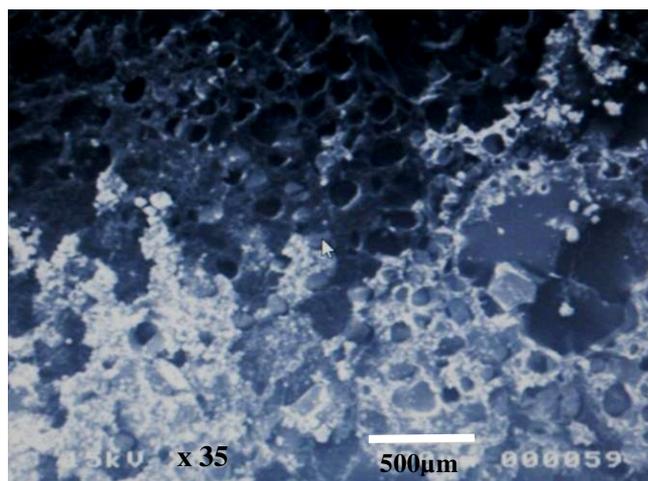


Figura 5.56 Microscopia sobre a manta polimérica 35x .

A Figura 5.57 apresenta a microscopia da mesma região utilizada para a realização da microscopia apresentada na Figura 5.56, entretanto, com ampliações de 100x e de 350x. Nessas imagens é possível observar melhor o material que está impregnado na manta. Na imagem com ampliação de 100x (Figura 5.57 (a)), foi identificada como área a região escura da manta e uma região clara.

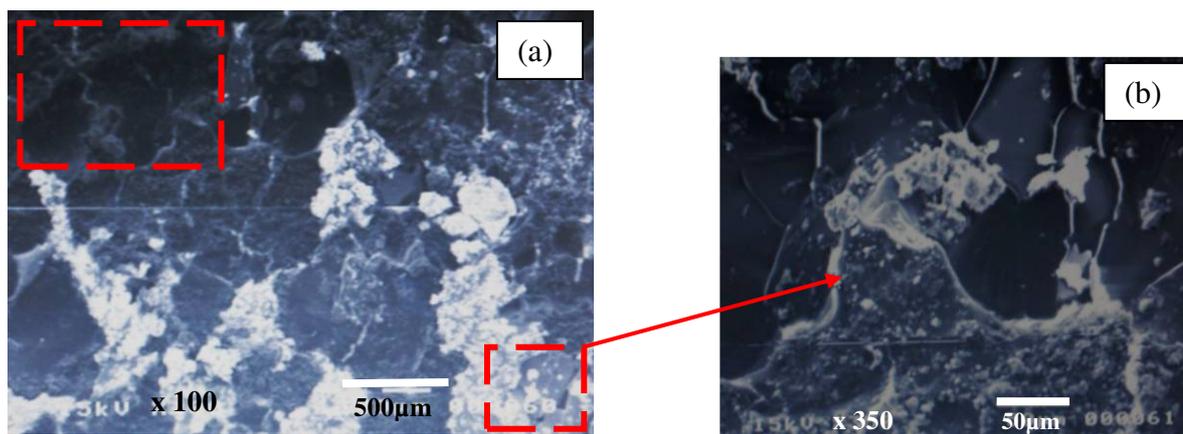


Figura 5.57 Microscopia da região de interface entre a manta e o porcelanato 100x (a) e 350x (b).

Foi realizado o espectro de EDS na região escura da microscopia representada pela Figura 5.57(a). Verifica-se que essa área apresenta grande concentração de material polimérico, devido a grande porcentagem de carbono na amostra. Essa porcentagem é referente à manta, além dos outros elementos compatíveis com as cargas presentes na manta e com o porcelanato. A Figura 5.58 apresenta o espectro do EDS que foi bastante similar ao verificado para a região clara (não apresentado).

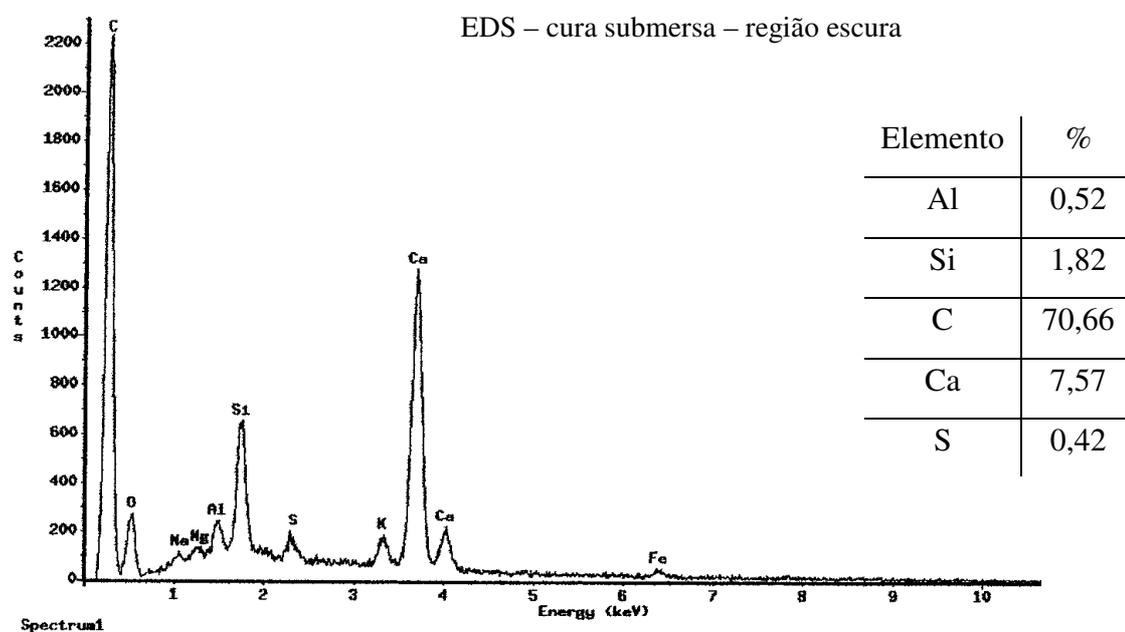


Figura 5.58 EDS região escura da microscopia.

B. Argamassa polimérica ACIII

Foi realizada a microscopia eletrônica de varredura em uma amostra contendo o porcelanato impregnado com a argamassa colante ACIII, após a ruptura na situação de cura submersa. A Figura 5.59 mostra a amostra utilizada para a execução do ensaio. A área 1 corresponde a argamassa colante impregnada e a área 2 a placa de porcelanato.

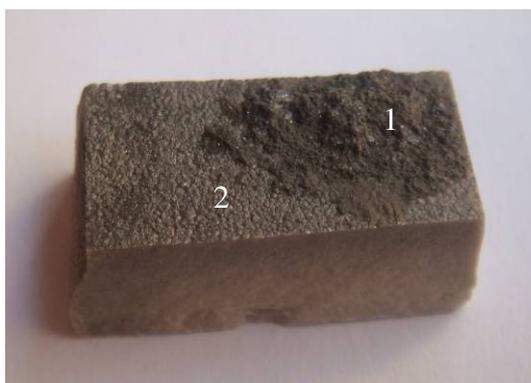


Figura 5.59 Amostra utilizada para a realização da microscopia, com ruptura da argamassa em situação de cura submersa.

A Figura 5.60 mostra em detalhe a região de transição entre área com argamassa impregnada com área sem aparente impregnação. É possível notar a região com presença de argamassa.

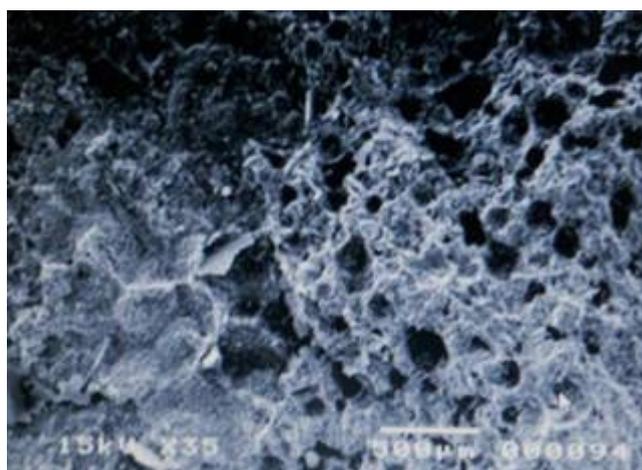


Figura 5.60 Microscopia realizada em interface da área impregnada de argamassa ACIII.

A região 1 da Figura 5.61, área impregnada com argamassa, foi utilizada para a execução do espectro de EDS (Figura 5.60). A partir dele é possível verificar a predominância de material cimentício, devido a alta concentração de cálcio, silício e alumínio.

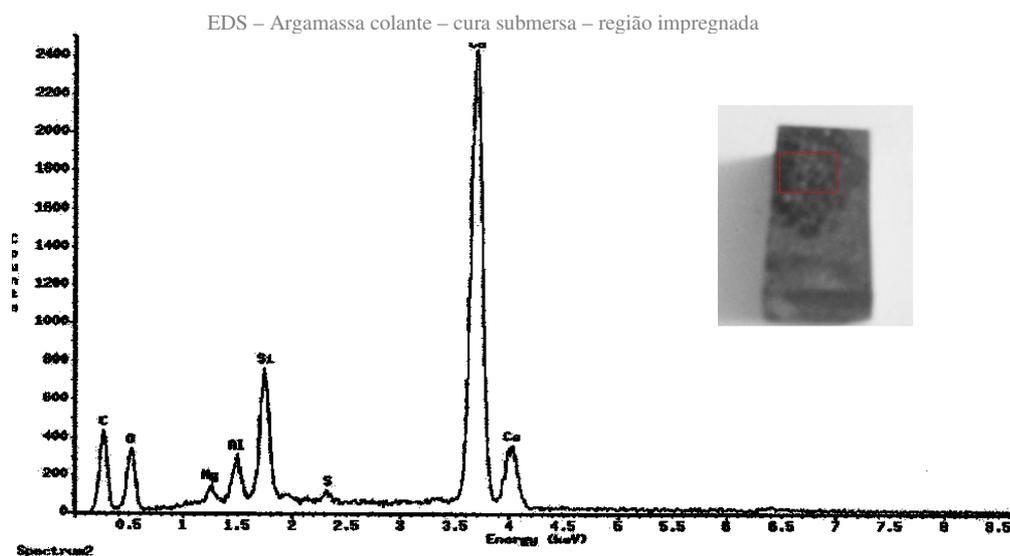


Figura 5.61 EDS, Região impregnada com argamassa colante.

Foi realizada a análise da região 2, porcelanato sem argamassa impregnada, a avaliação por espectro de EDS. Certificou-se a predominância de material cerâmico e sinais de material cimentício, devido à presença de cálcio. A Figura 5.62 apresenta o espectro.

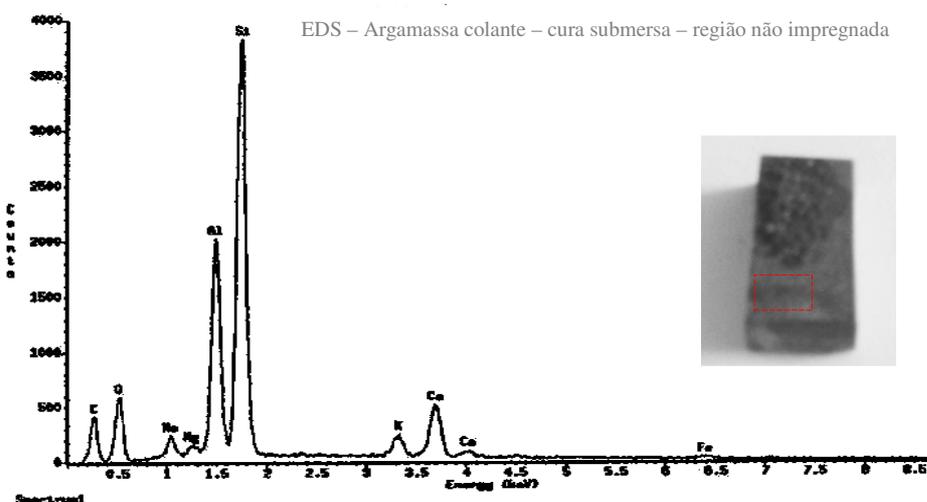


Figura 5.62 EDS, região do porcelanato sem impregnação.

A Figura 5.63 apresenta as microscopias com aumento de 200x (a) e 1000x(b) da superfície do porcelanato após a situação de cura submersa com argamassa colante ACIII. É possível notar a presença de material com identificação de material cimentício aderido e alguns pontos de polímero.

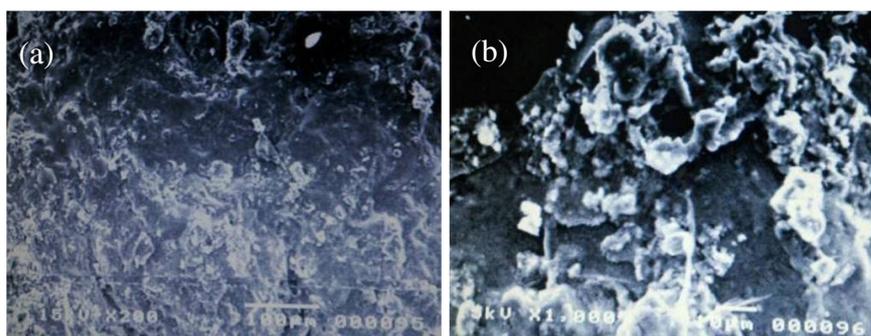


Figura 5.63 Microscopia realizada na superfície do porcelanato (a) ampliação de 200x (b) ampliação de 1000x.

As imagens da Figura 5.64, apresentam material impregnado sobre a superfície do porcelanato. A sequência de fotos apresenta ampliações sobre material impregnado na superfície do porcelanato podendo ser verificados cristais de portlandita (P) e etringita (E), além dos silicatos de cálcio hidratados.

No detalhe da superfície de ruptura pelo lado do porcelanato apresentado na Figura 5.64d é possível visualizar algumas regiões limpas, onde a camada de argamassa foi completamente destacada da cerâmica, revelando a superfície do porcelanato (1). Também podem ser observados uma camada híbrida de compostos hidratados/polímero (2), incluindo alguns cristais de etringita (E), conforme descrito por MANSUR (2007).

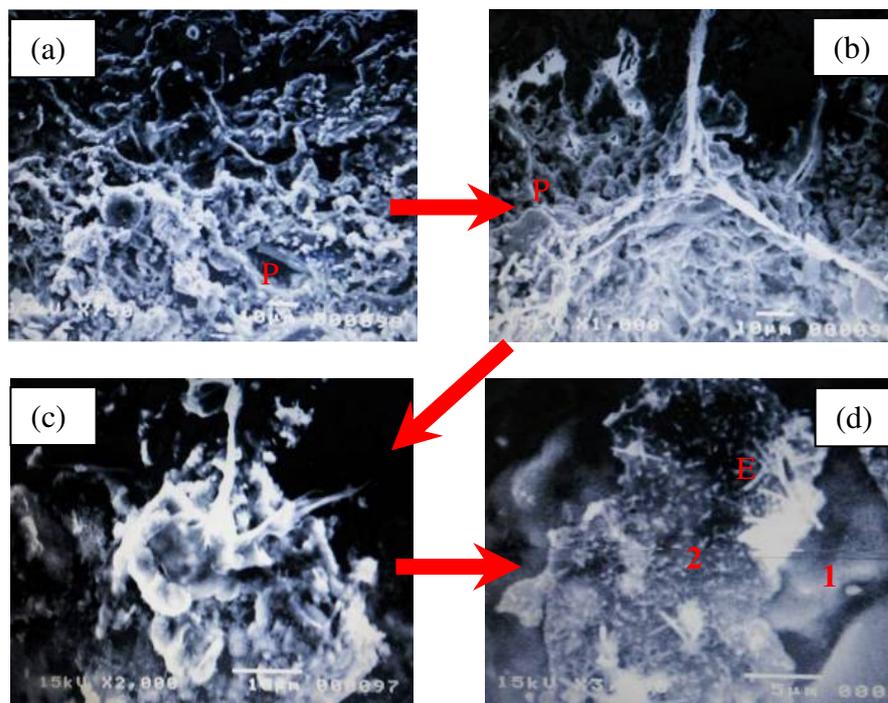


Figura 5.64 Microscopia da região de material cimentício impregnado na superfície do porcelanato em diferentes ampliações 750x(a), 1000x(b), 2000x(c) e 3000x(d).

5.2.1.3 Cura em estufa

A Tabela 5.6 apresenta a média dos resultados obtidos do ensaio a tração, o desvio padrão e a forma de ruptura obtidos para os sistemas em estudo na cura em estufa. Na Figura 5.65 apresentam-se as fotos dos ensaios realizados.

Tabela 5.6 Resultados do ensaio de aderência na situação de cura em estufa

Situação	Material de assentamento	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Cura em estufa	Manta	0,16	±0,05	
	ACIII	0,70	±0,08	

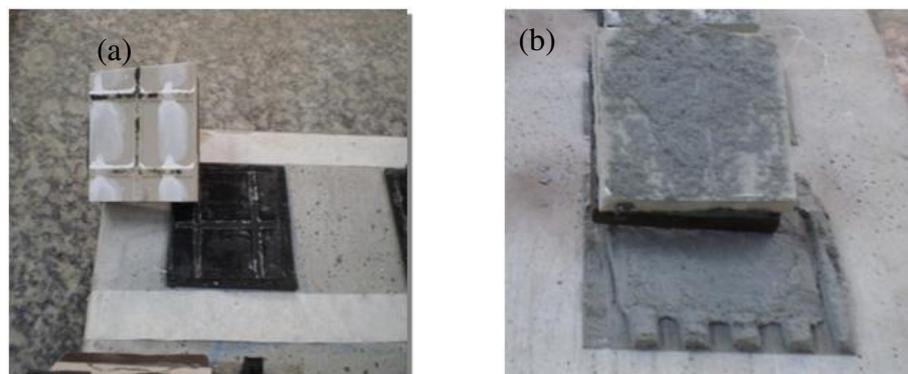


Figura 5.65 Ruptura quando submetido a cura em estufa (a) Manta (b) ACIII.

Realizando a análise estatística pode-se afirmar que tanto para manta quanto para a argamassa tem-se que as médias não diferem significativamente da condição de referência (cura normal), considerando α igual a 1%.

Apesar dos valores da resistência de aderência não se mostrarem significativamente diferentes, pode-se observar que a forma de ruptura da manta na região do friso do tardo e a deformabilidade do adesivo diferem da condição de cura ao ar, devido ao efeito da temperatura, conforme citado por CHEW e seus colaboradores (2010) e FELIXBERGER (2008) que relatam a modificação das propriedades dos polímeros com a temperatura.

5.2.1.3.1 Avaliação microestrutural após cura em estufa

A. Manta Polimérica Adesiva

A Figura 5.66 apresenta a amostra utilizada para a realização da microscopia eletrônica da ruptura do porcelanato assentado com a manta polimérica submetida a cura em estufa.

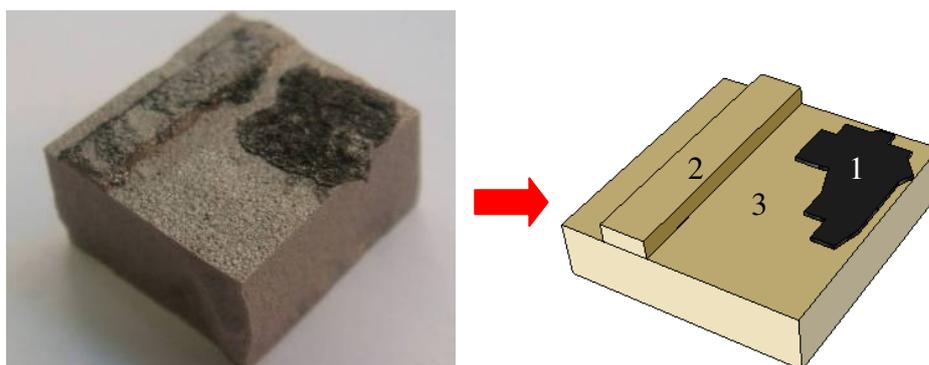


Figura 5.66 Manta adesiva impregnada no porcelanato após cura em estufa (1) Região de manta impregnada, (2) Região do friso (3) Região de baixo relevo do porcelanato.

A Figura 5.67 apresenta a microscopia da região em que a manta está em contato com o porcelanato. Na imagem há duas áreas distintas, sendo a 1 que corresponde a área do porcelanato próximo à manta impregnada. É possível perceber a interação com o porcelanato é semelhante ao da cura normal, ou seja, a manta aderida na superfície da placa de porcelanato. No entanto, observa-se uma alteração da forma de ruptura da manta que ocorreu predominantemente no interior da região alveolar, sem ocorrências na região superficial densificada onde o adesivo é aplicado, conforme pode ser verificado no detalhe desta região apresentado na Figura 5.68.

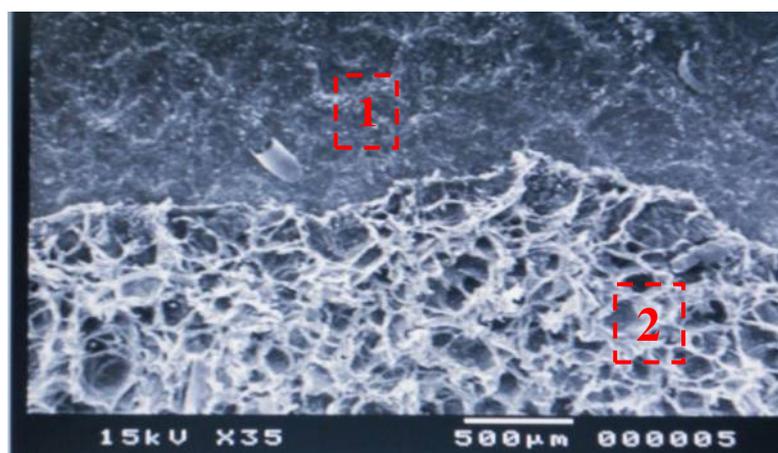


Figura 5.67 Região da manta impregnada com vista do porcelanato.

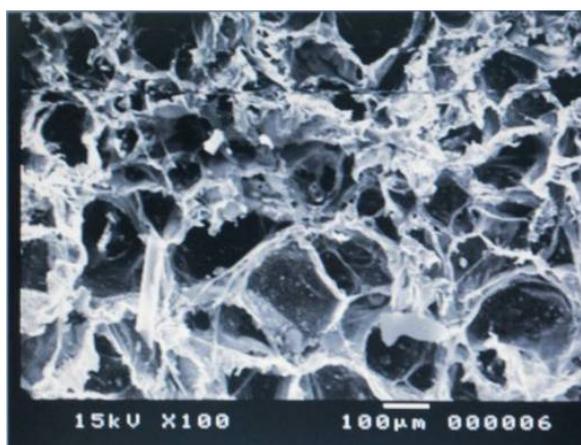


Figura 5.68 Análise realizada sobre a manta impregnada.

A Figura 5.69 apresenta o EDS na região da manta. Foi possível obter a confirmação da presença de material polimérico, compatível com polietileno com cargas de carbonato de cálcio e feldspatos. Observa-se ainda, sinais de alteração da estrutura alveolar do polímero após a aplicação de calor.

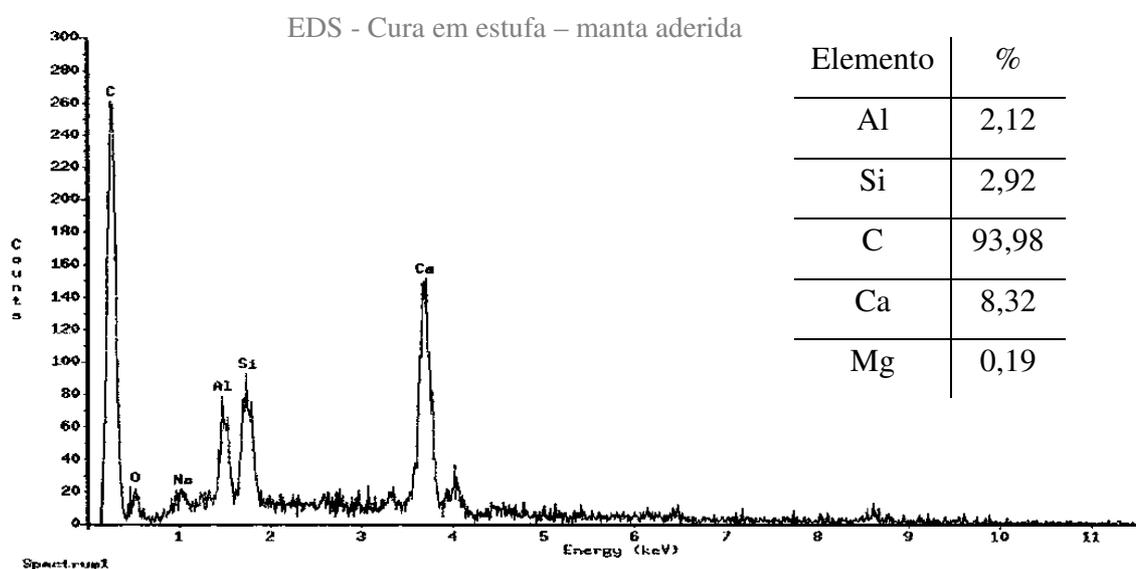


Figura 5.69 EDS, análise do material da região de manta impregnada.

A Figura 5.70 mostra a região do porcelanato próximo à área de manta impregnada e na microscopia é possível notar a presença da manta impregnada na superfície da placa.

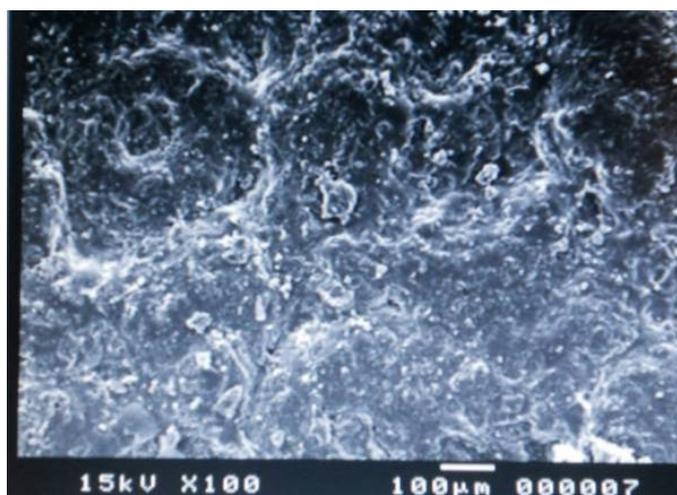


Figura 5.70 Análise da região do porcelanato próximo à área de manta impregnada.

A Figura 5.71 apresenta o espectro de EDS da região do porcelanato, região 3, próximo à área de manta impregnada. O resultado foi típico de material cerâmico.

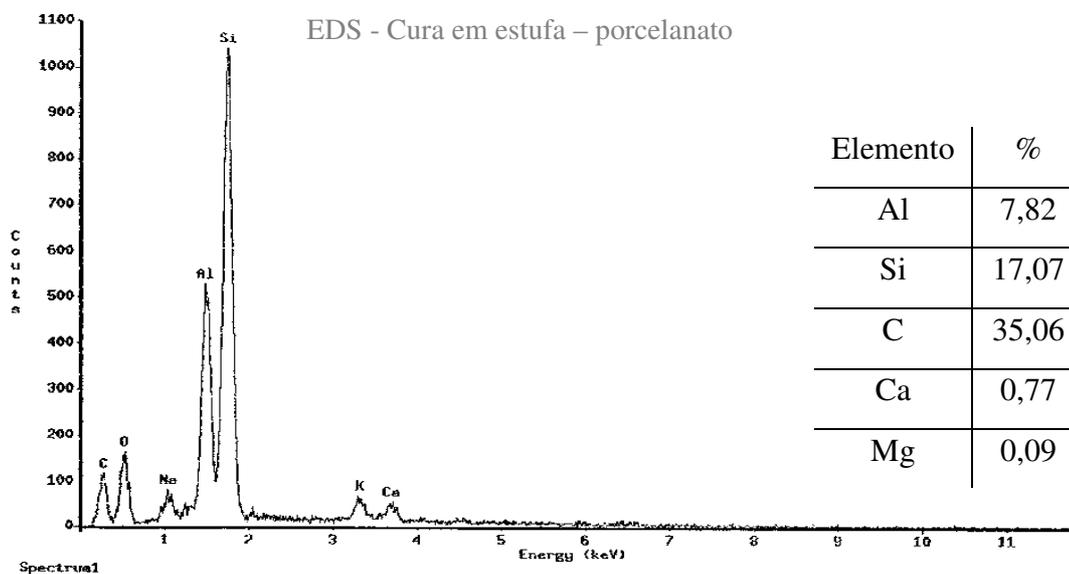


Figura 5.71 EDS, análise do material cerâmico próximo a área de manta impregnada.

A Figura 5.72 apresenta a microscopia na região do friso do porcelanato, com visualização de partes de manta impregnada e material polimérico aderido.

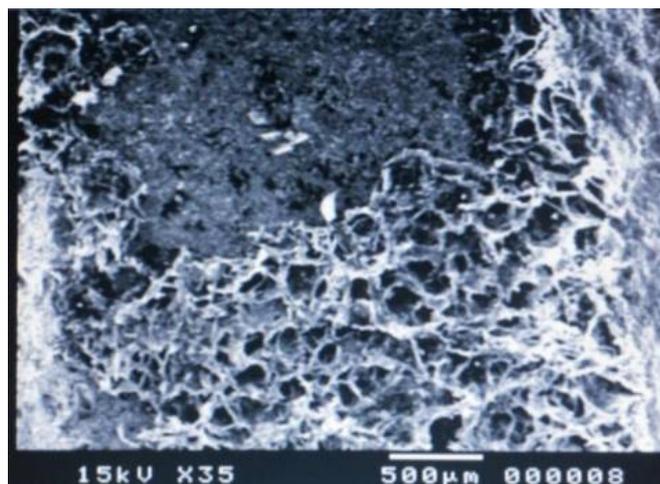


Figura 5.72 Região do friso do porcelanato.

A Figura 5.73 mostra, na região do friso do tardoz, pontos de impregnação de polímeros sobre a superfície de porcelanato (área 2) e área com a manta adesiva rompida mostrada (área 1). No detalhe a interface entre as 2 áreas com o aumento de 100x.

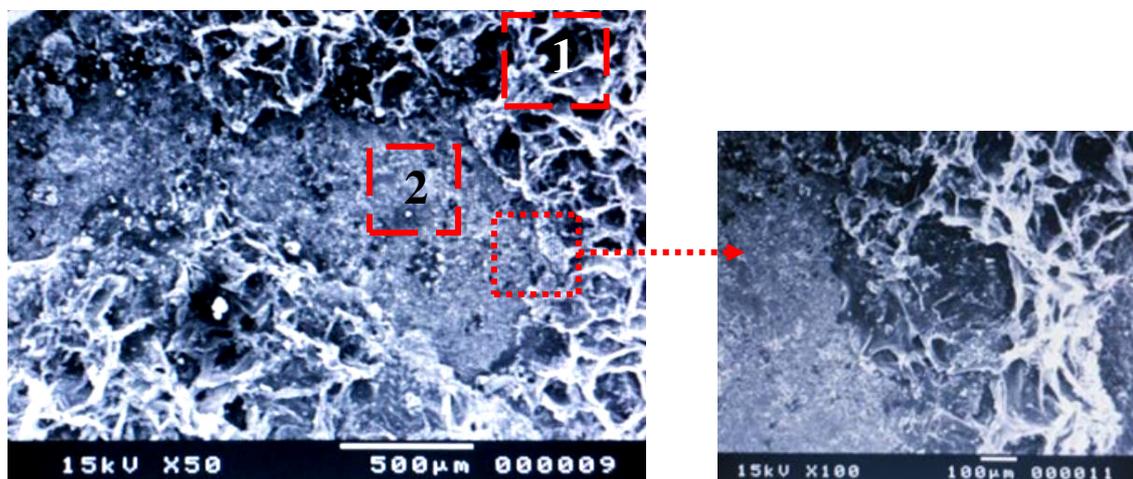


Figura 5.73 Apresenta a região do friso do tardoz.

A alteração da ruptura para o interior da manta pode ser associada a dois aspectos atuando em conjunto ou isoladamente. Inicialmente, com o aumento da temperatura, tem-se uma maior mobilidade das cadeias poliméricas do adesivo que podem se conformar na interface com o porcelanato, aumentando a extensão do contato e a resistência na interface. Por outro lado, o ensaio de resistência à tração da manta adesiva mostrou uma redução desta propriedade para a manta na situação envelhecida (item 5.5.2.2 anterior). Desta forma, pode-se ter o aumento da resistência na interface,

deslocando a ruptura para o interior da manta e/ou a redução da resistência coesiva da manta.

B. Argamassa colante ACIII

A Figura 5.74 apresenta a amostra do porcelanato assentado com ACIII submetida à cura em estufa.

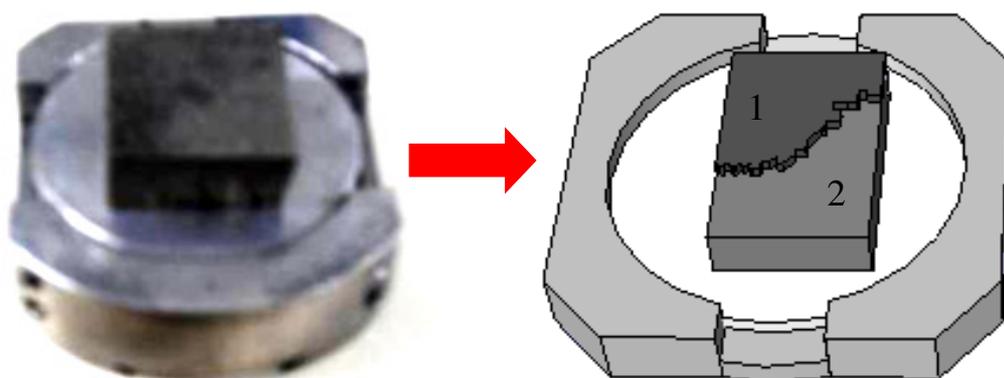


Figura 5.74 Amostra do porcelanato assentado com ACIII após a ruptura (1) material impregnado (2) placa cerâmica.

A Figura 5.75 mostra a região da área do porcelanato sendo possível visualizar um material impregnado na placa. A área marcada na microscopia é a região em que foi realizado o espectro de EDS.

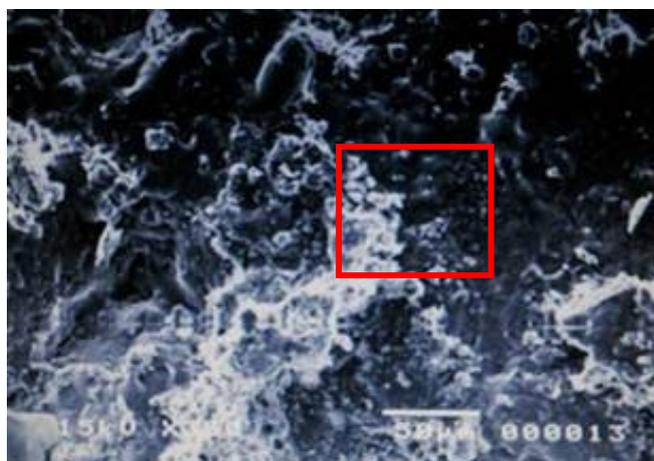


Figura 5.75 Microscopia da região do porcelanato sem argamassa colante.

A partir do EDS da Figura 5.76 foi possível analisar a região com material branco aderido no verso do porcelanato. Esse material apresenta características de cimento com presença de cálcio e silício (silicato de cálcio hidratado - cimento), o que comprova que o material impregnado é da argamassa colante.

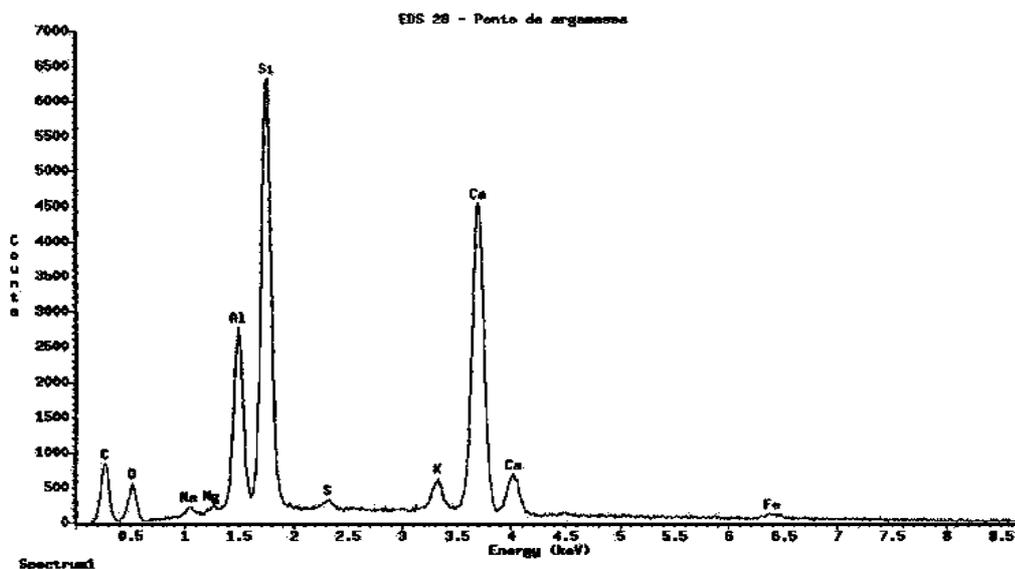


Figura 5.76 EDS, material impregnado no porcelanato.

5.2.2 Efeito das condições de assentamento

Foram realizados ensaios de aderência para 4 tipos de condições de assentamento diferentes: tempo em aberto, umidade na base, sujeira na base e retrofit. Os resultados para a determinação da resistência e tipo de ruptura em cada situação analisada foram apresentados através de tabelas e figuras.

5.2.2.1 Efeito do tempo em aberto

A Tabela 5.7 apresenta a média dos resultados obtidos do ensaio de aderência à tração, o desvio padrão e a forma de ruptura na situação de cura submersa. A Figura 5.77 mostra as fotos tiradas após o ensaio para avaliação da forma de ruptura.

Tabela 5.7 Resultados do ensaio de aderência na situação de tempo em aberto

Situação	Material de assentamento	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Tempo em aberto	Manta	0,11	$\pm 0,03$	
	ACIII	0,35	$\pm 0,11$	

Realizando a análise estatística pode-se afirmar que a manta não possui média que difere da condição de referência (cura normal). Já para a argamassa colante as médias são diferentes, com um valor na condição de avaliação do efeito tempo em aberto que é aproximadamente metade da condição de referência. Adicionalmente, sua forma de ruptura teve uma modificação significativa passando de coesiva para adesiva, fato relatado por PAES e GONÇALVES, (2009) e STOLZ, (2011).

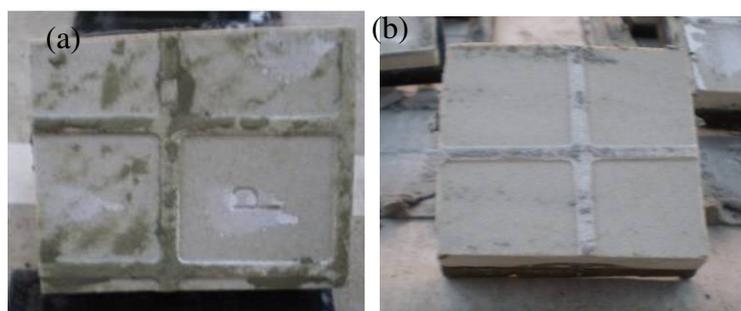


Figura 5.77 Ruptura quando submetido a efeito de tempo em aberto (a) Manta (b) ACIII.

5.2.2.2 Efeito da umidade da base

A Tabela 5.8 apresenta a média dos resultados obtidos do ensaio de resistência de aderência à tração, o desvio padrão e a forma de ruptura na situação de umidade na base. A Figura 5.78 mostra as fotos de cada situação após o ensaio para avaliação da forma de ruptura.

Tabela 5.8 Resultados do ensaio de aderência na situação de umidade na base

Situação	Material de assentamento	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Umidade na base	Manta	0,11	±0,03	
	ACIII	0,57	±0,08	

Realizando a análise estatística por comparação de médias pode-se afirmar a manta não possui média que difere da condição de referência (cura normal). Já para a argamassa colante as médias são diferentes, com um valor na condição de umidade na base que é aproximadamente 25% da condição de referência, sem alteração significativa da forma de ruptura.

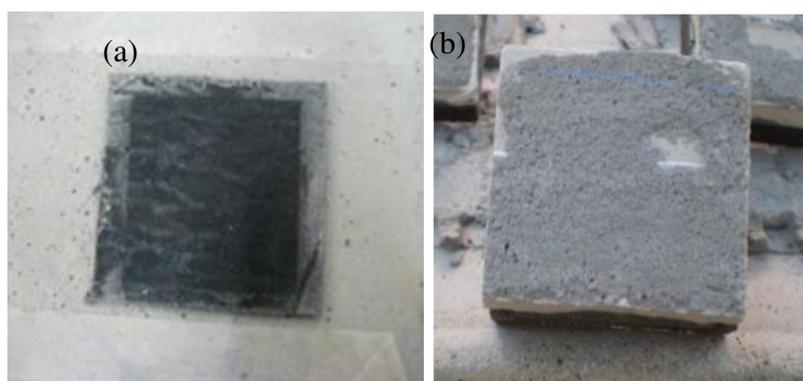


Figura 5.78 Ruptura quando submetido a umidade na base (a) Manta (b) ACIII.

5.2.2.2.1 Avaliação microestrutural

A. Manta Polimérica Adesiva

Na Figura 5.79 encontra-se a amostra utilizada para a realização da microscopia eletrônica da manta polimérica aderida no porcelanato após sua ruptura, em uma amostra que o tipo de ruptura foi Adesiva F e não Adesiva G, como foi registrado na maioria das outras amostras. Foi realizado esse ensaio no intuito de avaliar a interface porcelanato-manta.



Figura 5.79 Amostra utilizada para a realização do MEV.

A Figura 5.80 apresenta a microscopia realizada na interface da manta com o porcelanato, com o aumento de 35x e 125x. Foram identificadas três regiões distintas placa porcelanato (1), adesivo aderido (2), e manta polimérica adesiva – interior (3). O adesivo se encontra totalmente aderido ao porcelanato.

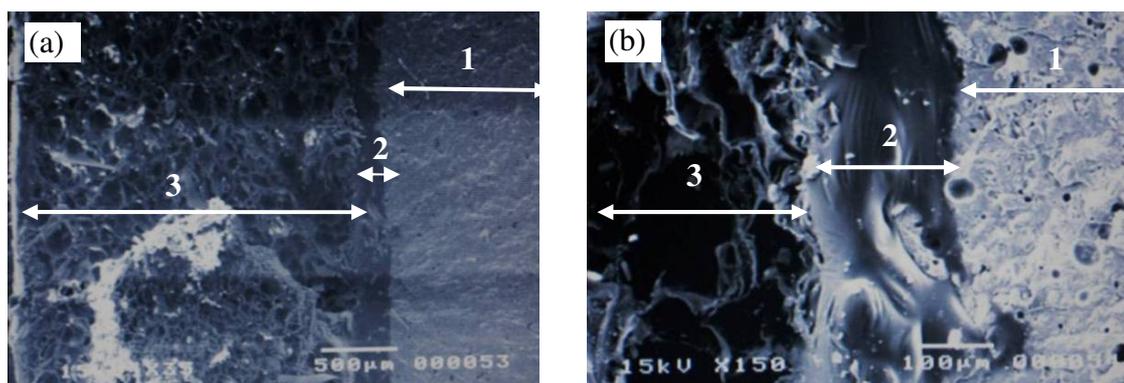


Figura 5.80 Microscopia da interface da manta polimérica adesiva com o porcelanato, com o aumento de 35X(a) e 150x(b). (1) porcelanato; (2) face da manta; (3) interior da manta; seção transversal.

A Figura 5.81 apresenta o espectro de EDS dos pontos claros situados na manta, região com material impregnado na superfície do adesivo.

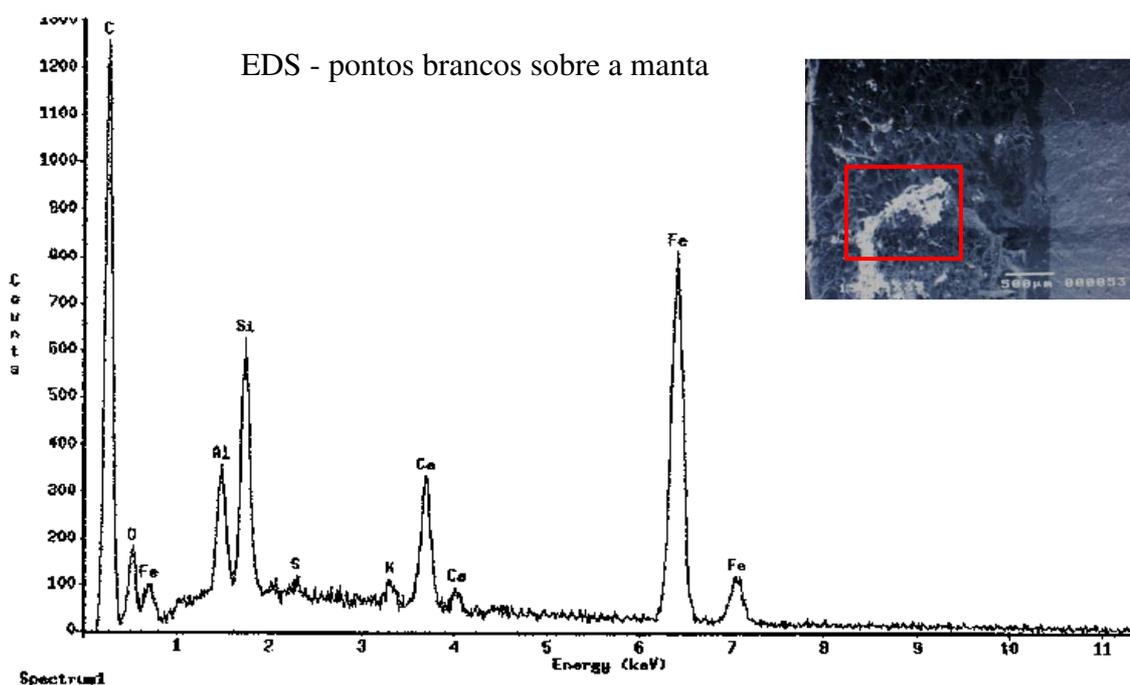


Figura 5.81 EDS da região com material impregnada na manta.

A seguir, a Figura 5.82 mostra a micrografia da ligação entre a manta adesiva e porcelanato, mostrando pontos falhos e pontos inteiramente aderidos à base de porcelanato, ampliação de 35x e 150x. Com a ampliação é possível visualização espaços vazios, área 1, e espaços totalmente aderidos, área 2. Provavelmente os espaços vazios são da região próxima ao friso, pois nessa região a manta não adere totalmente a superfície devido a diferença de cota

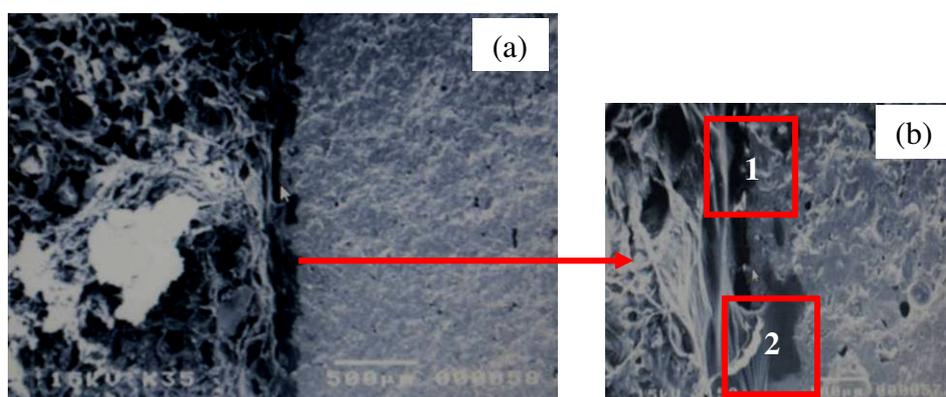


Figura 5.82 Microscopia com aumento de 35x (a) e 150x (b) mostrando área aderida e espaços vazios (seção transversal).

Após ruptura do sistema, foi realizado outra microscopia para a análise da condição da manta e do porcelanato. A Figura 5.83 mostra a parte da manta que foi analisada.

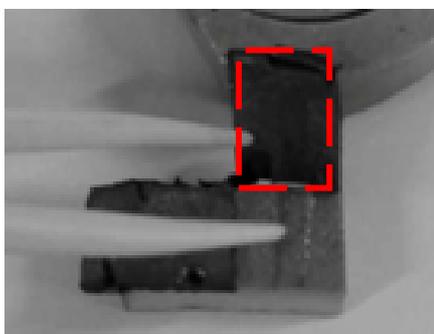


Figura 5.83 Região da manta após ruptura que foi realizado o EDS.

A imagem apresentada na Figura 5.84 mostra a seção transversal da região do porcelanato com a manta aderida, após a condição de umidade na base no assentamento. A Figura 5.84(a) mostra a região do friso na manta, área 1, marcado pelo porcelanato, e a Figura 5.84(b) mostra, com a ampliação de 150x, um material claro impregnado na manta.

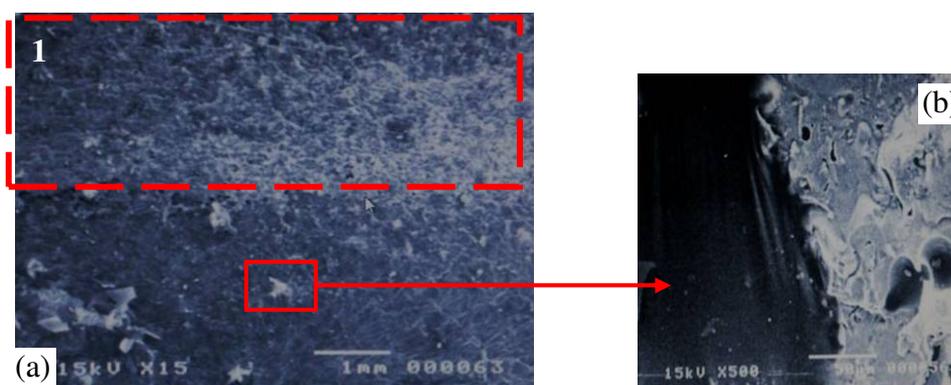


Figura 5.84 Manta após assentamento com umidade na base (a) região impregnada do friso do tarso (b) material impregnado na manta 500x.

A Figura 5.85 apresenta o espectro de EDS realizado sobre a região clara (material impregnado sobre a manta). Esse material possui característica de cerâmica com sinais de engobe, o que comprova a aderência da manta na placa do porcelanato.

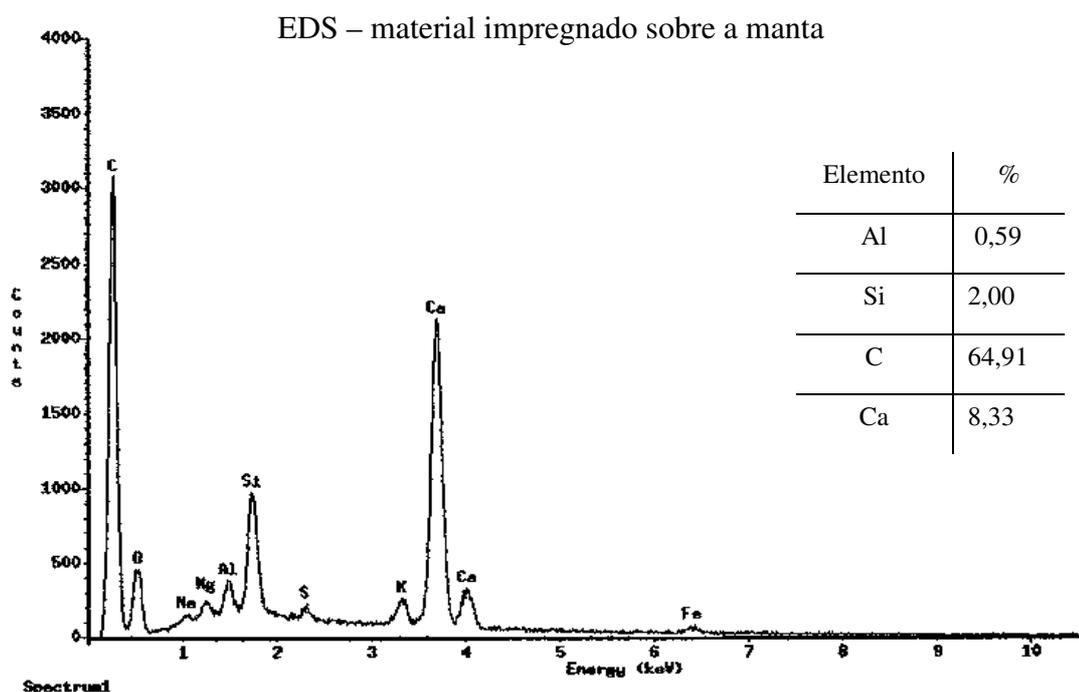


Figura 5.85 EDS do material impregnado sobre a manta.

A Figura 5.86 mostra os detalhes da região com pouca impregnação de material na manta adesiva. Pode-se verificar que mesmo nessa região existem muitas partículas aderidas à manta adesiva, o que comprova que a manta estava totalmente aderida a placa. A Figura 5.86 mostra as microscopias com aumento de 100x(a), 200x(b) e 2000x(c) respectivamente.

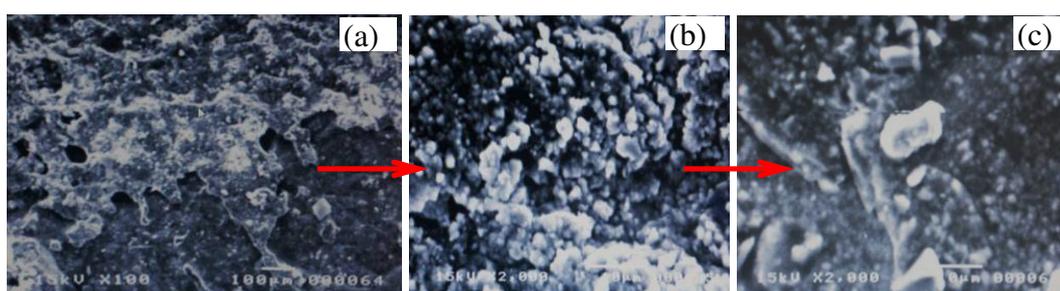


Figura 5.86 Material impregnado na manta aumento de 100x(a), 200x(b) e 2000x(c).

5.2.2.3 Presença de sujeira na base

A Tabela 5.9 apresenta a média dos resultados obtidos do ensaio a tração, o desvio padrão e a forma de ruptura na situação de presença de sujeira na base. A Figura 5.87 mostra as fotos após o ensaio de resistência a tração.

Tabela 5.9 Resultados do ensaio de aderência na situação de sujeira na base

Situação	Material de assentamento	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Sujeira na base	Manta	0,08	$\pm 0,03$	
	ACIII	0,84	$\pm 0,19$	

Realizando a análise estatística pode-se afirmar nem a manta nem a argamassa possuem média que difere da condição de referência (cura normal).

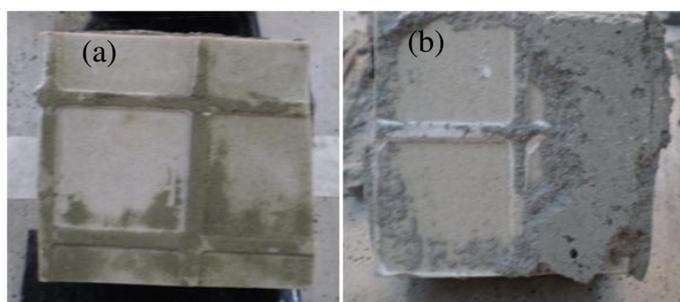
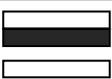


Figura 5.87 Ruptura quando submetido a sujeira na base (a) Manta (b) ACIII.

5.2.2.4 Efeito da natureza da base (“Retrofit”)

A Tabela 5.10 apresenta a média dos resultados obtidos do ensaio a tração, o desvio padrão e a forma de ruptura na situação de retrofit. A Figura 5.88 mostra as fotos do ensaio.

Tabela 5.10 Resultados do ensaio de aderência na situação de retrofit

Situação	Material de assentamento	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Retrofit	Manta	0,24	$\pm 0,03$	
	ACIII	0,21	$\pm 0,05$	

Realizando a análise estatística pode-se afirmar tanto a manta quanto a argamassa possuem média que difere da condição de referência (cura normal). Porém a média da

manta adesiva é maior em aproximadamente 70% em relação a condição de referência, enquanto a argamassa na condição de retrofit apresenta um resultado aproximadamente 3x inferior ao da condição de referência.

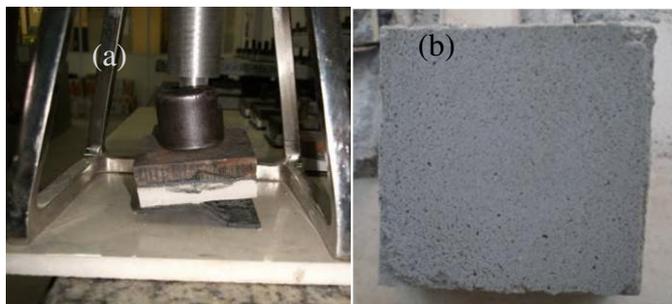


Figura 5.88 Ruptura quando submetido a Retrofit (a) Manta (b) ACIII.

5.2.2.4.1 Avaliação microestrutural

- Manta Polimérica Adesiva

A Figura 5.89 apresenta a amostra utilizada para a execução do ensaio de microscopia eletrônica de varredura. A área 1 corresponde ao local da avaliação da manta adesiva, e a área 2 a região onde estava aderida a manta. Esse ensaio avaliou o contato da manta polimérica adesiva com o porcelanato após ruptura no sistema de “retrofit”.

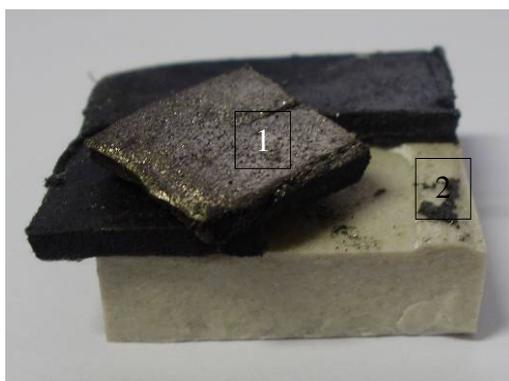


Figura 5.89 Amostra utilizada para a realização do MEV.

A Figura 5.90 apresenta a microscopia realizada na manta após a ruptura. Na imagem é possível notar um material em sua superfície, provavelmente material cerâmico. Porém esta afirmação deve ser confirmada por EDS.

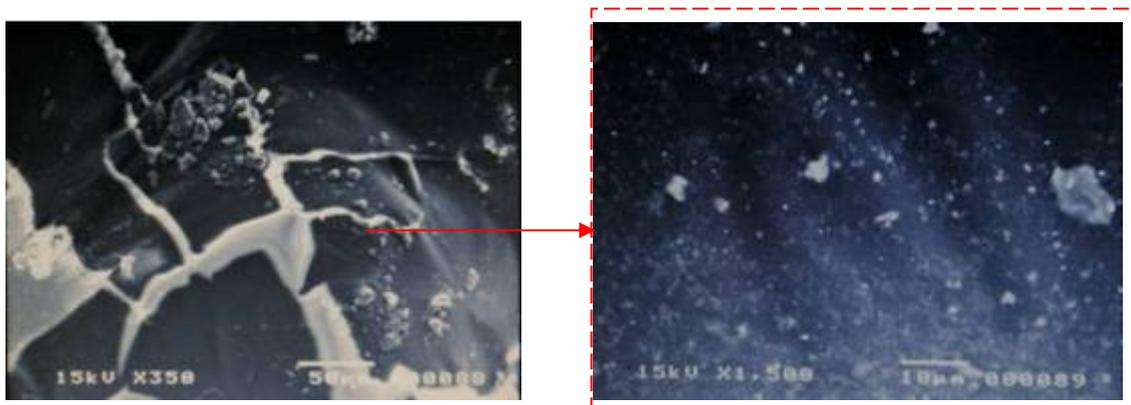


Figura 5.90 Detalhe, da região da manta adesiva com aparente material cerâmico impregnado.(interface cerâmica/manta).

A Figura 5.91 apresenta o espectro de EDS do material impregnado na manta. Essa substância possui os elementos químicos presentes no material cerâmico e nas cargas da manta adesiva confirmando a presença de material aderido à manta adesiva, o que indica a boa adesão entre a manta e o substrato. Devido a superfície lisa a manta teve melhor aderência (maior superfície de contato), podendo ser notado pelo valor da sua força de arrancamento, que foi a maior de todas as situações.

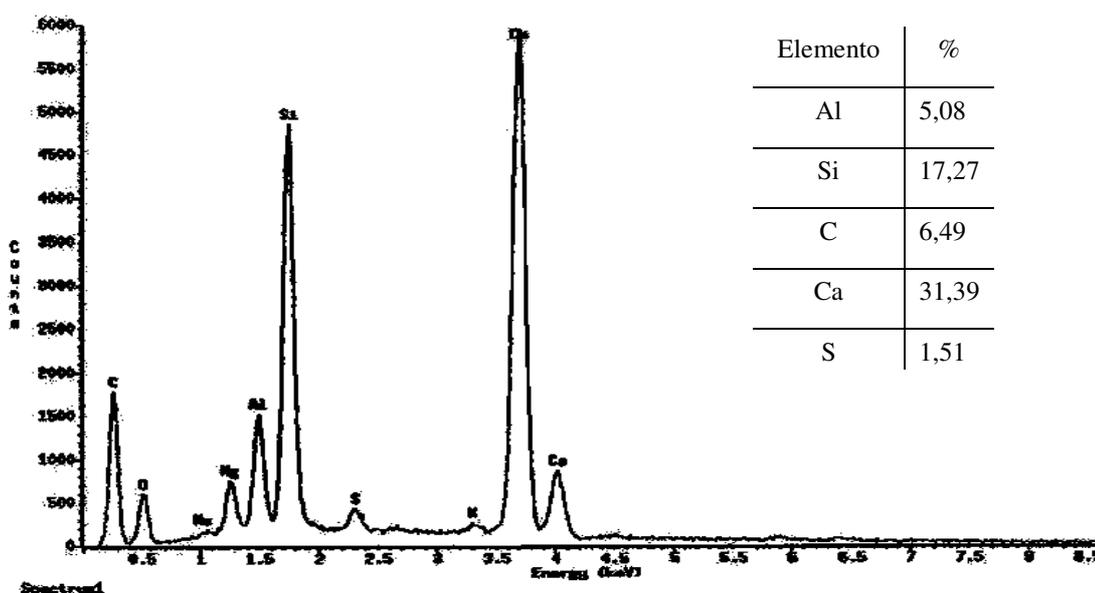


Figura 5.91 EDS do material impregnado na manta.

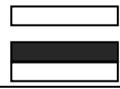
5.2.3 Efeito das condições sob ações externas

Para complementar o estudo foram realizados ensaios de aderência para três tipos de condições de assentamento sob ações externas, secagem/molhagem, envelhecimento por temperatura e aplicação de uma carga cíclica.

5.2.3.1 Ciclos de secagem e molhagem

A Tabela 5.11 mostra os resultados do ensaio de aderência na situação de secagem e molhagem e o tipo de ruptura e cada sistema. A Figura 5.92 mostra as imagens do ensaio.

Tabela 5.11 Resultados do ensaio de aderência na situação de secagem e molhagem

Situação	Material de assentamento	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Secagem e molhagem	Manta	0,11	$\pm 0,02$	
	ACIII	0,51	$\pm 0,22$	

Realizando a análise estatística pode-se afirmar que tanto a manta quanto a argamassa possuem média que difere da condição de referência (cura normal).

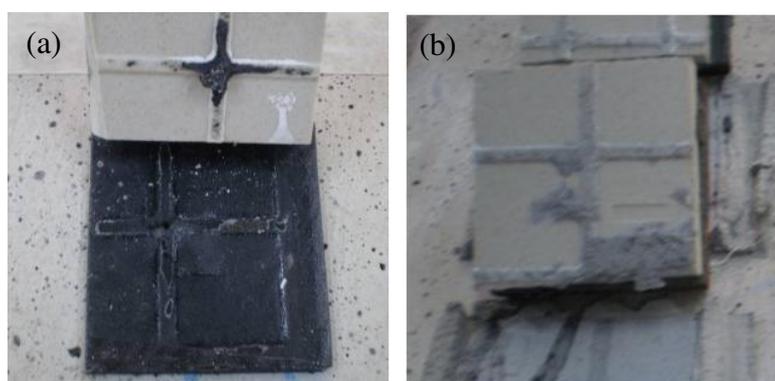


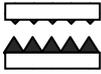
Figura 5.92 Ruptura quando submetido a secagem e molhagem (a) Manta (b) ACIII.

A ruptura da manta nesse sistema possui forma de ruptura semelhante ao da cura normal ao ar. Já a argamassa modificou totalmente sua forma de ruptura.

5.2.3.2 Aderência após simulação de envelhecimento por temperatura

A Tabela 5.12 mostra os resultados do ensaio de aderência nos dois sistemas e o tipo de ruptura de cada um na situação de envelhecimento por temperatura. A Figura 5.93 mostra as imagens da ruptura da placa nos dois sistemas.

Tabela 5.12 Resultados do ensaio de aderência na situação de envelhecimento por temperatura

Situação	Material de assentamento	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Envelhecimento por temperatura	Manta	0,16	$\pm 0,05$	
	ACIII	0,85	$\pm 0,07$	

Realizando a análise estatística pode-se afirmar que a argamassa possui média que difere da condição de referência (cura normal). Não há diferença estatística entre a média dos resultados da manta na condição de envelhecimento em relação à condição de referência.



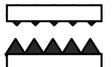
Figura 5.93 Ruptura quando submetido ao envelhecimento (a) Manta (b) ACIII.

A manta nesse tipo de cura manteve a mesma tipologia de ruptura da situação de cura ao ar.

5.2.3.3 Avaliação da resistência de aderência após cargas cíclicas

A Tabela 5.13 apresenta os resultados do ensaio de aderência na situação de cargas cíclicas e as formas de ruptura predominantes em cada situação. A Figura 5.94 mostra as imagens de cada situação.

Tabela 5.13 Resultados do ensaio de aderência na situação de carga cíclicas

Situação	Material de assentamento	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Cargas cíclicas	Manta	0,19	$\pm 0,02$	
	ACIII	0,38	$\pm 0,06$	

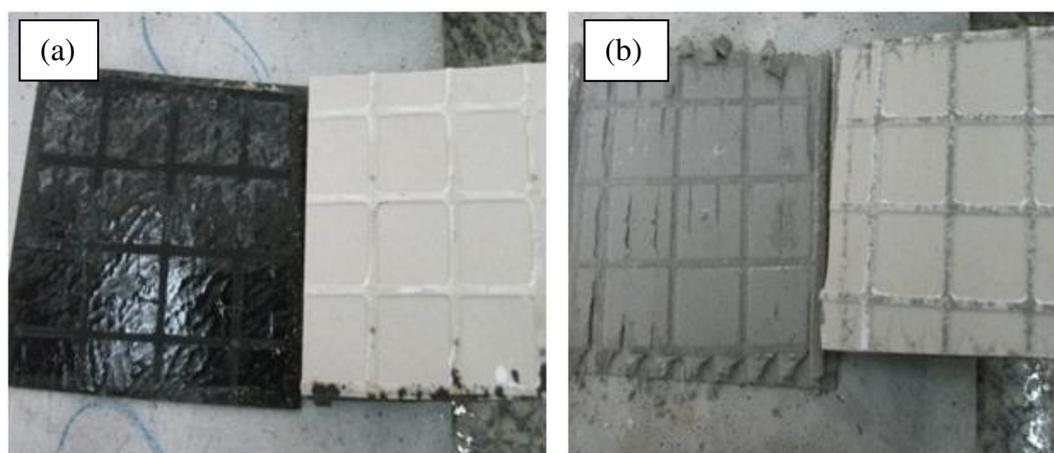
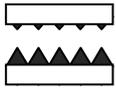
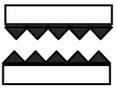
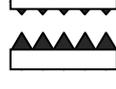
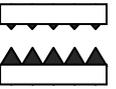
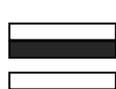
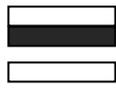
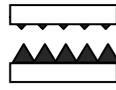
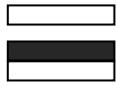
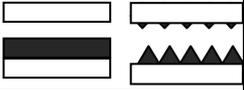
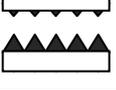
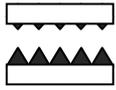
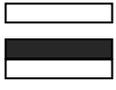


Figura 5.94 Ruptura quando submetido a Carga Cíclica (a) Manta (b) ACIII.

Realizando a análise estatística por comparação de médias pode-se afirmar tanto a manta quanto a argamassa possuem média que difere da condição de referência (cura normal). Porém a média da manta na condição de carga cíclica é superior em aproximadamente 30% em relação a condição de referência, enquanto a argamassa na condição de apresenta um resultado aproximadamente 2x inferior ao da condição de referência.

5.2.4 Resumo da Análise dos Resultados de Aderência

Tabela 5.14 Resumo dos resultados de aderência (Manta adesiva e ACIII)

Situação	Manta adesiva (MPa)	Ruptura predominante	ACIII (MPa)	Ruptura predominante
Cura ao ar (Referência)	0,14		0,75	
Cura submersa	0,33		0,42	
Cura estufa	0,16		0,70	
Tempo em aberto	0,11		0,35	
Umidade da base	0,11		0,57	
Pó na base	0,08		0,84	
Retrofit	0,24		0,21	
Secagem molhagem	0,11		0,51	
Envelhecimento por temperatura	0,16		0,85	
Cargas cíclicas	0,19		0,38	

Os resultados foram separados em três categorias de acordo com o tipo de ação: cura, condições da base e ações externas.

A Figura 5.95 apresenta os resultados da resistência de aderência na situação de mudança de cura. A argamassa ACIII apresentou resultados acima do valor estimulado pela norma brasileira (0,3MPa) em todas as situações, entretanto, na condição de cura submersa apresentou uma grande redução considerável em sua resistência. A presença da água e de altas temperaturas influencia negativamente a resistência da argamassa.

A manta polimérica adesiva apresentou um menor desempenho em relação à argamassa, na cura ao ar e em estufa teve seu valor 50% menor do que o recomendado pela norma, lembrando que a norma estabelece apenas valores para assentamentos com argamassa. Na condição de cura submersa, a manta apresenta um aumento em sua resistência o que indica a influência positiva da presença da água no adesivo. Em relação às altas temperaturas, estas não causaram grande alteração na resistência. Assim, nota-se que a resistência da argamassa sofre mais influência das condições de cura do que a manta.

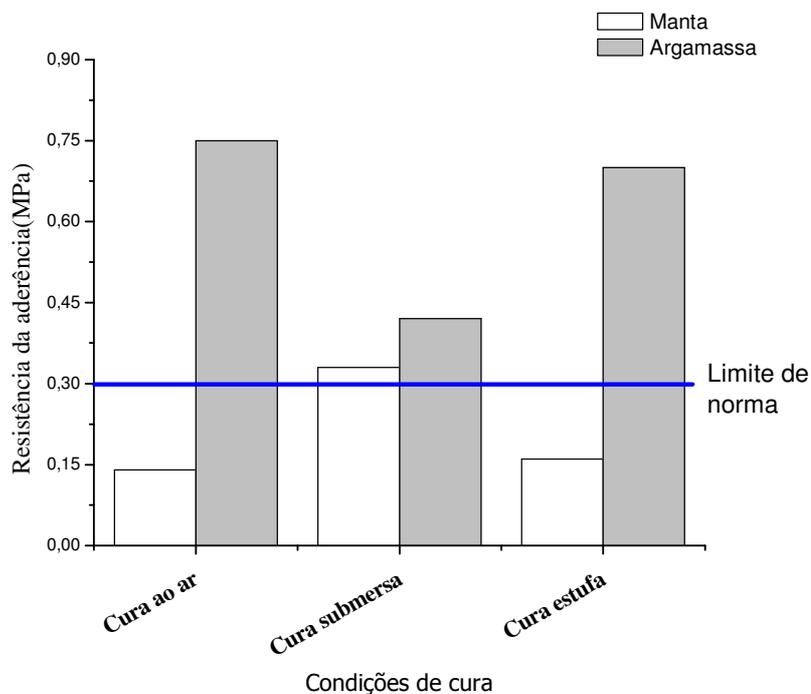


Figura 5.95 Resultados da resistência a aderência na situação de mudança de cura.

A Figura 5.96 apresenta os valores da resistência à aderência na situação de condição da base. A argamassa possui grande variação nessas situações, na condição de tempo em aberto e “retrofit” houve uma grande diminuição na resistência, o que indica que esses fatores possuem grande influência no desempenho desse material de assentamento.

O mesmo não ocorre com a manta, que se apresenta com resultados similares nessas condições, com exceção da situação de sujeita na base. Nesta última condição há uma diminuição da superfície de contato com o material, o que influencia negativamente o desempenho da manta. Todos os resultados da manta não atingem o valor recomendado pela norma brasileira.

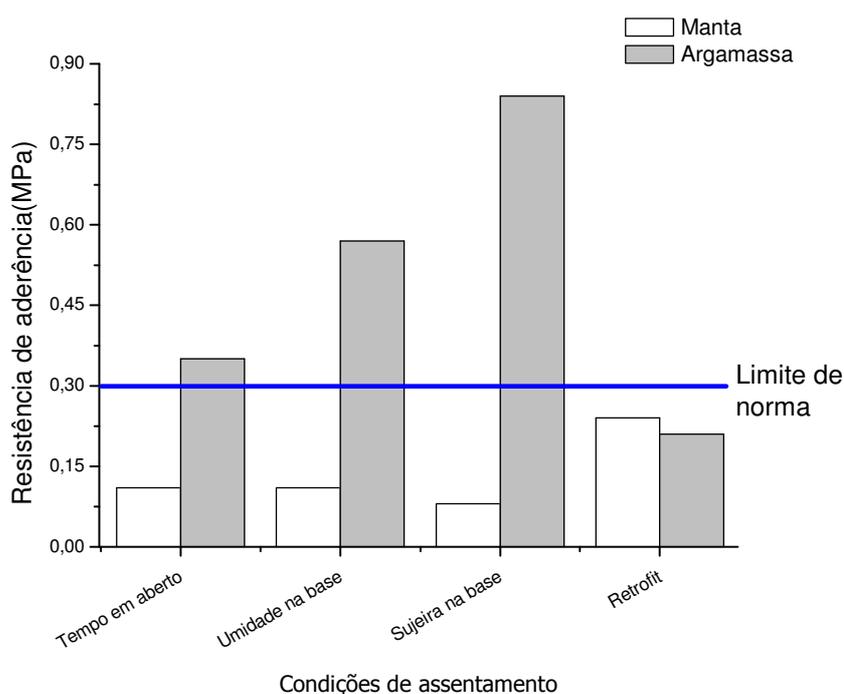


Figura 5.96 Resultado da resistência de aderência em relação a situação de condição de assentamento.

A Figura 5.97 apresenta os resultados da resistência à aderência na situação de condições externas. Novamente a argamassa apresenta maiores variações do que a manta, mostrando assim que esse material é sensível às alterações externas. A manta

polimérica apresentou todos os seus resultados com valores abaixo do recomendado pela norma brasileira, entretanto, seu desempenho foi mais uniforme.

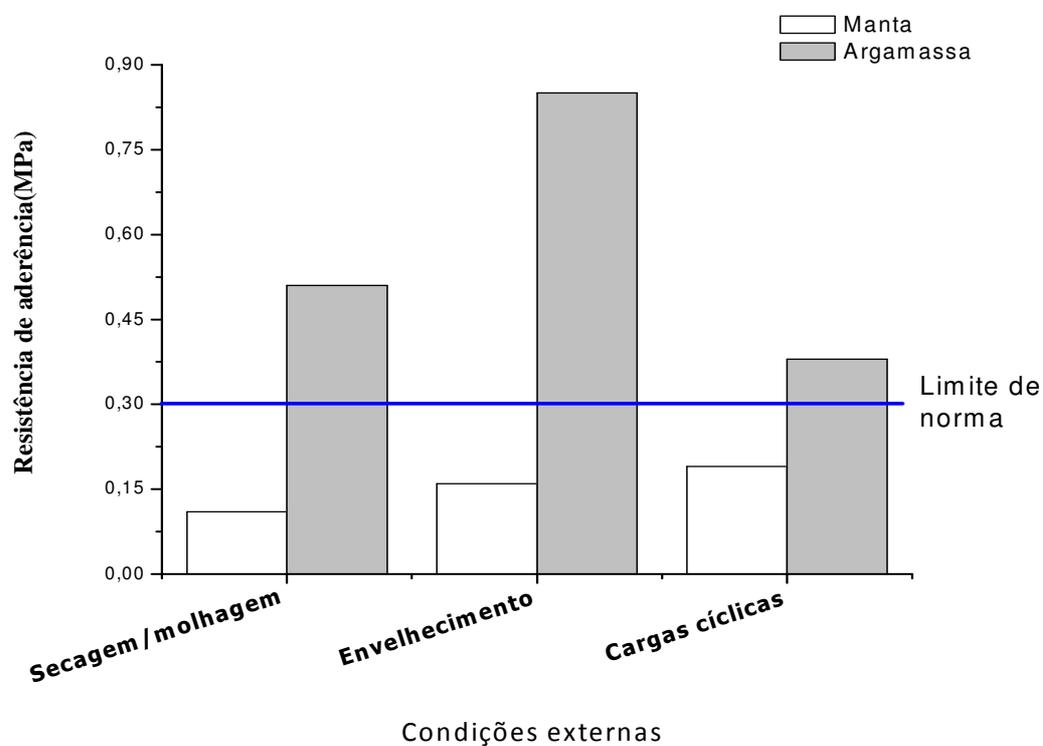
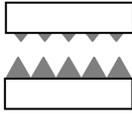
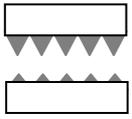
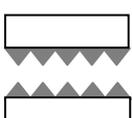
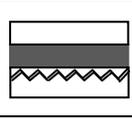
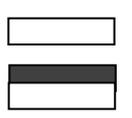


Figura 5.97 Resultado da resistência de aderência em relação a situação de condições externas.

5.2.5 Estudo da forma de ruptura

O tipo de ruptura possui interação direta com o desempenho final da resistência de aderência. A Tabela 5.15 apresenta os tipos de ruptura apresentados com suas características associadas.

Tabela 5.15 Tipos de ruptura e suas características

Ruptura	Influência na resistência de ruptura	Tipologia
Coesiva (A)	Apresenta ruptura na película superficial junto ao porcelanato, demonstra a dificuldade de aderência por migração para interior do porcelanato, ruptura comprometida (MANSUR, 2007).	
Coesiva (B)	Apresenta ruptura na película superficial junto ao substrato mostra a interferência da base em relação ao sistema de ancoragem do material de assentamento (CARASECK,1996).	
Coesiva (C)	Ruptura considerada ideal para avaliação de colagem de materiais diferentes, ruptura do material do assentamento, significa que a colagem das interfaces foi maior que a resistência do material de assentamento, condição satisfatória (CARASECK,1996).	
Coesiva (D)	Ruptura dentro do material de revestimento, aderência superior à capacidade do material (CARASECK,1996)..	
Coesiva (E)	Ruptura dentro do material de base. Aderência superior à capacidade do material (CARASECK,1996)..	
Adesiva (F)	Ruptura plana sem impregnação de materiais de assentamento na base, no contato entre o material de assentamento e a base, mostra a fragilidade entre o material e a base (CARASECK,1996)..	
Adesiva (G)	Ruptura plana sem impregnação de materiais de assentamento no porcelanato demonstra a dificuldade de colagem do porcelanato, material com baixo índice e absorção e vítreo (CARASECK,1996).	

O gráfico da Figura 5.98 apresenta o resultado da análise estatística em todas as condições de estudo, utilizando-se o teste de comparação de médias, dados não emparelhados com nível de significância de 1%. Todas as situações foram comparadas

individualmente com a condição de cura ao ar. A condição de $t_{calc}/t_{tab} < 1$ indica que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias em comparação. A condição oposta, $t_{calc}/t_{tab} > 1$, indica que diferença estatisticamente significativa entre as médias em comparação, adicionalmente foram adicionados os sinais + e - para indicar, respectivamente que houve uma influência que melhorou ou deteriorou a resistência de aderência.

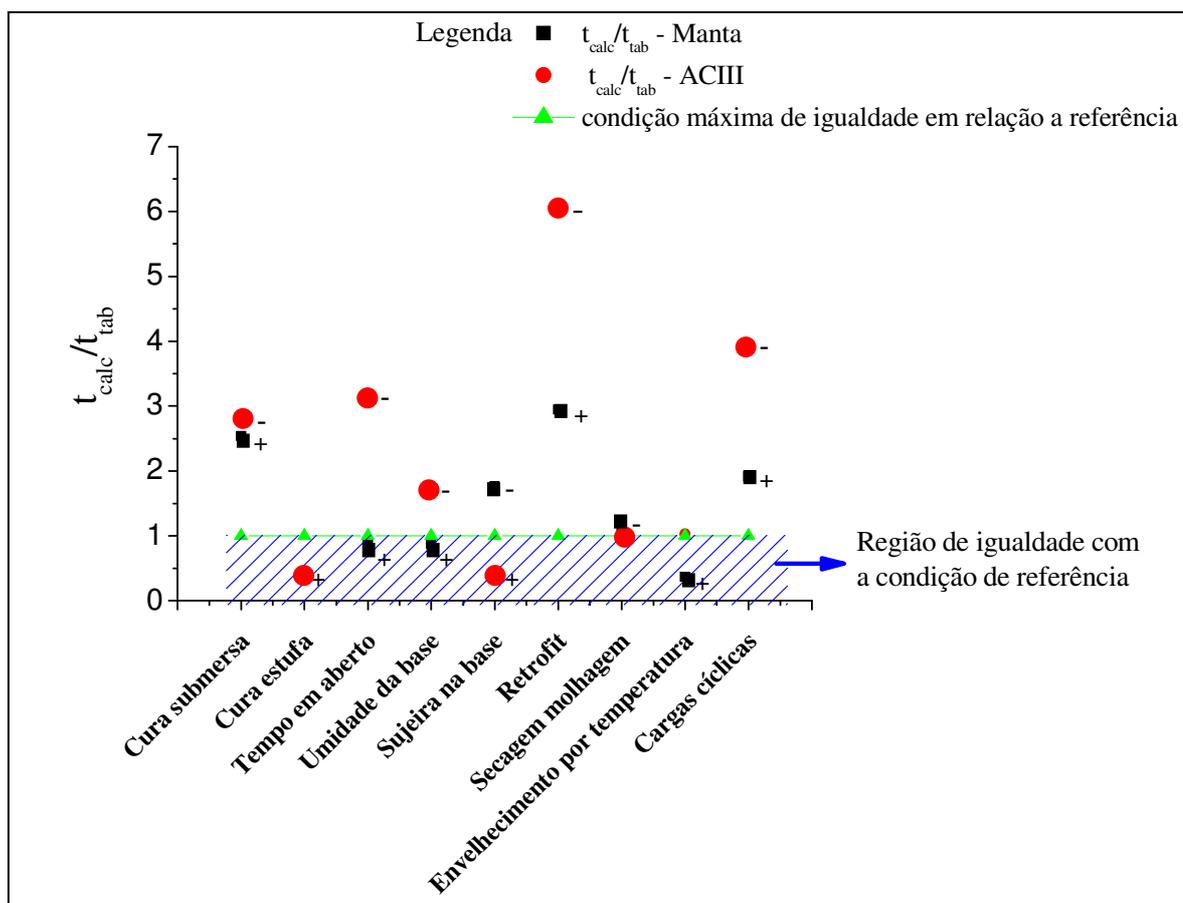


Figura 5.98 Resultado da análise estatística dos valores de resistência da aderência.

Verificam-se então os seguintes itens que tiveram influência negativa nos resultados:

- Manta adesiva: sujeira na base, ciclos de secagem e molhagem.
- Argamassa colante: cura submersa, tempo em aberto, umidade da base, retrofit e cargas cíclicas.

Portanto pode-se entender que as variações na argamassa e suas influências devido as ações, são mais significativas que para a manta.

5.2.6 Resistência ao Cisalhamento dos Sistemas de Assentamento - Manta Polimérica Adesiva Dupla Face e Argamassa Colante

Cada sistema em estudo foi constituído de: substrato padrão – sistema de assentamento – placas de porcelanato de 5x5cm. A Figura 5.99 mostra o equipamento desenvolvido para a realização desse ensaio. Os resultados obtidos nesse ensaio estão na Figura 5.100.



Figura 5.99 Vista do equipamento de ensaio de resistência ao cisalhamento direto.

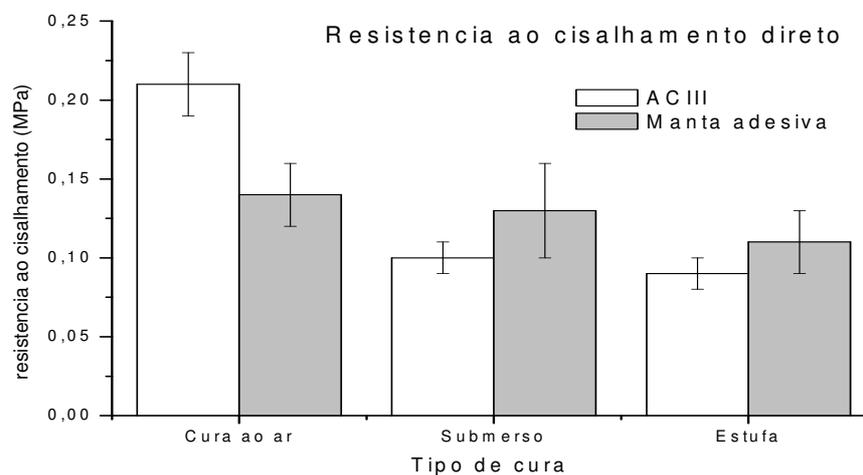


Figura 5.100 Resultado do ensaio de resistência ao cisalhamento nas condições de cura ao ar, estufa e submersa.

É possível observar que a manta apresentou valores superiores a ACIII nas condições de cura submersa e em estufa. Pode-se notar que quando tem-se uma mudança na condição de cura, os valores médios apresentados pela argamassa sofrem grandes alterações, da

ordem de 50%, enquanto a manta apresenta resultados mais consistentes com variabilidade na ordem de 20%.

Em relação à normalização, foram encontradas as seguintes normas que referenciam o ensaio de cisalhamento: para as normas americanas ANSI 118.1 a ANSI 118.4 na cura ao ar o valor mínimo é de 0,7MPa, em cura submersa é de 1,4MPa e para cura em estufa o valor mínimo é de 1,0MPa, todos esses valores foram estabelecidos considerando o material porcelanato. A norma australiana AS 2358 (1990) exige a resistência mínima de cisalhamento de 1,0MPa, e para as condições de envelhecimento de 0,3MPa.

A partir das normas australianas e americanas citadas pode-se afirmar que ambos os materiais de assentamento não atingiram os valores mínimos estabelecidos. Porém a manta possui uma maior similaridade em seus resultados nas diferentes condições de cura.

5.2.7 Resistência de aderência ao Cisalhamento x Tração

JOISEL (1981) adotou a relação entre a aderência de cisalhamento e a tração, classificando em aderência perfeita, média e fraca de acordo com quociente da divisão da resistência a tração sobre a resistência ao cisalhamento, como mostra a Tabela 5.16.

Tabela 5.16 Classificação dos níveis de aderência
(JOISEL, 1981)

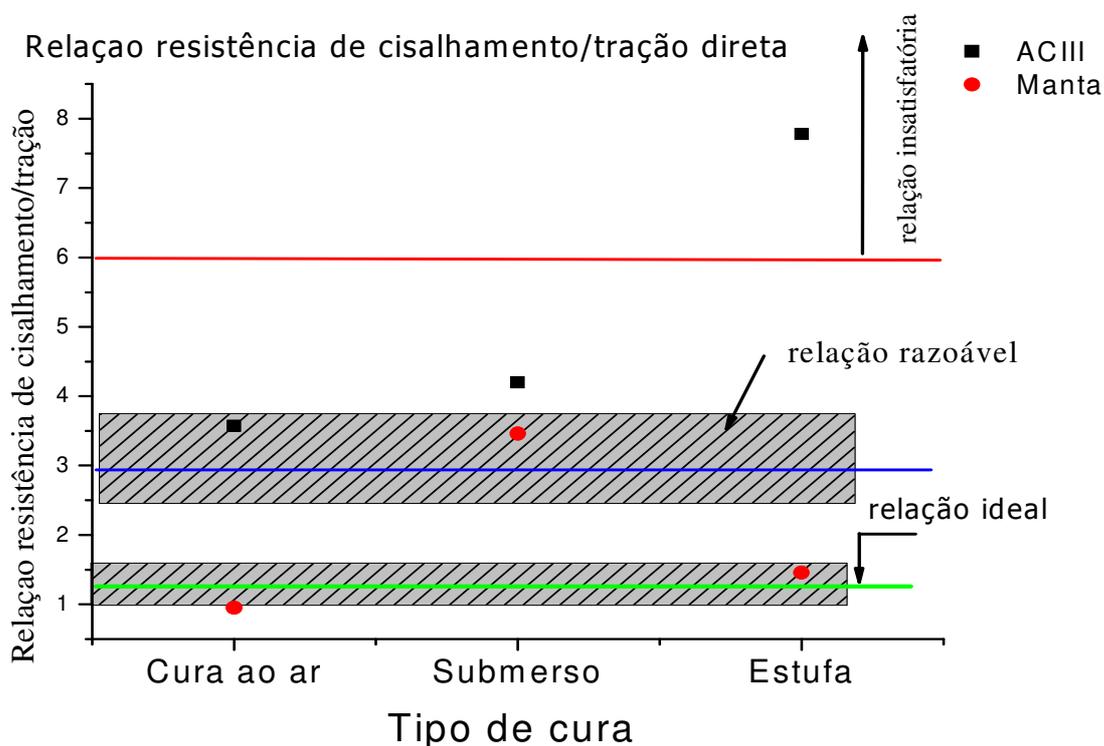
ADERÊNCIA	Tensão tração/ tensão cisalhamento σ_{tu}/τ_{tu}
Perfeita	~1
Média	~3
Fraca	~6

σ_{tu} – tensão de tração direta ; τ_{tu} - tensão de cisalhamento

Os dados obtidos foram então usados para o cálculo desta relação, sendo o resultado apresentado na Tabela 5.17 e na Figura 101.

Tabela 5.17 Níveis de aderência em relação a resistência a tração pela resistência ao cisalhamento

	σ_{tu} / τ_{tu} Argamassa colante ACIII	Aderência	σ_{tu} / τ_{tu} Manta Adesiva dupla face	Aderência
Cura normal	3,6	Média	1,0	Perfeita
Cura submersa	7,6	Fraca	2,6	Média
Cura em estufa	8,8	Fraca	1,5	Perfeita

Figura 5.101 Representação dos resultados da relação σ_{tu}/τ_{tu} para os sistemas de assentamento estudados.

Pela relação de JOISEL (1981) é possível notar que, na maioria das situações, a manta possui o índice referente à aderência perfeita, passando a média apenas na cura submersa, onde notadamente existe deficiência de adesivos poliméricos, apesar da resistência a tração apresentar valor mais elevado dos tipos de cura, sua relação tração/cisalhamento não se apresenta satisfatório. Enquanto isso a argamassa obteve desempenho insatisfatório, pois os seus resultados da relação tração/cisalhamento apresentaram entre média a fraca, fruto da baixa resistência ao cisalhamento medida para este sistema.

Pela proposta apresentada por JOISEL (1981), a relação tração por cisalhamento para a manta adesiva atende em melhores condições que a argamassa devido a grande variação entre estas propriedades. Pode-se então sugerir a alteração desta relação para materiais de revestimento, fixando os limites para adotar esta relação. A Figura 5.102 apresenta o gráfico ilustrativo da relação resistência à tração e resistência ao cisalhamento.

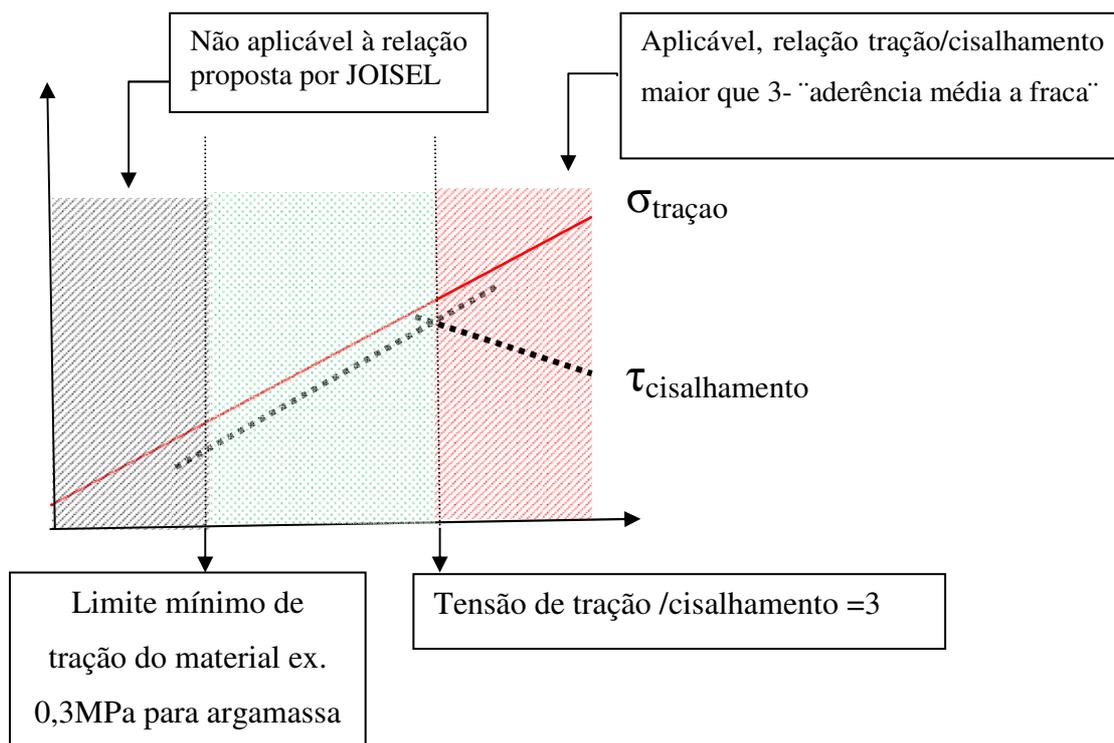


Figura 5.102 Gráfico ilustrativo da relação resistência à tração e resistência ao cisalhamento.

5.2.8 Assentamento com manta polimérica adesiva em placa cerâmica (lado liso)

Nesse ensaio utilizou-se outro tipo de sistema, ao invés de utilizar o porcelanato, utilizou-se uma cerâmica comum (no entanto ela foi assentada com o tardo para cima). Esse sistema foi assentado apenas com a manta polimérica adesiva, e foi submetido a 3 tipos de curas: ao ar, submersa e em estufa. Foram realizados os ensaios de aderência conforme adaptação da norma NBR 14081 (ABNT, 2012d). Abaixo as Tabelas 5.18, 5.19 e 5.20, apresentam os resultados contendo os valores das resistências e os tipos de ruptura de cada situação analisada.

5.2.8.1 Cura ao ar

A Tabela 5.18 apresenta a média dos resultados obtidos do ensaio a tração, o desvio padrão e a forma de ruptura da cerâmica auto adesiva submetida à cura ao ar. Utilizando esse novo sistema, nota-se que houve um aumento de 28% na resistência a tração quando comparado ao sistema com porcelanato. É observado também que a ruptura foi na interface da manta com o substrato, demonstrando que a interação da manta com a cerâmica obteve valor superior. A Figura 5.103 mostra a imagem das placas após a ruptura.

Tabela 5.18 Resultados do ensaio de aderência na situação de cura ao ar

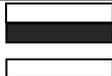
Situação	Material de assentamento	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Cura ao ar	Manta	0,18	$\pm 0,015$	



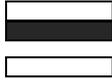
Figura 5.103 Ruptura quando submetido a cura normal.

5.2.8.2 Cura submersa

A Tabela 5.19 apresenta a média dos resultados obtidos do ensaio a tração, o desvio padrão e a forma de ruptura da cerâmica autoadesiva submetida à cura submersa. Nesse ensaio foi observado que o valor da resistência à aderência obteve um acréscimo de 50% em relação à condição padrão (porcelanato) e um acréscimo de 17% em relação ao mesmo sistema submetido à cura ao ar. Isso comprova mais uma vez a influência positiva no desempenho da aderência em adesivos quando está na presença de água,

citado por QUEIROZ (1996), MANSUR (2007), FELIXBERGER (2008) e CHEW (2010). A Figura 5.104 mostra a imagem das placas após a ruptura.

Tabela 5.19 Resultados do ensaio de aderência na situação de cura submersa

Situação	Material de assentamento	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Cura submersa	Manta	0,21	$\pm 0,006$	

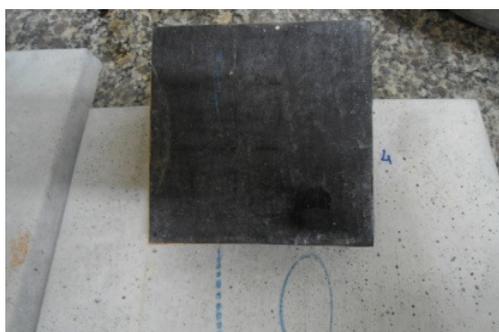


Figura 5.104 Ruptura quando submetido a cura submersa.

5.2.8.3 Cura em estufa

A Tabela 5.20 apresenta a média dos resultados obtidos do ensaio a tração, o desvio padrão e a forma de ruptura da cerâmica autoadesiva submetida à cura em estufa. Observa-se que nesse ensaio a resistência à aderência à tração apresentou pouca alteração em relação ao resultado da situação padrão (porcelanato). Isso demonstra que a presença do tardoz não influenciou no valor do resultado, mas alterou de forma significativa a forma de ruptura que passou para a face da manta em contato com o substrato, de modo que a resistência na interface é $\geq 0,15\text{MPa}$. Esta mudança é extremamente importante uma vez que as maiores tensões nos sistemas de assentamento ocorrem na interface placa cerâmica/material de assentamento e como consequência, a maior parte dos destacamentos verificados também ocorrem nesta interface (MANSUR,2007). A Figura 5.105 mostra a imagem das placas após a ruptura.

Tabela 5.20 Resultados do ensaio de aderência na situação de cura em estufa

Situação	Material de assentamento	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Cura em estufa	Manta	0,15	$\pm 0,023$	



Figura 5.105 Ruptura quando submetido a cura em estufa.

5.2.8.4 Manta aderida ao substrato

A Tabela 5.21 apresenta o resultado da resistência de aderência a tração na cerâmica, com a manta aderida ao substrato com Epóxi. Nesse ensaio pode-se verificar que a resistência de aderência sobre a superfície plana, sem a interferência da base, é duas vezes maior do que o resultado encontrado na condição de referência, cura ao ar. Com isso, o valor dessa resistência é maior do que o sugerida com a norma, o que indica um bom desempenho entre a manta e porcelanato. A Figura 5. 106 apresenta o ensaio realizado.

Tabela 5.21 Resultados do ensaio de aderência da manta aderida ao substrato

Situação	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão	Ruptura predominante
Cura ao ar (com adesivo epoxi na interface substrato/manta adesiva)	0,34	$\pm 0,02$	



Figura 5.106 Ruptura da manta aderida ao substrato.

5.3 Análise de tensões entre sistema de assentamento cerâmico com Argamassa Colante ACIII e Manta Polimérica adesiva

5.3.1 Resultados da Modelagem numérica por Elementos Finitos

Modelo utilizado para avaliação de tensões e deformações de ambos os sistemas de assentamento ACIII e Manta Polimérica Adesiva Dupla Face, como apresentado na Figura 5.107.

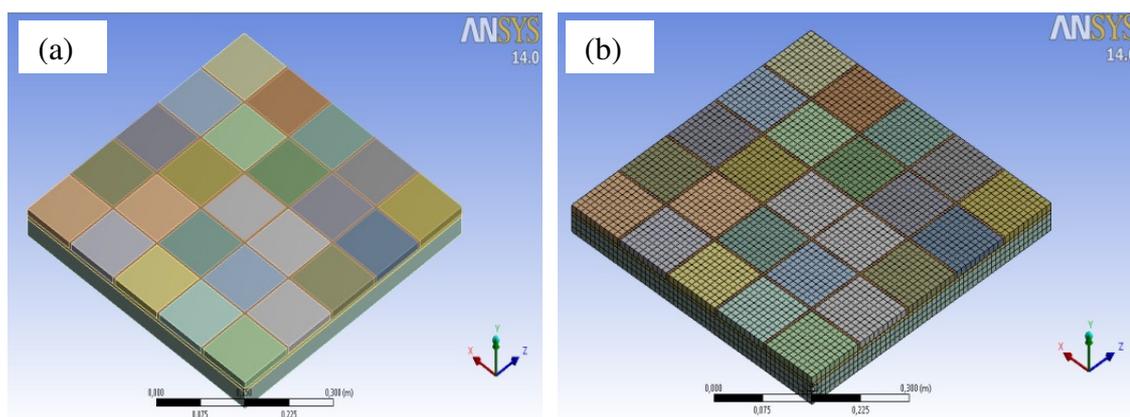


Figura 5.107 (a) Modelo 3D – ACIII e Manta adesiva (b) modelo estratificado malha tamanho 5x5mm.

Os dados das propriedades dos materiais do sistema de assentamento foram obtidos através dos ensaios de caracterização realizados em laboratório e alguns valores coletados da literatura consultada. A Tabela 5.22 apresenta os dados utilizados para

avaliação, os dados referentes a argamassa são retirados de FIORITO (2005) e os dados da manta polimérica adesiva foram apresentados nos Resultados e Discussões.

Tabela 5.22 Dados utilizados para a avaliação

Sistema	Massa específica (Kgf/dm ³)	Espessura (mm)	Resistência cisalhamento (MPa)	Resistência de aderência (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	Coefficiente Poisson	Coefficiente de dilatação térmica (°C ⁻¹)
AC III	2,59	5,0	0,21	0,70	14 000	0,2	1,0 x 10 ⁻⁶
Manta adesiva dupla face	0,23	2,5	0,15	0,14	2,92	0,3	0,1 x 10 ⁻⁶
Cerâmica	2,70	6,0	-	-	30 000	0,2	5,0 x 10 ⁻⁶
Substrato padrão	2,55	20,0	-	-	20 000	0,2	5,0 x 10 ⁻⁶
Rejuntamento	2,45	5,0	-	-	5 000	0,2	5,0 x 10 ⁻⁶

Após a modelagem do sistema de assentamento, foi aplicada uma variação térmica de 40°C, de forma uniforme e geral sobre todas as peças cerâmicas, gerando tensões de cisalhamento e tração nas interfaces do material de assentamento e o porcelanato, sem restrições, considerando o alívio como juntas de movimentação.

As Figuras 5.108 e 5.109 apresentam os deslocamentos após a aplicação do efeito térmico. Verifica-se um deslocamento bem superior no sistema de manta adesiva em função do baixo módulo de elasticidade do material de assentamento, ocorrendo assim, um arraste e distorção do material de assentamento, fato que não ocorre com a argamassa colante, devido a sua rigidez e maior módulo de elasticidade.

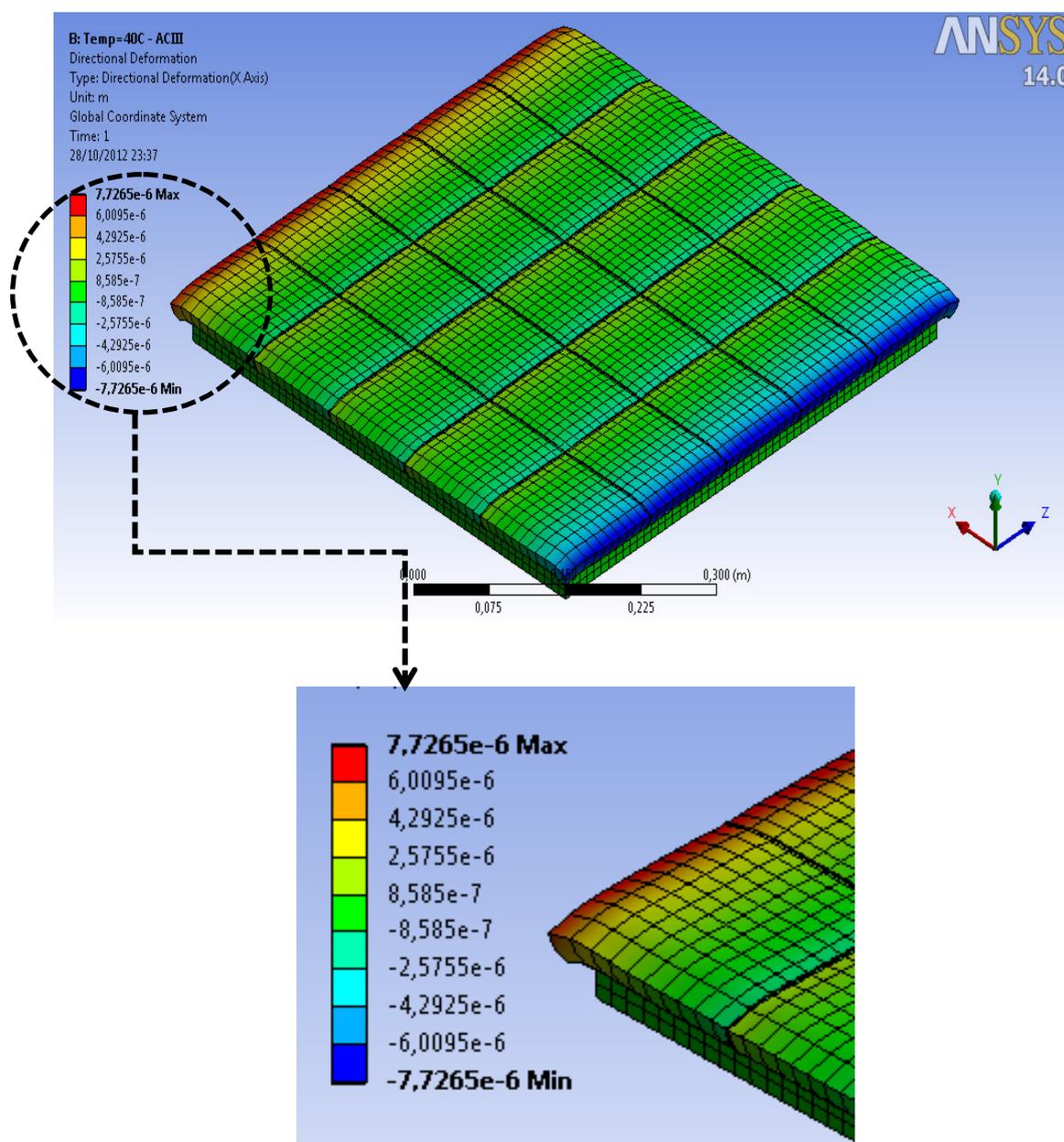


Figura 5.108 Deslocamento do sistema ACIII, após ação térmica. (7,7 μm).

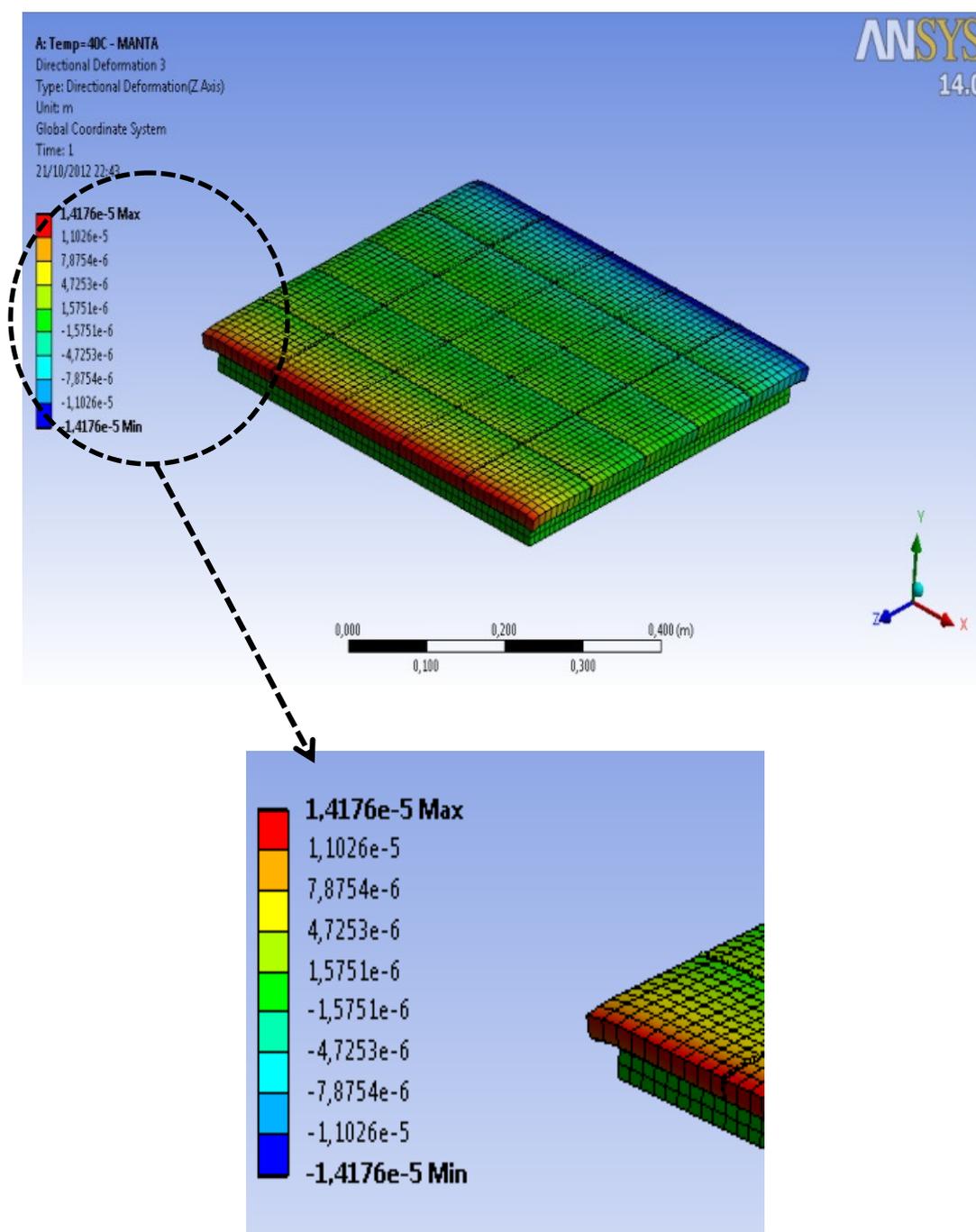


Figura 5.109 Deslocamento da manta na direção X.

As Figuras 5.110 e 5.111 apresentam as tensões de cisalhamento geradas na interface da placa de porcelanato com os sistemas de assentamento, argamassa colante e manta adesiva, respectivamente.

As tensões de cisalhamento e tração são determinadas devido ao deslocamento das placas cerâmicas, sobre o material de assentamento e a restrição de movimento imposta

pela aderência entre as camadas e forças coesivas no interior dos materiais. Verifica-se que mesmo com o deslocamento maior na manta adesiva as tensões geradas são bem inferiores do que as da argamassa colante. Isso ocorre devido ao deslocamento da espuma de polietileno da manta, que permite seu deslocamento gerando baixa tensão de cisalhamento, conseqüentemente, baixa tensão de tração na interface porcelanato / manta adesiva. Em razão disso, a tensão na manta adesiva é na ordem de 10 vezes menor do que na argamassa colante.

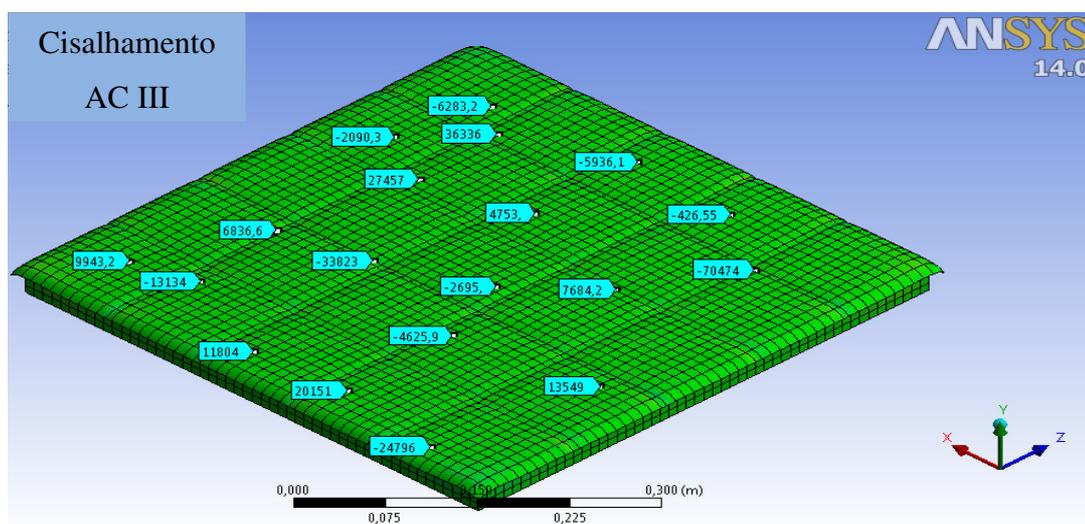


Figura 5.110 Tensão de Cisalhamento no Plano XZ, para ACIII.

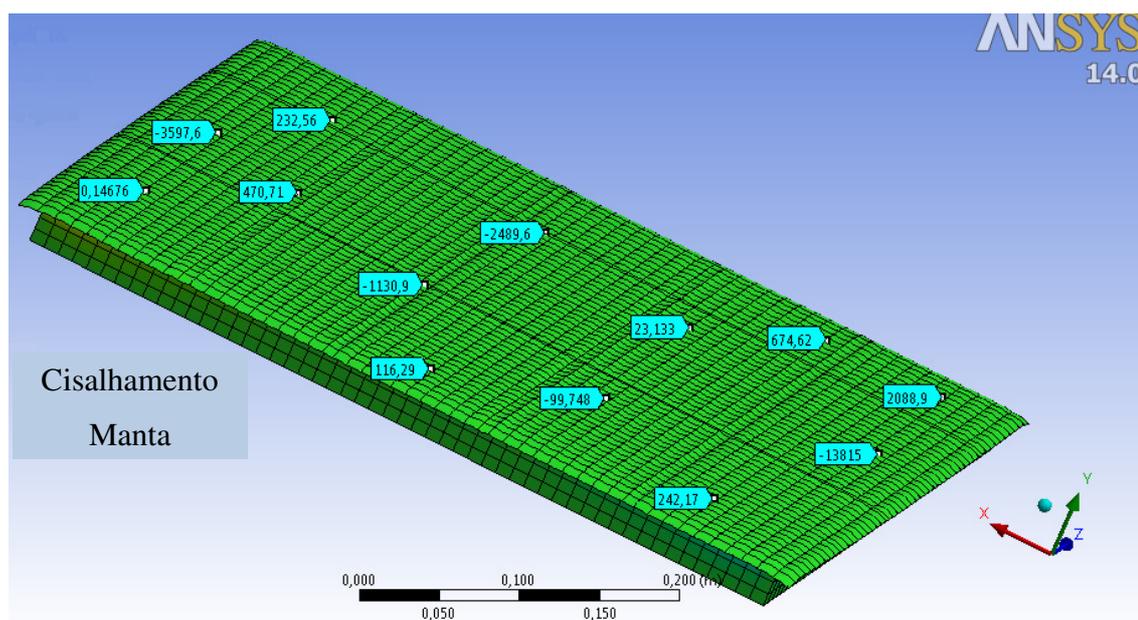
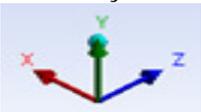


Figura 5.111 Tensão de Cisalhamento no Plano XZ, para Manta adesiva.

Após a simulação numérica, foram encontrados os valores máximos de deslocamento e tensões nos sistemas. Os valores obtidos para a argamassa são: $7,7 \cdot 10^{-6}$ m e 0,33MPa, respectivamente, e para a manta são: $14 \cdot 10^{-6}$ m para o deslocamento e 0,03MPa para a maior tensão de tração e cisalhamento. A Tabela 5.23 apresenta os dados obtidos na modelagem numérica por elementos finitos.

Tabela 5.23 Dados obtidos na modelagem numérica por elementos finitos

Ação modelada, após simulação de 40°C	Direção 	Argamassa ACIII	Manta Adesiva
Deslocamento (μm)	X	7,7	14
	Y	3,6	3,8
	Z	7,7	14
Tensão de cisalhamento (MPa)	XZ	0,07	0,003
Tensão de tração (MPa)	YZ	0,13	0,03

Segundo FIORITO (2005), o coeficiente de segurança necessário para um sistema de revestimento cerâmico é na ordem de 200%, coeficiente de segurança(K) apresentado também por (SARAIVA et. al, 2001) ou seja, $K=3$. A partir disso foi elaborada a Tabela 5.24, em que todas as tensões nas diversas situações foram analisadas e comparadas com as tensões obtidas na simulação numérica.

Com este estudo pode-se ainda fazer uma simulação de limite para tração do sistema com manta com valores iguais ou superiores a 0,1 MPa, que o coeficiente de segurança ainda é viável em todas as situações citadas, obtendo-se coeficiente de segurança maior que 200%.

A partir dessa análise, foi constatado que algumas situações apresentaram deficiência em seu desempenho. São elas:

- assentamento com AC III – condições de tempo em aberto, situação de retrofit e após cargas cíclicas;
- assentamento com Manta Polimérica Adesiva Dupla Face: apenas na situação de sujeira na base.

Tabela 5.24 Análise do coeficiente de segurança em cada tipo de cura

Ações no sistema	Resistencia de aderência obtida (MPa)		Coeficiente de segurança resultado obtido em relação a análise numérica (%)	
	AC III	Manta adesiva	AC III	Manta adesiva
Cura ao ar	0,75	0,14	470	360
Cura em estufa	0,69	0,16	330	430
Cura submersa	0,42	0,33	320	1000
Tempo aberto	0,35	0,11	170	266
Umidade da base	0,8	0,1	515	230
Sujeira na base	0,84	0,07	546	130
Retrofit	0,21	0,24	60	700
Ciclos de sec. e molhagem	0,51	0,11	290	266
Envelhecimento por temp.	0,68	0,16	420	433
Após cargas cíclicas	0,39	0,15	196	400

 Situações que não atendem o coeficiente de segurança proposto (inferior a 200%)

5.4 Avaliação da tendência de sustentabilidade

A análise de emissão de gases foi limitada aos materiais que apresentam grande quantidade de emissão dos mesmos, seja na fabricação ou na retirada do material da natureza, denominados elementos base. São eles:

- Argamassa,
- Areia e Brita (retirada e transporte),

- Transporte

A partir dos elementos base apresentados foi calculado a quantidade de dióxido de carbono liberado para a produção e execução de 1m² de piso assentado com argamassa colante. Cálculos comparativos foram realizados utilizando-se a manta polimérica adesiva.

Para o assentamento de 1m² de piso utiliza-se 10 kg de argamassa, o fabricante da Argamassa ACIII afirma que a argamassa possui 30% de sua composição de cimento, 64% de agregado e 1% dos aditivo. FIORITO (1985) apresenta o traço da argamassa, em que se utiliza 3,5 kg de cimento, 6,0kg de agregado, 0,03kg da quantidade de cimento de polímero EVA e 0,02kg de retentor de água.

A manta polimérica é fabricada com polietileno e filler calcário, como informa o fabricante. O peso específico da manta é de 0,67kg/m², e a manta adesiva apresenta uma densidade de 0,225kg/m³, em função da presença de ar na formação da espuma. A Tabela 5.25 apresenta o resultado da comparação entre os dois produtos.

Tabela 5.25 Comparação entre a produção de CO₂ na utilização da argamassa colante e da manta polimérica adesiva

Análise de emissão de CO ₂ em função do tipo do assentamento					
Item	Materiais	Quantidade kg/ m ²	Unidade	Emissão CO ₂ /kg	Emissão CO ₂ /m ²
01	Cimento	3,5	kg	0,969	3,39
	Areia	6,0	kg	0,015	0,09
	Aditivo retentor de água	0,02	kg	3,500	0,07
	Polímero EVA e outros	0,03	kg	3,500	0,11
Total Argamassa colante: 3,66kg/m ²					
02	Polietileno	0,49	kg	3,500	1,72
	Acrílico	0,001	kg	3,500	0,00
Total manta adesiva: 1,72kg/m ²					

6 CONCLUSÕES

6.1 Conclusão Geral

Os estudos realizados mostraram que o produto comercial manta polimérica dupla face apresentou desempenho adequado para utilização no assentamento de placas cerâmicas de revestimento, nas diferentes condições de cura, execução e ações externas testadas.

6.2 Conclusões Específicas

- A manta polimérica é constituída de polietileno com cargas minerais, apresentando a região central com estrutura alveolar e adesivo na superfície de natureza acrílica. As propriedades mecânicas medidas para a manta refletem a estrutura porosa do material.

A argamassa colante atendeu às propriedades exigidas para a classificação ACIII sendo, portanto, indicada para o assentamento de porcelanatos. O produto é baseado no cimento Portland com agregados de quartzo e presença de filler calcário.

- As propriedades de aderência à tração e ao cisalhamento nas diferentes condições de cura obtidas para o sistema baseado na argamassa colante ACIII foram superiores às medidas para a manta adesiva. Em todas as situações avaliadas, a argamassa colante atendeu à recomendação da norma de assentamento de placas cerâmicas para revestimento com resistência de aderência à tração maior que 0,30 MPa, enquanto que a manta adesiva superou esta referência na situação de cura submersa. Apesar de não existir norma brasileira para a avaliação do cisalhamento, nenhum dos dois sistemas de revestimento atendeu às recomendações das normas internacionais. Na utilização do parâmetro proposto por JOISEL (1981) para classificação dos níveis de aderência, o sistema com manta polimérica apresentou melhor desempenho.
- Em relação às condições de assentamento, a manta adesiva apresentou desempenho similar ou superior à condição de cura normal, utilizada como referência, em todas as situações avaliadas, exceto em relação à presença de sujeira na base. Por outro

lado, o sistema baseado na argamassa colante apresentou comportamento inferior à cura normal nas situações de tempo em aberto, umidade na base e retrofit.

- Em relação às condições de exposição, a manta adesiva apresentou comportamento superior à cura normal nas situações de envelhecimento por temperatura e aplicação de cargas cíclicas. Em relação à ocorrência de ciclos de secagem e molhagem, o resultado foi ligeiramente inferior. Para a argamassa colante, o desempenho foi similar na secagem e molhagem e temperatura e bastante inferior após exposição a cargas cíclicas.
- As técnicas de caracterização microestrutural revelaram que a manta adesiva apresentou um comportamento satisfatório frente a ações da temperatura e presença de água nas condições avaliadas. A maior mobilidade propiciada às cadeias poliméricas do adesivo ou a re-emulsão das partículas de látex do adesivo resultam em um maior espalhamento e contato na interface manta polimérica/porcelanato. A presença de garras no tardo da placa de porcelanato utilizada pode atuar reduzindo a área de contato entre a cerâmica e a manta de assentamento.
- A simulação através do método dos elementos finitos, considerando-se um gradiente de temperatura de 40°C, demonstrou que o valor de resistência de aderência à tração exigido pela norma brasileira para sistemas cerâmicos assentados com argamassas colantes são adequados para este sistema mas é superdimensionado para a manta adesiva dupla face. Os esforços atuantes no sistema de revestimento assentado com manta adesiva são muito inferiores aos verificados quando as placas cerâmicas assentadas com ACIII, devido ao menor módulo de elasticidade da manta. Considerando-se um coeficiente de segurança de 200%, as tensões atuantes calculadas e as resistências de aderência medidas, o uso da manta adesiva somente é comprometido no caso de presença de sujeira na base, enquanto que a utilização da ACIII pode não atender ao requisito nas condições de tempo em aberto, retrofit e ação de cargas cíclicas.
- Baseado nos resultados positivos para utilização da manta, foi proposto e testado um modelo de cerâmica autoadesiva buscando maior praticidade e industrialização do processo. Neste modelo, com placas cerâmicas sem friso no tardo e com a manta já

aderida no verso da placa, garantiu-se 100% de contato (macroscópico) entre a cerâmica e a manta adesiva e eliminou-se a etapa de colagem da placa na manta. Os valores medidos para a resistência de aderência foram iguais ou superiores aos determinados para as placas de porcelanato, mas com o importante aspecto da mudança da forma de ruptura que foi deslocada da interface placa/manta, implicando que a resistência nesta interface é superior à determinada.

- Os resultados em relação à tendência de sustentabilidade também são positivos. A substituição da argamassa colante pela a manta adesiva no assentamento de placas cerâmicas, reduz a emissão de CO₂ em cerca de 50% por m² aplicado.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Avaliação da modificação da superfície de placas cerâmicas estudando o tipo de tardo que melhor desempenhe a correlação de aderência com adesivo, inclusive com a influência da umidade;

Estudo das interações entre os outros tipos de polímeros em sistemas de assentamento de contato por pressão;

Estudo da melhoria da tendência de sustentabilidade do corpo do adesivo, substituindo o polietileno por outros tipos de manta, como por exemplo, de pneu moído;

Utilização de técnicas de caracterização e desenvolvimento de polímeros que possam reduzir as interferências externas nas colagens.

8 PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA

8.1 Trabalhos Completos

MANSUR, A. A. P.; Nascimento, O. L. do; Oréface, R. L. Mansur, H. S. Porcelain tile surface modification with isocyanate coupling agent: interactions between EVA modified mortar and silane improving adherence. *Surface and Interface Analysis (Print)*, v. 43, p. 738-743, 2011.

MANSUR, Alexandra Ancelmo Piscitelli; NASCIMENTO, Otávio Luiz do; VASCONCELOS, Wander Luiz; MANSUR, Herman Sander. Chemical functionalization of ceramic tile surfaces by silane coupling agents: polymer modified mortar adhesion mechanism implications. *Materials Research (São Carlos. Impresso)*, v. 11, p. 293-302, 2008.

NASCIMENTO, O. L. do; MANSUR, Alexandra A. P.; MANSUR, Herman S. 'Cement-free product' for settlement of ceramic tiles: an approach for greener construction. In: "Materials Science Forum Journal". No Prelo.

NASCIMENTO, Otávio Luiz do; MANSUR, Alexandra Ancelmo Piscitelli; MANSUR, Herman Sander. Mapeamento de patologias em sistemas de revestimento cerâmico de fachadas. *Revista Construindo*. No Prelo.

8.2 Trabalhos completos publicados em anais de congressos

NASCIMENTO, Otávio Luiz do; MANSUR, Alexandra A. P.; MANSUR, Herman Sander. Caracterização de sistema de colagem dupla-face para assentamento de placas de revestimento cerâmico: caracterização do produto e avaliação de desempenho. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2012), 2012, Juiz de Fora - MG. p. 3484 - 3493.

NASCIMENTO, Otávio Luiz do; MANSUR, Alexandra A. P.; MANSUR, Herman Sander. Utilização de sistema de colagem dupla-face para assentamento de placas cerâmicas de revestimento: comparação com o sistema tradicional. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT 2012), 2012, Joinville - SC. p. 37.

NASCIMENTO, Otávio Luiz do; MANSUR, Alexandra A. P.; MANSUR, Herman Sander. Estudo da correlação entre as resistências de aderência a tração e ao cisalhamento em sistemas de assentamento cerâmico. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT 2012), 2012, Joinville - SC. p. 37.

NASCIMENTO, Otávio Luiz do; MANSUR, Alexandra A. P.; MANSUR, Herman Sander. 'Cement-free product' for settlement of ceramic tiles: an approach for greener construction. In: 7th International Conference on Intelligent Processing and Manuf. of

Materials (IPMM2012), 2012, Foz do Iguaçu-PR. PROGRAM OF 7th International Conference on Intelligent Processing and Manuf. of Materials, 2012. v. 1. p. 1-10.

NASCIMENTO, O. L. ; MANSUR, Alexandra Ancelmo Piscitelli ; MANSUR, Herman . Bond strength and microstructural evaluation of ceramic tiles installed with double face adhesive sheets in comparison with dry-set mortar systems. In: QUALICER 2012, 2011, Castellón,Spain. Proceedings of Qualicer 2012, 2012. v. 1. p. 93-100.

NASCIMENTO, O. L. ; MANSUR, Alexandra Ancelmo Piscitelli ; Mansur, Herman S. . Modelling the stress-strain behavior of ceramic tile coverings installed with double face adhesive sheets. In: QUALICER 2012, 2011, castellon,Spain. Proceedings of Qualicer 2012, 2012. v. 1. p. 94-100.

NASCIMENTO, O. L. DO ; MANSUR, Alexandra Ancelmo Piscitelli ; Mansur, Herman S. . Ceramic tile surface modification with tetraethyl orthosilicate: implications in bond strength between portland cement mortar and modified-ceramic tile. In: QUALICER 2012, 2011, castellon,Spain. Proceedings of Qualicer 2012, 2012. v. 1. p. 95-100.

NASCIMENTO, O. L. DO; MANSUR, Alexandra Ancelmo Piscitelli; MANSUR, Herman Sander . Caracterização Sistema de Colagem Dupla-Face para Assentamento de Revestimento Cerâmico. In: 11 CBPOL, 2011, Campos do Jordao-SP. Anais do 11 CBPOL, 2011. v. 1. p. 4908-4913.

MANSUR, A. A. P.; Nascimento, O. L.; Mansur, H. S. Effect of chemical functionalization of porcelain tiles by aminosilane in the interfacial adhesion between tile and eva modified mortar. In: Qualicer 2010 - XI Forum on Ceramic Tile, 2010, Castellon. Proceedings of Qualicer 2010, 2010. v. 1. p. 1-3.

MANSUR, A. A. P.; Nascimento, O. L. ; Mansur, Herman Sander . Glass tile cracks and delamination: microstructural evaluation of failure causes. In: Qualicer 2010 - XI Forum on Ceramic Tiles, 2010, Castellon. Proceedings of Qualicer 2010, 2010. v. 1. p. 1-3.

MANSUR, Alexandra Ancelmo Piscitelli; DO NASCIMENTO, Otávio Luiz; MANSUR, Herman Sander; MANSUR, A. A. P. Enhancing Polymer-Modified Mortar Adhesion to Ceramic Tile Surface by Chemical Functionalization with Organosilanes. Surface Review and Letters, v. 16, p. 127-139, 2009.

MANSUR, A. A. P.; Nascimento, O. L.; Mansur, H. S. Physico-chemical characterization of EVA-modified mortar and porcelain tiles interfaces. Cement and Concrete Research, v. 39, p. 1-10, 2009.

MANSUR, A. A. P.; Nascimento, O. L.; Mansur, H. S. Uso de silanos para modificação da superfície de placas cerâmicas de porcelanato:Efeito na resistência de aderência. In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009, Curitiba. Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009. v. 1. p. 1-13.

DO NASCIMENTO, Otávio Luiz ; MANSUR, A. A. P. ; Mansur, H. S. . Avaliação da ocorrência de manchamento em placas de granito branco nevada. In: XV COBREAP - Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, 2009, São Paulo. Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, 2009. v. 1. p. 1-22.

DO NASCIMENTO, Otávio Luiz ; MANSUR, A. A. P. ; Mansur, H. S. . Avaliação de potencial eletroquímico de sistema de montagem metálica. In: XV COBREAP - Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, 2009, São Paulo. Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, 2009. v. 1. p. 1-22.

8.3 Resumo Expandido

MANSUR, Alexandra Ancelmo Piscitelli; NASCIMENTO, O. L. DO; Mansur, Herman S. Influência da modificação da superfície de placas cerâmicas com aminosilano na de aderência à tração entre argamassa de assentamento/placa cerâmica em diferentes resistências condições de cura. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais CBECiMat 2010, 2010, Campos do Jordao-SP. anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais CBECiMat 2010. v. 1. p. 870-870.

MANSUR, A. A. P.; DO NASCIMENTO, OTÁVIO LUIZ; Mansur, H. S. . Poly(ethylene-co-vinyl acetate) hydrolysis: implications in film formation and in bond strength at ceramic tile systems. In: European Polymer Congress 2009 - EPF2009, 2009, Graz, Austria. Proceedings of European Polymer Congress 2009, 2009. v. 1. p. 137-137.

MANSUR, A. A. P. ; DO NASCIMENTO, OTÁVIO LUIZ ; Mansur, H. S. . Interface poly(vinyl alcohol) modified mortar/organosilanes modified tiles: chemical interactions enhancing adhesion. In: European Polymer Congress 2009 - EPF2009, 2009, Graz, Austria. Proceedings of European Polymer Congress 2009, 2009. v. 1. p. 89-89

8.4 Outras Produções Bibliográficas

MANSUR, A. A. P.; NASCIMENTO, O. L.; Mansur, H. S. Physico-chemical characterization of EVA-modified mortar and porcelain tiles interfaces. Cement and Concrete Research, v. 39, p. 1-10, 2009.

8.5 Artigos aceitos para publicação

NASCIMENTO, O. L. DO; Mansur, Alexandra A. P.; Mansur, Herman Sander. Mapeamento de Patologias em Sistemas de Revestimento Cerâmico de Fachadas. Construindo, 2012.

NASCIMENTO, O. L.; Mansur, Alexandra A. P.; Mansur, Herman Sander . Cement-free product for settlement of ceramic tiles: An approach for greener construction. Materials Science Forum, 2012.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIR, M. F.; SALLAM, E. H. e BAKR, I. M. Preparation of Porcelain Tiles from Egyptian Raw Materials. **Ceramics International**, v. 28, p. 303-310, 2002.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Plástico - Determinação da dureza shore**. NBR 7456. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Elastômero vulcanizado - Determinação da resistência à tração**. NBR 7462. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento**. NBR 13753. Rio de Janeiro, 1996a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimentos de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento**. NBR 13754. Rio de Janeiro, 1996b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Placas cerâmicas para revestimento – Terminologia**. NBR 13816. Rio de Janeiro, 1997a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Placas cerâmicas para revestimento – Classificação**. NBR 13817. Rio de Janeiro, 1997b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Placas cerâmicas para revestimento – Determinação da expansão por umidade**. NBR 13818. Rio de Janeiro, 1997c.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimentos de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento**. NBR 13755. Rio de Janeiro, 1997d.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Manta asfáltica para impermeabilização** NBR 9952. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração**. NBR 13528. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 1: Requisitos**. NR 14081-1. Rio de Janeiro, 2012a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 2: Execução**

do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios. NBR 14081-2. Rio de Janeiro, 2012b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 3: Determinação do tempo em aberto.** NBR 14081-3. Rio de Janeiro, 2012c.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração.** NBR 14081-4. Rio de Janeiro, 2012d.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 5: Determinação do deslizamento.** NBR 14081-5. Rio de Janeiro, 2012e.

AFRIDI, M. U. K. et al. Strength and Elastic Properties of Powdered and Aqueous Polymer-Modified Mortars. **Cement and Concrete Research**, v. 24, p. 1199-1213, 1994.

ANDRADE, C. T.; COUTINHO, F. M. B.; DIAS, M. L.; LUCAS, E.F.; OLIVEIRA, C. M. F.; TABAK, D. **Dicionário de polímeros.** 1ª edição, Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2001.

ALMEIDA, A. E. F. DE S., SICHIERI, E. P. Study of the adherence between polymer-modified mortars and porcelain stoneware tiles. **Mat. Res.**, v. 8, p. 245-249, 2005.

ANDRADE, G., MANSUR, A. A. P., STANCIOLI, E. F. B., VASCONCELOS, W. L. e MANSUR, H. S., Design of novel hybrid organic-inorganic nanostructured biomaterials for immunoassay applications, **Biomedical Materials**, v. 1, p. 221-234, 2006.

ANFACER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO. **Publicação Panorama 2009.**

ANFACER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO. **Publicação Panorama 2010.**

ANFACER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO. **Publicação Panorama 2012.**

ATKINS, K. M., EDMONDS, R. N. e MAJUMDAR, A. J. The hydration of Portland and aluminous cements with added polymer dispersions. **Journal of Materials Science**, v. 26, p. 2372-2378, 1991.

BARTH, F., VASCONCELOS, C., BECSI, P., BUNN, J., Pré-fabricação e Sustentabilidade de Banheiro voltado para Habitação de Interesse Social, **Anais**,

Congresso internacional de Sustentabilidade e habitação do interesse social, Porto Alegre, 2010.

BAUTHEC, manual de assentamento de placa adesiva para assentamento cerâmico, 2007

BORDALO, R., DE BRITO, J., GASPAR, P. L., SILVA, A., Abordagem a um modelo de previsão da vida útil de revestimentos cerâmicos aderentes, **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.16, p.55-69, 2010.

BUREAU, L., ALLICHE, A., PILVIN, PH., PASCAL, S., Mechanical characterization of a styrene-butadiene modified mortar, **Materials Science and Engineering**, n.308, p.233–240, 2001.

BRANDÃO, A. D. I. **Adesivos de dupla face na indústria de semicondutores – o caso Qimonda**. 2008, 86 folhas. Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008.

BRASKEM. **Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)**. Brasilplast, 2011.

BRESCIANI, A.; RICCI, C. Innovative process for ceramic tile manufacture by double pressing with continuous precompaction, in: **Qualicer 2004: VIII World Congress on Ceramic Tile Quality**, Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, Castellón, p. I49–I60, 2004.

BRUTIN, D., ZHU, Z. Q., RAHLI, O., XIE, J. C. e LIU Q. S. e TADRISH L., Sessile drop I microgravity: creation contact angle and interface, **Microgravity Science technology**, p. 1-10, 2009.

BSI – INSTITUTO BRITÂNICO DE NORMATIZAÇÃO. **Wall and floor tiling – Code of practice for the design and installation of internal ceramic and natural Stone wall tiling and mosaics in normal conditions**. BS 5385. 1991

BUREAU, E. et al. Effect of hydrolysis on the properties of the copolymers of ethylene-co-vinyl acetate: DSC and permeation. **Mat. Res. Innovat.**, v. 7, p. 308-313, 2003.

BUTT, M. A., CHUGHTAI, A., AHMAD, J., AHMAD, R., MAJEED, U., KHAN, I. H., Theory of Adhesion and its Practical Implications, **Journal of Faculty of Engineering & Technology**, p.21-45, 2008.

CANDIA, M. C. e FRANCO, L. S. **Contribuição ao Estudo das Técnicas de Preparo da Base no Desempenho dos Revestimentos de Argamassas**. 1998. 13 p. Boletim Técnico - Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1998.

CANEVAROLO Jr, S.V., **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. São Paulo, Artiber Editora, 2007.

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.** Escola Politécnica. São Paulo, 1996. P. 100-126

CARASEK, H.; CASCUDO, O. E SCARTEZINI, L. M. **Importância dos Materiais na Aderência dos Revestimentos de Argamassa.** In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas IV SBTA, 2001, Brasília, Brasil. **Anais.** 2001.

CARASEK, H. **Materiais de construção civil e Princípios de ciência e engenharia de materiais.** Ed. G. C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2007. v. 2. p.1712.

CARVALHO, A. N. J. **Avaliação de aderência dos revestimentos argamassados e suas implicações nas patologias das edificações.** 2003. p. 79-93. Proposta de tese. Universidade Federal, Minas Geraes, 2003

CARVALHO JR., A. N. **Técnicas de Revestimento;** Apostila do Curso de Especialização em Construção Civil. 1.ed. Belo Horizonte: DEMC- EE. UFMG, 1999. 54p.

CBIC – Câmara Brasileira de Indústria da Construção, **Construção Sustentável.**

CETESB, **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa associadas aos Processos Industriais:** Produtos Minerais, Produção de Cimento do Estado de São Paulo, 1990 a 2008, São Paulo, 2011.

CESTARI, D. J. e PAULON. Adição do Copolímero Acetato-Versatato em Argamassas de Revestimento. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS – III SBTA, 1999, Vitória, Brasil. **Anais ...** São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica Ltda., 1999. p. 231-247.

CHEW, M. Y. L. The Study of Adhesion Failure of Wall Tiles. **Building and Environment**, v. 27, p. 493-499, 1992.

CHEW, M. Y. L., ZHOU. X., THAY Y. M. On-site weathering of sealants under tropical conditions. **Construction and building Materials.** v. 18, p. 287 – 293, 2004.

CINCOTTO, M. A. **Argamassas de Revestimento: Características, Propriedades e Métodos de Ensaio.** 1995. 118 p. Boletim Técnico – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT, São Paulo, 1995.

CNI, Confederação Nacional da Indústria, **Construção Verde: Desenvolvimento com Sustentabilidade / Confederação Nacional da Indústria.** Câmara Brasileira da Indústria da Construção. – Brasília : CNI, 2012.

COCCHETTI, G., COMI, C., PEREGO, U. Strength assessment of adhesively bonded tile claddings, **International Journal of Solids and Structures**, v. 48, p. 2048-2059, 2011.

COCHRANE, H., Adhesives and Sealants, **Industrial Minerals and Their Uses**, Noyes Publication, Westwood, 1996.

COGNARD, P., **Building e Constrution Adhesives - Part 1**. General information Rules. Adhesives e Sealants, 2003. Disponível em : www.specialchem4adhesives.com (Acesso em: janeiro 2009).

COSTA, E. B. C.; CARASEK, H. C. Técnicas de medida de aderência dos revestimentos de argamassa – Análise dos equipamentos e técnicas existentes. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG – CONPEEX, 2., 2005, Goiânia. **Anais eletrônicos do XIII Seminário de Iniciação científica** [CD-ROM], Goiânia: UFG, 2005, n.p.

COSTA-JR, E. S., STANCIOLI, E. F. B., MANSUR, A. A. P., VASCONCELOS, W. L. e MANSUR, H. S., Preparation and characterization of chitosan/poly(vinyl alcohol) chemically crosslinked blends for biomedical applications, **Carbohydrate Polymers**, V. 76. p. 472–481, 2009.

COUTINHO, M. B.; MELLO, I. L.; DE SANTA MARIA, L. C.; Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. **Polímero: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n 1, p. 1-13. Rio de Janeiro. 2003.

CSILLAG, D., **Análise das práticas de sustentabilidade em projetos de construção latino americanos**, 2007, 135 folhas, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia e construção civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CTA – Ceramic Tile Institute's. Tile manual. 510p. Los Angeles, California, 1991

DIÁZ, C. Ceramic Tiling Pathologies. In: VIII WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY – QUALICER 2004, 2004, Castellón, Espanha.

DO REGO, S. R., GOMES, K. C., LEAL, A. F., BARBOSA, N. P., TORRES, S. M., DE BARROS, S., Adhesion of ceramic plates with geopolymer, **Materials Science Forum**, v. 643, p. 139-142, 2010.

ED, C. B. Achieving 100% Adhesive Coverage, an Industry Wide Approach. In: VIII WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY – QUALICER 2004, 2004, Castellón, Espanha. **Anais ...Castellón: Logui Impresión**, 2004. p. P.GII.-99 – P.GII.-107.

FERREIRA, A. O. M., D. S., FRANÇA, E.P., SIL, L. P., ROCHA, G. G. N., SOUZA, M. G., NASCIMENTO, O. L., VIEIRA, P. L. P., ALONSO, R. Z., REIS, R. J. P. **Projeto Argamassa; Projeto de Desenvolvimento Experimental de Argamassas**. Relatório Técnico 1 ed. Belo Horizonte, 1996. 302p.

FELIXBERGER, J. K. Polymer-modified thin-bed tile adhesives. BASE SE, PCI Augsburg. Construction Chemicals Europe. 2008.

FIORITO, A. J. S. I. Cimento Portland como Adesivo Comum no Método Convencional. **A Construção - São Paulo**, v. 1966, p. 31-32, 1985.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimento: Estudos e Procedimentos de Execução**. São Paulo: Editora Pini Ltda., 1994.

FONSECA, C., FATOU, J. G. e PERENA, J. M. Study of acetoxycarboxylic acid transformation in ethylene-vinylacetate copolymers. **Die Angewandte Makromolekulare Chemie**, v. 190, p. 137-155, 1991.

GALLEGOS, H. Adhesion entre el mortero y las unidades de albanileria. In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas I SBTA, 1995, Goiânia, Brasil. **Anais**. 1999. p. 117-133.

GIL, C. et al. Study of porosity in porcelain tile bodies. In: WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY – QUALICER 2006, 2006, Castellón, Espanha. **Anais**. Castellón: Logui Impresión, 2006. p. Pos 43 – Pos 48.

GOLDSTEIN, J., NEWBERRY, D., JOY, D., LYMAN, C., ECHLIN, P., LIFSHIN, E., SAWYER, e MICHAEL, J, **Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis**, 3, ed., Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002, 695p.

GRIMM, C.T.; HOUSTON, J.T. Structural significance of brick water absorption. In: Masonry: part and present, American Society for Testing Materials, 1975. p. 272-289. (ASTM Special Technical Publication, 589)

HARPER C. A. **Handbook of plastics and elastomers**, EUA, 1975

HERRINGTON R.; HOCK K. **Flexible polyurethane foams**, 1997

HEROLD, H. Fixing of stoneware “porcelanic” tiles by means of ceramic tiles adhesives modified with resispersible polymer powder. In: World Congress on Ceramic Tile Quality – QUALICER 2000, 2000, Castellón, Espanha. **Anais**. Castellón: Logui Impresión, 2000. p. P.GII-77 – P.GII-88.

HEVIA, R. et al. Manufacture of porcelain tile with selected raw materials from the Argentine Republic. In: WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY – QUALICER 2006, 2006, Castellón, Espanha. **Anais ...** Castellón: Logui Impresión, 2006. p. Pos 125 – Pos 128.

HOUWINK R.; SALOMON G. **Adherencia y adhesivos**, v. 1 e 2. Spain, 1973.

IPC - United States Patentes. YASUYOSHI, T. Method of laying tile-like flooring members on a floor. Yokohama, Japão, 1988.

IPC - United States Patentes. LIU, D. Floor and tile system with pad. Marietta, Estados Unidos da América, 2012.

IPC - United States Patentes. EHRLICH, G. Modular tile flooring system. Wilmington, Estados Unidos da América, 1995.

ITC – INSTITUTO DE TECNOLOGIA CERAMICA. **Colocacion de pavimentos y revestimientos ceramicos**. Ministerio de Industria y Energia. Barcelona, 1994.

ITC – INSTITUTO DE TECNOLOGIA CERÂMICA. **Colocacion de pavimentos y revestimientos cerâmicos**. Ministerio de Industria y Energia. Barcelona, 1994

ISENBURG, J. E. e VANDERHOFF, J. W. Hypothesis for Reinforcement of Portland Cement Polymer Latexes. *Journal of The American Ceramic Society*, v. 57, p.242-245, 1974.

JENNI, A. et al. Quantitative Microstructure Analysis of Polymer-Modified Mortars. *Journal of Microscopy*, v. 212, p. 186-196, 2003.

JOISEL, Albert. Fissuras y grietas en morteros y hormigones: sus causas y remedios. 5.ed. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1981.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

JOHN, V. M., SATO, N. M. N., AGOPYAN, V., SJÖSTRÖM, C., **Durabilidade e Sustentabilidade: Desafios para a Construção Civil Brasileira**, II Workshop sobre Durabilidade das Construções, Dezembro, São José dos Campos, 2001.

JOHN, V.M., Trabalho **apresentado no Seminário de Construção Sustentável da FGV**. São Paulo, 21 de junho de 2005. Disponível em: http://www.ces.fgvsp.br/arquivos/Moacyr_John.pdf. Acessado em 06/07/2005.

KARDOS, J.L., HALPIN, J.C., The Halpin-Tsai Equations: A Review. *Polymer Engineering and Science*, p.16, 1976

KINLOCH, A. J. **Adhesion and adhesives: science and technology**. New York: Chapman and Hall, 1987. 441p.

LAGE, R. O. **Processamento e caracterização de polietileno reticulado por silano**. 2007, 67 folhas. Programa de pós-graduação de engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

LATICRETE INTERNATIONAL INC. **History of Latex Portland Cement Mortars - Technical Data Sheet 107**. 2003

LEJEUNNE, C. **A contribuição francesa para revestimentos externos**. *Téchne*, n° 22, 1996, p. 30-34.

LEONELLI, C. et al. Enhancing the Mechanical Properties of Porcelain Stoneware Tiles: a Microstructural Approach. **Journal of European Ceramic Society**, 21, p. 785-793, 2001.

LIESA F.; BILIRLINA L. **Adhesivos industriales**, Spain, 1990.

LIMA, J. A. R. **Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil pra as mudanças climáticas**. 151 folhas, 2010. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da universidade de São Paulo, 2010.

LOBO, F. H. R., SANTOS, A. P. L., TAVARES, S. F., Ferramentas de planejamento para levantamento de Inventário de emissão de co2: Estudo de caso, **Revista internacional de engenharia industrial**, vol. 2, n. 2, p. 26-43, 2010.

LOUREIRO, A. M. V., BORSCHIVER, S., COUTINHO, P. L. A., Tendências Tecnológicas de Adesivos e Selantes Aplicados na Construção Civil, **Journal of Technology Management e Innovation**, v.4, p. 115- 129, 2009.

MANFREDINI, T.; PELLACANI, G.C.; ROMAGNOLI, M.; PENNISI, L. **Porcelainized stoneware tile**, Am. Ceram. Soc. Bull. v.74, p.76–79, 1995.

MANFREDINI, T.; BONDIOLI, F.; BARBIERI, L.; FERRARI, A. M., Ceria-Containing Frit for Luster in Modern Ceramic Glaze, **Journal of the American Ceramic Society**, v. 93, p. 2545–2550, 2010.

MANSUR, A. A. P. **Avaliação da Expansão por Umidade em Placas Cerâmicas de Revestimento**. 2002. 131 folhas. Dissertação (Mestrado) – Depto Engenharia Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

MANSUR, A. A. P., NASCIMENTO, O. L. e MANSUR, H. S. Ten years of façade pathology investigations. In: WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY – QUALICER 2004, 2004, Castellón, Espanha. **Anais ...Castellón: LoguiImpresión**, 2004. p. Pos 129-Pos 131.

MANSUR, H. S. Cap. 7 - Técnicas de Caracterização de Materiais. In: ORÉFICE, Rodrigo; MANSUR, Herman; PEREIRA, Marivalda. (Org.). **BIOMATERIAIS: FUNDAMENTOS E APLICAÇÃO**. Rio de Janeiro, 2005, v. 1, p. 70-95.

MANSUR, A. A. P., NASCIMENTO, O. L. e MANSUR, H. S. Data collection of five years of exterior facade pathologies in Brazil. In: WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY – QUALICER 2006, 2006, Castellón, Espanha. **Anais. Castellón: LoguiImpresión**, 2006. p. PBB 107 – PBB 120.

MANSUR, A. A. P., SANTOS, D. B. e MANSUR H. S. **A microstructural approach to adherence mechanism of poly(vinyl alcohol) modified cement systems to ceramic tiles**, Cem. Conc. Res. 37(2) 2007 p.270-282.

MARANHÃO, Flávio L.; COSTA E SILVA, Ângelo J.; MEDEIROS, Jonas S.; BARROS, Mércia M. S. B. Influência do tipo de argamassa colante e do revestimento na microestrutura e na resistência de aderência. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS**, 5., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: [s. n.], 2003.

MARCO, A. R. A., GALVAO, M. S., Panorama da indústria cerâmica focado na sustentabilidade: Um estudo de caso, **Anais**, XXXI Encontro nacional de Engenharia de produção, Belo Horizonte, 2011.

MÁS, E. **Manual de Fachadas em Cerâmica**. 1997.

MAYER, G., New classes of tough composite materials—Lessons from natural rigid biological systems, **Materials Science and Engineering**, n.26, p.1261 – 1268, 2006.

MEDEIROS, J. S. e SABATTINI, F. H. **Tecnologia de Revestimentos Cerâmicos de Fachadas de Edifícios**. 1999. 28 folhas. Boletim Técnico - Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1999.

MENDES, C. L. e MANO, E. B. **Introdução a Polímeros**. 2ed. 1999.191p. Rio de Janeiro, 1999.

MICHIGAN STATE UNIVERSITY, site <http://www2.chemistry.msu.edu/faculty>, acessado em fevereiro de 2012.

NASCIMENTO FILHO, V. F. - Técnicas analíticas nucleares na pesquisa agropecuária: fluorescência de raios X e ativação neutrônica. Piracicaba, Dept^o de Física e Meteorologia - ESALQ/USP e CENA/USP, apostila, maio/1993, 93 p.

NASCIMENTO, O. L do. **Manual de sistemas construtivos – Revestimentos Cerâmicos**. p. 50-60. São Paulo, 2006.

OHAMA, Y. Polymer-based Admixtures. **Cement and Concrete Composites**, v. 20, p. 189-212, 1998.

OLIVEIRA, J. A. C. e BAUER, E. Análise Comparativa das Alterações das Propriedades dos Revestimentos com Polímeros Base Látex. In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas III SBTA, 1999, Vitória, Brasil. **Anais ...** 1999. p. 281-292.

OLIVEIRA, F., M., **Avaliação da Sustentabilidade da Construção – Estudo de caso**, 2010, 90 folhas, Dissertação Mestrado, Departamento de Engenharia Civil – Universidade de Aveiro, 2010.

ORÉFICE, R. L., PEREIRA, M. M. e MANSUR, H. S., **Biomateriais fundamentos & aplicações**, 1. Ed., Cultura Médica, 2006, 538p.

OZKAHRAMAN, H. T. e ISIK, E. C., The effect of chemical and mineralogical composition of aggregates on tensile adhesion strength of tiles, **Construction and Building Materials**, n.19, p. 251–255, 2005.

PAES, INL e GONÇALVES, S.R.O. **Dos momentos iniciais após aplicação ao desenvolvimento da aderência. In: Bauer, E. Revestimentos de Argamassa: Características e Peculiaridades.** Disponível em: <http://www.abcp.org.br/comunidades/Brasília/download/LNK-05/REVESTIMENTOS-DE-ARGAMASSA.pdf> Acesso em 26 de novembro de 2009

PAKUSCH et al. Redispersible Powders for Sealing Slurries. **Adhesives & Sealants Industry**, 2004. Disponível em: <http://www.adhesivesmag.com>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2005.

PARDASANI R.T.; PARDASANI P.; GUPTA B.; LONDHE A.V.; KOHLI INDIAN, S.; *Journal of Chemistry*, 2005, 44, 1252.

PASTERNAK, H., SCHWARLOS, A., SCHIMMACK, N. The applications of adhesives to connect steel members. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 60, p. 649 – 658, 2004.

PESSOA, C. E. R., **Relação dos consumos energéticos dos edifícios de habitação com as emissões do ciclo de produção das soluções construtivas**, Dissertação Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2009.

PETRIE, E. M. "**Handbook of Adhesives and Sealants**", cap.1, McGraw-Hill Companies, Inc., New York, 2000.

PINTO, M. E. C. B., VISCONTE, L. L. Y., NUNES, R.C.R., LUZ, R.F. **Adesivos poliméricos à base de SBR. 2. Influência de diferentes tipos de agentes promotores de adesão.** *Polímeros*. v.21 n.4 São Carlos, 2011.

PIRES, M., AZEVEDO, C.M.N., RAMOS, C. Z., CANALLI, V.M., Valores de ângulo de contato superiores a 90° são características de superfícies extremamente hidrofóbicas, **Revista Matéria**, v. 14, n. 4, pp. 1121 – 1133, 2009.

POCIUS, ALPHONSUS V. **Adhesion and Adhesives Technology: An Introduction**, Hanser Gardner Publications, USA, 2002.

PÓVOAS, Y. V. e JOHN, V. M. **Tempo em aberto da argamassa colante: influência dos aditivos HEC e PVAc.** Boletim Técnico da Escola Politécnica. São Paulo: EPUSP, 1999.

QUEIROZ, P. D., **Caracterização morfológica de interfaces e superfícies de copolímeros bloco**, 1996, 103 folhas. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, 1996.

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATERIAUX. RILEM Recommendation MR I-21: **Testing methods of mortars and renderings**, Paris, France.

REVISTA TÉCNICA, São Paulo, Editora Pini, Edição 100, ano 13 julho de 1998.

RIBAR, J.W.; DUBOVOY, V.S. **Investigation of masonry Bond and surface profile of brick**, In: H.A. HARRIS, ed. Masonry: materials, design, construction and maintenance. American Society for Testing Materials, 1988. P. 33-37. (ASTM Special Technical Publication, 992)

RILEM, 1982. Apud CINCOTTO et al. Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

ROCHA, Magda Francisca Gonçalves., **Análise e caracterização do polietileno de ultraelevado peso molecular para aplicação em prótese total de joelho**. 2006, 126 folhas. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, Curso de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, 2006.

ROSSIGNOLO, J. A. e AGNESINI, M. V. C. Propriedades das Argamassa de Cimento Portland Modificada com Látex Estireno-Butadieno para Revestimentos de Fachadas - Estudo de Caso. In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas III SBTA, 1999, Vitória, Brasil. **Anais ...** 1999. p. 267-279.

ROSELLO, M. T. Morteros de Cemento para Albanileria. ITEcc (intituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Concreto). Boletim no 337. Madrid, 1976.

RUSSO, A., VEIGA, M. R., VAZ, M. F., CARVALHO, A. P., Effect of the Conservation Treatment of Historical Ceramic Tiles on the Tensile Adhesion Strength, **International Journal of Architectural Heritage**, n.5, p.241–250, 2011.

SABBATINI, F. H. O Processo Construtivo de Edifícios de Alvenaria Estrutural Sílico Calcária. EPUSP. São Paulo, 1984. (Dissertação de Mestrado).

SABBATINI, F. H. Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente. Boletim Técnico 02/86. EPUSP. São Paulo, 1986.

SABBATINI, F. H. e MEDEIROS, J. S. **Estudo sobre a técnica executiva de revestimentos de argamassa sobre paredes de alvenaria**. V International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, Florianópolis. ANTAC. V.1, p. 594-607. 1994.

SABBATINI, F. H.; ALY, V. L. C.; **Determinação da capacidade resistente do elemento de parede de alvenaria armada de blocos de concreto, submetido a esforços de compressão**. Boletim técnico da escola politécnica da USP. Departamento técnico de engenharia de construção civil, São Paulo, 1994.

SABBATINI, F.H. Tecnologia de produção de revestimento. São Paulo, 1995. /Notas de aula da disciplina de pós-graduação PCC-816 - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1995.

SAKAI, E. e SUGITA, J. Composite Mechanism of Polymer Modified Cement. **Cement and Concrete Research**, v. 25, p. 127-135, 1995.

SANCHEZ, E. et al. Efeito da Composição das Matérias-Primas Empregadas na Fabricação de Grês Porcelanato sobre as Fases Formadas Durante a Queima e as Propriedades do Produto Final. **Cerâmica Industrial**, v. 6 (5), p. 15-22, 2001.

SÁNCHEZ, E., GARCÍA-TEN, J., SANZ, V., MORENO, A., Porcelain tile: Almost 30 years of steady scientific-technological evolution, **Ceramics International**, n.36, p.831–845, 2010.

SANCHEZ-MUNOZ, L. et al. Influência da Composição das Matérias-Primas no Processo de Gresificação de Revestimentos. **Cerâmica**, v. 48 (307), p. 137-144, 2002.

SANTOS, A. W. L., LIMA, I. V., SOUZA, I. B. F., FRANCISCO, J. D., FRANCO, P.A., OLIVEIRA, P.F., et al, Piso produzido a partir de fibras vegetais, **Revista e-xacta**, Belo Horizont, v.4, n.2 – Edição Especial Interdisciplinar, p. 59-64, 2011.

SARAIVA, A. G. ; BAUER, E. ; GONCALVES, S. R. C. **Variabilidade de aderência de revestimentos de argamassa**. Techne: Revista de Tecnologia da Construção (São Paulo), v. 6, p. 70-74, 2010.

SAVASTANO JR, H. **Zona de transição entre fibras e pasta de cimento Portland: caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas do compósito**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, 1992, 249p. (Tese de Doutorado).

SCARTEZINI, L. M. et al. Influência do Preparo da Base na Aderência e na Permeabilidade à Água dos Revestimentos de Argamassa. **Ambiente Construído**, v. 2, p. 85-92, 2002.

SCHULZE, J. Influence of Water-Cement Ratio and Cement Content on the Properties of Polymer-Modified Mortars. **Cement and Concrete Research**, v. 29, p. 909-915, 1999.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo dos edifícios**. São Paulo, 1989. 187p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SHAW D. J. **Introdução à química dos colóides e de superfícies**, p. 151-152, 1975

SIDICONET. Disponível em <http://www.sidiconet.com.br/1814/informese/dicas-uteis/retrofit/alteracao-de-fachada> Acesso em: 19 de novembro de 2009

SILVA, C. A., **Estudo do comportamento reológico dos adesivos hot melt PSA e sua relação com a composição e as propriedades adesivas**. 2008, 123 folhas. Dissertação (Mestrado) – Depto de Engenharia Química, Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SILVA, D. A., ROMAN, H. R. e GLEIZE, P. J. P. Evidências de interação química do copolímero EVA com o cimento Portland em hidratação. **Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**, v. 1, p. 54-65, 2004.

SINAPROCIM – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS DE CIMENTO. **Publicação Faturamento Nacional 2010**.

SINAT – SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÃO TÉCNICA. Disponível em <http://www.cidades.gov.br/pbqp-h> Acesso em 20 de novembro de 2009

SINFRÔNIO, F. S. M.; SOUZA, A. G.; SANTOS, J. C. O.; FERNANDES JR, V. J.; FONSECA V. M. **Estudo Cinético de Decomposição Térmica de Polietileno Tereftalato (PET) por Termogravimetria Isotérmica e Não-isotérmica**. III CONGRESSO BRASILEIRO DE ANÁLISE TÉRMICA E CALORIMETRIA, Poços de Caldas, 2006.

SKEITS, I.; MIRON, J. - "**Introduction to adhesives**", in: Handbook of adhesives, cap.1. Skeits (ed.), Van Nostrand Reinhold International Corporation Ltd., New York, 1990.

STACHERA, T. J., CASAGRANDE, E. F. J., Avaliação de emissões de CO₂ na construção civil: Um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná, **Anais**, IX Encontro nacional sobre gestão empresarial e meio ambiente, Curitiba, 2008.

STOCK, A. J. Ceramic Tile Versus Competitive Products; Winning Greater Market Share. In: VIII WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY – QUALICER 2004, 2004, Castellón, Espanha. **Anais ...Castellón: Logui Impresión**, 2004. p. .G.C.-25 – G.C.-34.

TAN, K. S.; CHAN, K. C.; WONG, B. S. e GUAN, L. W. Ultrasonic Evaluation of Cement Adhesion in Wall Tiles. **Cement & Concrete Composites**, v. 18, p. 119–124, 1996.

TEMOCHE, J. F. E. e BARROS. **A escolha do revestimento de fachada de edifícios influenciada pela ocorrência de problemas patológicos**. 2001. Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2003.

THOMAZ, E. C. S. Levantamento de Dimensões de Pontes com Vigas Pré-moldadas Protendidas e de Pontes com Tabuleiro Celular. Arquivo Pessoal de Pontes Projetadas e Executadas, 2005.

UNIVERSITY OF COLORADO, site www.orgchem.colorado.edu/Spectroscopy, acessado em março de 2012

VEKEY, R. C. e MAJUMDAR, A. J. Durability of cement pastes modified by polymer dispersions. **Materials and Structures**, v. 8, p. 315-321, 1975.

VENTURELLI, M. The **lamina revolution: an innovative, eco-friendly process**, Ceram. World Rev. v.39, p.86–88, 2000.

WALTRICK, C., E., **Elaboração e caracterização de compósitos para a Construção civil a base de resíduos de argamassa, entulho e cal residual**, 2010, 93 folhas, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

WAN, W. C. Tiling Failures – A Chronic Problem Re-Visited. In: VIII WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY – QUALICER 2004, 2004, Castellón, Espanha. **Anais**. Castellón: Logui Impresión, 2004. p. P.GII.-49 – P.GII.-56.

WANG, X., YOSHIMURA, N., MURATA, K., TANAKA, Y., TAKADA, T., Journal of Applied Physics, Vol. 84. N°6, pg. 1546-1550, (1998).

WETZEL, A., ZURBRIGGEN, R., HERWEGH, M., Spatially resolved evolution of adhesion properties of large porcelain tiles, **Cement & Concrete Composites**, n.32, p.327–338, 2010.

WINNEFELD, F., KAUFMANN, J., HACK, E., HARZER, S., WETZEL, A., ZURBRIGGEN, R., Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strength, **Construction and Building Materials**, n.30, p.426–438, 2012.

ZHANG L-X.; ZHANG A.J.; CHEN X.X.; LEI X.X.; NAN X.Y.; CHEN D.Y.; ZHANG Z.Y. **Molecules** 2002, 7, 681.

ZUIDERDUIN, W.C.J.; WESTZAAN, C.; HUÉTINK, J.; GAYMANS, R.J.; Toughening of polypropylene with calcium carbonate particles, **Polymer**, 44 (2003) 261-275.

ANEXOS

9.1 Anexo1

9.2 Anexos 2

9.3 Anexos 3

9.4 Anexos 4