

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FERNANDA NAOMI UEDA NAKAOKA

Avaliação da viabilidade técnica e econômica de argamassas colantes ACI com aditivo pronto para uso à base de látex acrílico

São Paulo - SP
2021

Fernanda Naomi Ueda Nakaoka

Avaliação da viabilidade técnica e econômica de argamassas colantes ACI com aditivo pronto para uso à base de látex acrílico

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de pós graduação *lato-sensu* em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios.

Orientador: Prof^o Msc. Alexandre Amado Britez

São Paulo - SP
2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Nakaoka, Fernanda Naomi Ueda

Avaliação da viabilidade técnica e econômica de argamassas colantes ACI com aditivo pronto para uso à base de látex acrílico / F. N. U. Nakaoka -- São Paulo, 2021.

95 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Argamassa colante 2.Revestimento 3.Látex 4.Patologia
5.Flexibilidade I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

FERNANDA NAOMI UEDA NAKAOKA

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Msc. Alexandre Amado Britez
Orientador

Prof. Dra. Mercia Maria Semensato Bottura de Barros
Presidente da Banca

Prof. Msc. Marcelo Matsusato

Prof. Msc. Maurício Bernardes

Fevereiro de 2021

Dedicatória:

À minha avó (*in memoriam*), meu exemplo de família, de viver a vida, minha saudade imensa;

Aos meus pais, meus exemplos de vida e valores, toda a minha admiração por eles;

À minha irmã, meu exemplo de coragem, determinação e perseverança.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos e apreço ao Prof^o Msc. Alexandre Amado Brites por sua orientação, pelos conhecimentos compartilhados, pelos ensinamentos e por todo o auxílio para o desenvolvimento dessa monografia e para meu crescimento profissional.

Agradeço à Prof^a Dra. Mercia Maria Semensato Bottura de Barros pelo acompanhamento, incentivo, disponibilidade para dúvidas, orientações e contribuições durante todo o período de desenvolvimento dos estudos.

Expresso meus agradecimentos ao Prof^o Msc. Marcelo Matsusato e ao Prof^o Msc. Maurício Bernardes pela disponibilidade para compor a banca e pelas considerações que enriqueceram grandemente este trabalho.

À Daiana Rosa de Souza pelo apoio e incentivo durante o desenvolvimento da monografia, pela troca de conhecimento compartilhada e pela grande amizade.

À GP&D Consultoria e Projetos por todo o suporte e informações disponibilizadas, essenciais para o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço enormemente ao Dleon Rocha e ao Hebert Pereira por suas contribuições e explicações que enriqueceram este trabalho.

Meus agradecimentos às empresas que deram subsídio para o desenvolvimento desta monografia, seja pelo fornecimento de informações quanto de materiais para a realização dos ensaios.

À Allana Mineko Okamoto e à Juliana Rodrigues Günther que, indiretamente, contribuíram durante todo o processo.

“A persistência é o caminho do êxito.”
Charles Chaplin

RESUMO

Os revestimentos cerâmicos são amplamente utilizados na construção brasileira. Concomitantemente, o uso de revestimento cerâmico tem se tornado objeto de preocupação das construtoras devido aos recorrentes casos de deslocamento cerâmico que as empresas do setor de construção civil vêm sofrendo. A capacidade de absorver deformações, traduzida pela flexibilidade, é um dos principais requisitos que a camada de fixação, constituída usualmente pela argamassa colante, deve possuir para minimizar essa manifestação patológica. Nesse sentido, diversos estudos foram realizados para aumentar a flexibilidade da argamassa colante, apontando, para tanto, a adição de látex acrílico na formulação das argamassas colantes. Uma das dificuldades dessa adição consiste em garantir, na obra, a correta dosagem do látex acrílico no preparo da argamassa. Diante disso, esse trabalho propõe o estudo da viabilidade técnica e econômica da utilização de um aditivo pronto para uso à base de látex acrílico em argamassas colantes do tipo AC I.

No programa experimental, foi realizado um comparativo entre uma argamassa colante AC I amolentada somente com água, e, também, com um aditivo pronto para uso à base de látex acrílico e duas argamassas colantes AC III comuns, sem aditivação.

Os resultados dos ensaios apontaram que a modificação da argamassa colante com o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico promoveu melhoria de mais de 300% na flexibilidade da argamassa colante AC I, a qual foi mensurada através do ensaio de deformação transversal proposto pela norma europeia EN 12004-2 (CEN, 2017b). A resistência de aderência à tração, notadamente para cura em estufa, tempo em aberto e deslizamento, cujos critérios são estabelecidos pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a), também foram beneficiados por essa modificação da argamassa colante. A argamassa colante AC I amolentada com água não apresentou resultados satisfatórios para deslizamento e deformação transversal e as argamassas colantes AC III amolentadas com água também não apresentaram resultados satisfatórios para alguns dos quatro requisitos analisados.

Verificou-se, através do estudo de viabilidade econômica, que essa proposta de argamassa colante modificada com o aditivo em questão apresentou custo inferior ao de argamassas colantes monocomponentes especiais, fornecidas em pó e com características deformáveis segundo a EN 12004-1 (CEN, 2017a).

PALAVRAS-CHAVE: Revestimento cerâmico. Deslocamento cerâmico. Flexibilidade. Argamassa colante. Argamassa adesiva. Aditivação argamassa. Assentamento cerâmico. Patologia.

ABSTRACT

Ceramic tiles are widely used in the civil construction. Concomitantly, the use of ceramic tile has become a matter of concern for construction companies due to the recurrent cases of detachment of ceramic pieces that companies from the civil constructions sector have been suffering from. The ability to absorb deformations, i.e., the flexibility, is one of the main properties that the fixation layers, usually composed of dry-set mortar, must have to minimize this pathological manifestation. In this regard, several studies have been performed to increase the dry-set mortar's flexibility, pointing to the addition of acrylic latex in the formulation of dry-set mortars. One of the difficulties of adding acrylic latex to the dry-set mortar is to guarantee the correct dosage of this acrylic latex in the adhesive mortar at the construction site. Faced with this, this monograph proposes the use of a ready-to-use acrylic latex-based additive for modification of dry-set mortars type AC I.

In the experimental program, a comparison was made between common single-component dry-set mortar type AC I, mixed with just water and with ready-to-use acrylic latex-based additive and two common dry-set mortars type AC III, without additive.

The results of the tests showed that the modification of the adhesive mortar by the ready-to-use acrylic latex-based additive promoted a significant improvement of more than 300% in the flexibility of the dry-set mortar type AC I, tested by the transverse deformation of cementitious adhesives test proposed by the European standard EN 12004-2 (CEN, 2017b). The tensile adhesion strength of the adhesive, notably for heat ageing cure, open time and sliding were also benefited by this modification of the adhesive mortar. The dry-set mortar AC I mixed with water did not showed satisfactory results for sliding and flexibility and the dry-set mortars AC III mixed with water didn't achieved satisfactory results for some of the four requirements analyzed.

It was verified by the economic feasibility study that this proposal for adhesive mortar modified with the additive in question presented a similar price as a common dry-set mortar type AC III and lower price than special single-component dry-set mortars considered deformable by EN 12004-1 (CEN, 2017a).

KEYWORDS: Ceramic tiles. Detachment of ceramic pieces. Dry-set mortar. Adhesive mortar. Laying tiles. Pathology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ranking mundial de produtores e consumidores de revestimento cerâmico de 2014 a 2018.	17
Figura 2 - Ranking dos tipos de revestimentos cerâmicos mais fabricados no Brasil (em milhões de m ²), de 2014 a 2018.....	18
Figura 3 - Causas de movimentação estrutural.....	19
Figura 4 - Camadas constituintes dos revestimentos cerâmicos aderidos	24
Figura 5 - Ancoragem mecânica da argamassa no substrato.....	31
Figura 6 - Forças atuantes no deslizamento da argamassa colante.....	32
Figura 7 - Ilustração esquemática da microestrutura da argamassa colante.....	33
Figura 8 - Distribuição da tensão de cisalhamento em uma argamassa colante rígida, com módulo de elasticidade de 1000 N/mm ²	35
Figura 9 - Distribuição da tensão de cisalhamento em uma argamassa colante flexível, com módulo de elasticidade de 100 N/mm ²	35
Figura 10 - Acabamento plano do rejunte	42
Figura 11 - Acabamento frisado do rejunte	42
Figura 12 - Metodologia para avaliação de desempenho em edificações	44
Figura 13 - Desempenho ao longo do tempo.....	45
Figura 14 - Exemplo de deslocamento do revestimento cerâmico	47
Figura 15 - Ocorrência de descolamento do revestimento cerâmico de fachada	48
Figura 16 - Período de deslocamento a partir do assentamento	49
Figura 17 - Principais aditivos modificadores de argamassa	51
Figura 18 - Modelo simplificado de modificação das argamassas com látex	54
Figura 19 - Ensaio de flexibilidade de argamassas colantes comparando água x látex	56
Figura 20 - Resistência de aderência de argamassas colantes aditivadas com látex acrílico em função do tipo de cura	56
Figura 21 - Argamassa colante e placas cerâmicas no substrato padrão	61
Figura 22 - Posicionamento da placa cerâmica sobre os cordões de argamassa	62
Figura 23 - Tipos de ruptura do ensaio de resistência de aderência à tração.	63
Figura 24 - Preparo da aparelhagem para ensaio de deslizamento.....	66
Figura 25 - Aparelhagem do ensaio de deslizamento.....	66
Figura 26 - Posição das placas cerâmicas sobre os cordões de argamassa.....	67
Figura 27 - Leituras iniciais do ensaio de deslizamento.....	67
Figura 28 - Leituras finais do ensaio de deslizamento	68
Figura 29 - Cutelo para aplicação da carga transversal	69
Figura 30 - Ilustração esquemática da aparelhagem para ensaio de flexibilidade.....	69
Figura 31 - Gráfico resistência de aderência à tração da argamassa colante ACI-B + aditivo R2.....	73
Figura 32 - Ganhos de resistência e flexibilidade em relação à argamassa de referência	73
Figura 33 - Tipos de ruptura associadas à resistência de aderência à tração.....	74
Figura 34 - Gráfico deformação transversal da argamassa colante AC I-B + R2	77
Figura 35 - Gráfico deformação transversal da argamassa colante AC I-B + R3	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Espessuras admissíveis para revestimentos de argamassa	25
Quadro 2 - Requisitos e critérios para as argamassas colantes do tipo AC I, AC II e AC III ..	37
Quadro 3 - Propriedades opcionais para as AC I, AC II e AC III	37
Quadro 4 - Requisitos e critérios para flexibilidade da argamassa colante	37
Quadro 5 - Grupos de absorção de água.....	38
Quadro 6 - Codificação dos grupos de absorção em função dos métodos de fabricação.....	39
Quadro 7 - Classes de resistência à abrasão superficial	39
Quadro 8 - Espessuras mínimas para juntas de assentamento.....	43
Quadro 9 - VUP recomendada para partes dos edifícios.....	46
Quadro 10 - Dados técnicos da argamassa colante AC I-B ensaiada.....	58
Quadro 11 - Dados técnicos da argamassa colante AC III-C ensaiada	59
Quadro 12 - Dados técnicos da argamassa colante AC III-F ensaiada.....	59
Quadro 13 - Dados técnicos da argamassa colante AC III-G ensaiada	59
Quadro 14 - Parâmetros dos aditivos à base de látex acrílico R2 e R3	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo da influência do aditivo R2 no tempo em aberto.....	71
Tabela 2 - Comparativo da influência do aditivo R2 na resistência de aderência à tração	72
Tabela 3 - Tipos de ruptura para resistência de aderência à tração da AC I-B + água.....	75
Tabela 4 - Tipos de ruptura para resistência de aderência à tração da AC I-B + R2.....	75
Tabela 5 - Comparativo da influência do aditivo R3 na resistência de aderência à tração	76
Tabela 6 - Tipos de ruptura para resistência de aderência à tração AC I-B + R3	76
Tabela 7 - Comparativo da influência do aditivo R2 no deslizamento	78
Tabela 8 - Preços pagos por construtora de São Paulo.....	81
Tabela 9 - Custo da argamassa colante AC I aditivada com aditivo à base de látex acrílico...	81
Tabela 10 - Preços de argamassas colantes com flexibilidade	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Argamassa Colante
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CEN	European Committee for Standardization
EN	Européen Normalisation
EVA	Acetatos de Vinila Copolímeros
HEC	Hidróxietil Celulose
ISO	International Organization for Standardization
MHEC	Metil-Hidróxietil Celulose
NBR	Norma Brasileira Registrada
PEI	Porcelain Enamel Institute
PVA	Acetatos de Polivinila
SBR	Estireno-Butadieno
SindusCon-SP	Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo
T _g	Temperatura de transição vítrea
TMFF	Temperatura mínima de formação de filme
VUP	Vida Útil de Projeto

LISTA DE SÍMBOLOS

f_t	Tensão de ruptura
T	Carga de ruptura
A	Área da placa cerâmica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	OBJETIVO	21
1.2	MÉTODOS DE PESQUISA.....	21
1.3	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	21
2	CARACTERIZAÇÃO DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS ADERIDOS.	23
2.1	BASE	24
2.2	CAMADA DE SUBSTRATO: REVESTIMENTO DE ARGAMASSA	25
2.3	CAMADA DE FIXAÇÃO.....	26
2.3.1	Requisitos das argamassas colantes	28
2.3.1.1	Tempo em aberto	29
2.3.1.2	Resistência de aderência à tração.....	30
2.3.1.3	Deslizamento	31
2.3.1.4	Capacidade de absorver deformações.....	34
2.3.2	Classificação das argamassas colantes	36
2.4	PLACAS CERÂMICAS.....	38
2.5	JUNTAS.....	41
2.5.1	Junta de assentamento.....	41
2.5.2	Junta de movimentação.....	43
2.5.3	Junta estrutural.....	44
2.6	DURABILIDADE E VIDA ÚTIL.....	44
2.7	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA DE DESPLACAMENTO DO REVESTIMENTO CERÂMICO	47
3	MODIFICAÇÃO DE ARGAMASSA COLANTE COM LÁTEX ACRÍLICO .	51
4	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	58
4.1	MATERIAIS.....	58
4.1.1	Argamassa colante	58
4.1.2	Aditivo à base de látex acrílico	59
4.1.3	Placas cerâmicas	60
4.2	PROCEDIMENTOS DE ENSAIO	60
4.2.1	Ensaio de resistência de aderência à tração	61
4.2.2	Ensaio de tempo em aberto	64
4.2.3	Ensaio de deslizamento.....	65

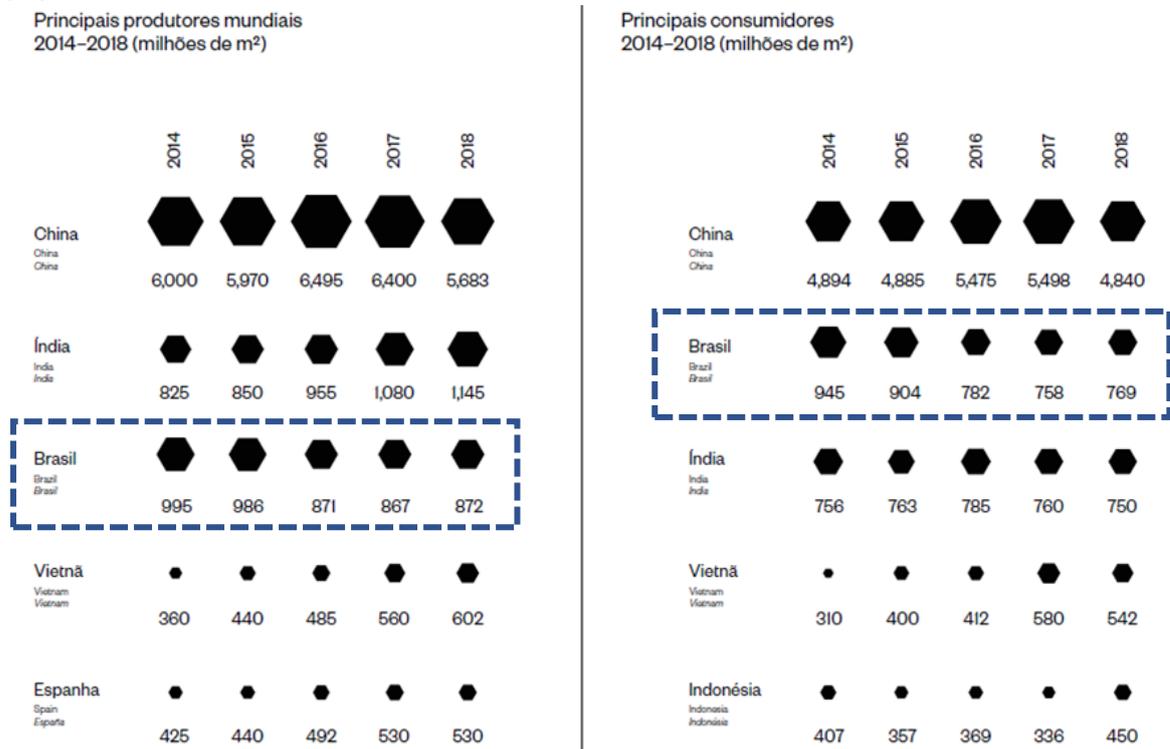
4.2.4	Ensaio de deformação transversal.....	68
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
5.1	TEMPO EM ABERTO.....	71
5.2	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRACÇÃO	72
5.3	DEFORMAÇÃO TRANSVERSAL – FLEXIBILIDADE.....	77
5.4	DESLIZAMENTO.....	78
6	ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA	80
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
	REFERÊNCIAS.....	87
	ANEXO 1.....	93

1 INTRODUÇÃO

Os revestimentos cerâmicos são amplamente utilizados em pisos e paredes na construção civil brasileira. De acordo com os dados do Panorama 2020 da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres, ANFACER, apresentados na figura 1, a produção brasileira de revestimentos cerâmicos em 2018 foi de 871,9 milhões de m², sendo o terceiro maior produtor e o segundo maior consumidor no mercado mundial, predominando, no Brasil, a fabricação de revestimentos cerâmicos para pisos e paredes, conforme explicitado na figura 2.

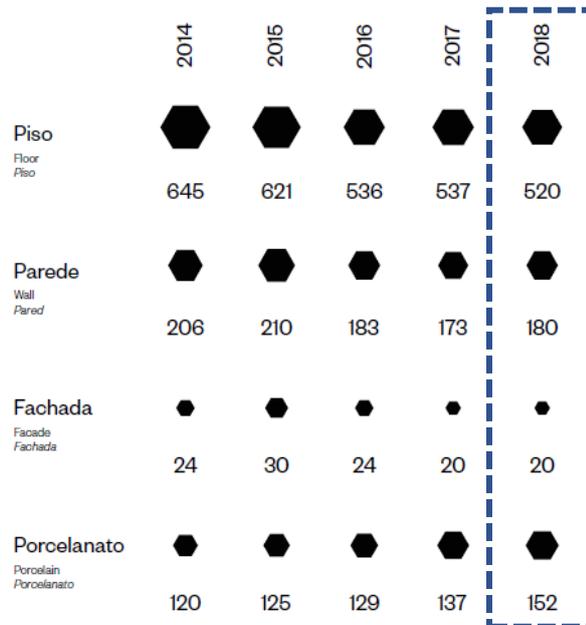
Concomitantemente à elevada produção e consumo de revestimento cerâmico no país, o número de casos de deslocamento cerâmico também sofreu um aumento considerável nos últimos anos. Conforme dados levantados pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção, CBIC, (2019), foram contabilizadas mais de 2,6 milhões de m² de cerâmicas deslocadas em mais de 17 estados do território brasileiro, afetando mais de 49 empresas. De acordo com essas informações, pode-se concluir que se trata de um problema setorial e não de empresas isoladas do mercado de construção civil.

Figura 1 - Ranking mundial de produtores e consumidores de revestimento cerâmico de 2014 a 2018.



Fonte: Adaptado de Panorama 2020 (Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres, 2020, p. 40-41).

Figura 2 - Ranking dos tipos de revestimentos cerâmicos mais fabricados no Brasil (em milhões de m²), de 2014 a 2018.



Fonte: Adaptado de Panorama 2020 (Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres, 2020, p. 30).

Segundo Gonçalves Júnior e Barros (2012), a camada de fixação, cujo material usualmente empregado na construção civil brasileira é a argamassa colante, exerce papel importante no revestimento cerâmico, visto que deve suportar as movimentações oriundas da base, de modo a garantir a aderência entre a placa cerâmica e o substrato, sendo essa a principal função das argamassas colantes para Akima, Medeiros e Sabbatini (1997).

De acordo com Akima Medeiros e Sabbatini (1997), existem, no mercado, argamassas colantes de diferentes tipos e características, de modo que a escolha da argamassa colante mais adequada deve considerar as características da base, do componente cerâmico e as condições de utilização. Dentre os critérios elencados por Goldberg (1998) para seleção do material mais adequado para aderência dos componentes cerâmicos estão resistência ao cisalhamento e à tração, resistência à água, flexibilidade, durabilidade, resistência ao fogo e às temperaturas elevadas, estabilidade química e trabalhabilidade (tempo em aberto e deslizamento).

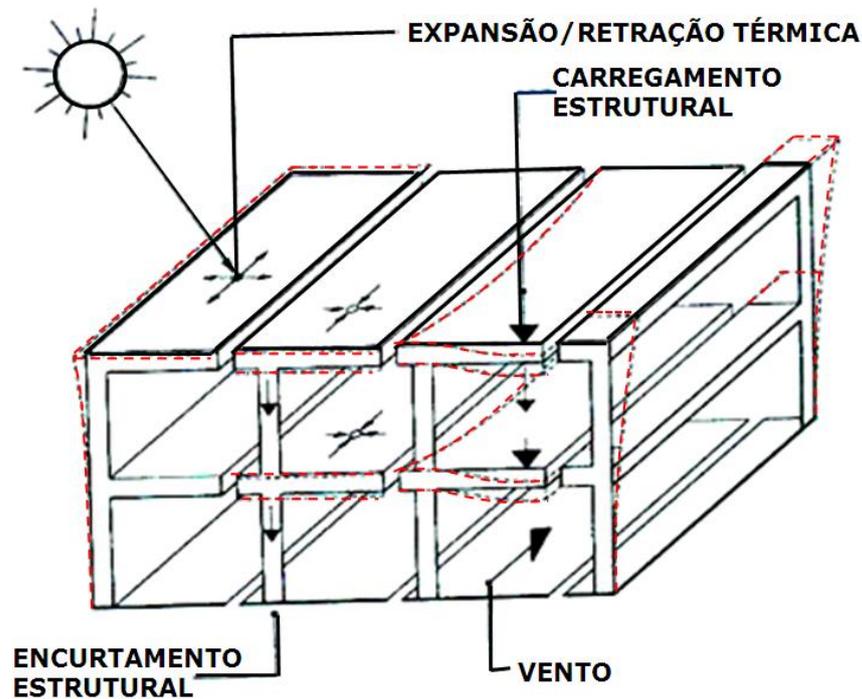
Conforme elucidam Akima, Medeiros e Sabbatini (1997), as solicitações internas que podem causar danos de forma mais severa nos revestimentos cerâmicos são as tensões de cisalhamento atuantes nas interfaces das camadas dos revestimentos cerâmicos e as tensões normais ao plano do revestimento, provenientes por diversas causas, simultâneas ou não, como, por exemplo, variação térmica, expansão ou retração por umidade, deformação lenta da

estrutura, entre outros motivos. Segundo os autores, uma forma de dissipar essas tensões consiste no emprego de argamassas colantes com propriedades flexíveis ao longo do tempo.

Para apresentarem propriedades flexíveis, de forma a suportar as movimentações diferenciais entre os componentes cerâmicos e o substrato/estrutura subjacente, Goldberg (1998) aponta que as argamassas devem possuir baixo módulo de elasticidade, ou seja, maior capacidade de absorver deformações.

Matsusato (2007) elenca uma série de métodos construtivos suscetíveis a maiores deformações que estão sendo empregados pelas construtoras e que também exigem um maior desempenho de flexibilidade das argamassas colantes para suportar essas solicitações, como lajes de grandes vãos e estruturas mais esbeltas; supressão da camada de emboço em alvenarias de blocos; utilização de peças cerâmicas de maiores dimensões e diminuição das juntas entre as peças, conforme ilustrado na figura 3.

Figura 3 - Causas de movimentação estrutural



Fonte: (MATSUSATO, 2007, p.8).

De acordo com Matsusato (2007), existem, no mercado, argamassas colantes intituladas como flexíveis, para uso em bases sujeitas à maiores deformações, sem que haja, na normalização nacional, requisitos e critérios estabelecidos para classificação das argamassas colantes quanto à flexibilidade. Não há também, na normalização brasileira vigente, definições quanto ao método para aumentar a flexibilidade das argamassas colantes. Dessa forma, essas

argamassas denominadas flexíveis são comercializadas, usualmente, por preços mais elevados quando comparadas às argamassas colantes tradicionais, sem que haja respaldo das normas brasileiras quanto à sua flexibilidade.

Para aumentar a capacidade de absorver deformações das argamassas colantes, Akiama, Medeiros e Sabbatini (1997) apontam a adição de determinados polímeros na formulação das argamassas colantes, tornando-as, assim, mais deformáveis e aumentando a sua capacidade de aderência ao substrato.

Pode-se depreender, assim, que, além da resistência de aderência à tração, a flexibilidade das argamassas colantes é um parâmetro importante que deve ser avaliado para que o revestimento cerâmico tenha a capacidade de absorver as deformações da base, contribuindo, conseqüentemente, com a aderência das placas cerâmicas no substrato.

A modificação de argamassas colantes por meio da adição de polímeros já foi objeto de estudo de vários pesquisadores, como Bucher e Nakakura (1995); Akiama, Medeiros e Sabbatini (1997); Almeida e Sichieri (2005), Matsusato (2007), Maranhão e John (2011), entre muitos outros.

Matsusato (2007) analisou o comportamento das argamassas colantes modificadas com látex acrílico. Na proposta de aditivização da argamassa de sua pesquisa, conforme tecnologia existente na época, a diluição da resina acrílica em água e a quantidade correta dessa diluição a ser adicionada na argamassa é realizada pela própria mão de obra. Esse tipo de método pode gerar resistência e dificuldade na execução da obra devido à dificuldade de garantir o correto preparo da argamassa em obra.

Visando fornecer um método prático para resolver a questão exposta de baixa flexibilidade das argamassas colantes comuns, bem como minimizar essas dificuldades no manuseio e preparo da argamassa colante modificada com látex acrílico, sem que haja prejuízo dos demais requisitos das argamassas colantes, também fundamentais para assegurar a aderência do revestimento cerâmico no substrato, neste trabalho, é proposta a utilização de um aditivo pronto para uso à base de látex acrílico, bastando substituir a quantidade de água indicada no saco da argamassa pelo aditivo.

Essa proposta de modificação da argamassa colante é pouco difundida no Brasil. Entretanto, no exterior, já são empregados alguns aditivos prontos para uso à base de látex acrílico, vendidos por fabricantes de argamassas colantes para serem misturados em suas próprias argamassas colantes quando se ambiciona promover um incremento na flexibilidade dessas argamassas, permitindo classificá-las como deformáveis ou muito deformáveis, conforme critérios estabelecidos pela EN 12004-1 (CEN, 2017a).

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste em estudar a viabilidade técnica e econômica da aditivação da argamassa colante do tipo AC I com um aditivo¹ pronto para uso à base de látex acrílico, visando oferecer uma alternativa para o assentamento de placas cerâmicas.

1.2 MÉTODOS DE PESQUISA

A fim de atingir o objetivo proposto, o trabalho foi desenvolvido em duas partes, sendo a primeira parte constituída por uma revisão bibliográfica e a segunda parte pelo programa experimental.

A primeira parte contempla a revisão de literaturas consagradas, além de artigos técnicos, publicações em revistas do setor de construção civil, relatórios e boletins técnicos, para fornecer embasamento para a análise e interpretação dos ensaios realizados no programa experimental.

O programa experimental apresenta os ensaios de resistência de aderência à tração em cura normal, cura submersa e cura em estufa, deslizamento, tempo em aberto e deformação transversal, bem como a descrição das argamassas colantes utilizadas e do aditivo pronto para uso à base de látex acrílico.

O programa experimental foi realizado com os objetivos de consistir em um estudo de viabilidade técnica da argamassa colante AC I modificada pelo aditivo pronto para uso à base de látex acrílico e de comparar os resultados dessa AC I aditivada com os resultados de duas argamassas colantes AC III monocomponentes comuns do mercado.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em sete capítulos, incluindo este primeiro capítulo introdutório e o último referente à conclusão.

Os capítulos 2 e 3 são dedicados à revisão bibliográfica da monografia. No capítulo 2, são apresentados os principais conceitos e definições concernentes ao revestimento cerâmico, com descrição das suas camadas. Neste capítulo são abordados, também, os principais requisitos das argamassas colantes industrializadas exigidos pela NBR 14081-1 (ABNT,

¹ Para os ensaios de resistência de aderência à tração em cura normal e de deformação transversal, foi ensaiado, também, um segundo aditivo pronto para uso à base de látex acrílico, a fim de se possuir mais um parâmetro para análise dos resultados do programa experimental.

2012a), bem como a capacidade das argamassas colantes de absorver deformações, requisito não considerado nessa norma, mas de grande importância para os revestimentos cerâmicos. Para este último requisito, foi utilizado como parâmetro a EN 12004-1 (CEN, 2017a).

A classificação das argamassas colantes conforme a NBR 14081-1 (ABNT, 2012a) é retratada neste mesmo capítulo 2, assim como os conceitos referentes à durabilidade e vida útil dos revestimentos cerâmicos, consoantes à NBR 15575-1 (ABNT, 2013c). Ainda no capítulo 2, é descrita a manifestação patológica de deslocamento do revestimento cerâmico.

O capítulo 3 é destinado ao estudo das argamassas colantes modificadas com polímeros acrílicos, destacando-se a influência do látex acrílico na argamassa colante industrializada.

No capítulo 4 é apresentado o programa experimental, especificando os materiais utilizados nessa parte do trabalho. Neste capítulo são detalhados, também, os métodos de ensaios realizados.

O capítulo 5 é constituído pela apresentação e discussão dos resultados dos ensaios realizados no programa experimental.

O estudo de viabilidade econômica é realizado no capítulo 6, no qual é apresentado o comparativo entre o custo de uma argamassa colante do tipo AC I comum do mercado aditivada com um aditivo pronto para uso à base de látex acrílico, o preço de uma argamassa colante do tipo AC III comum do mercado e o preço de duas argamassas colantes do tipo AC III monocomponentes, fornecidas em pó e consideradas especiais pelos fabricantes devido à capacidade de absorver deformações superior ao critério mínimo estabelecido pela EN 12004-1 (CEN, 2017a) para classificação como deformáveis.

As considerações finais do trabalho e sugestões de trabalhos futuros são explicitadas no capítulo 7 e, na sequência, são expostas as referências que embasaram esta monografia.

No anexo 1, ao final do trabalho, é apresentado um checklist para orientar construtoras na homologação de aditivos prontos para uso à base de látex acrílico para modificação de argamassas colantes do tipo AC I.

2 CARACTERIZAÇÃO DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS ADERIDOS

A conceituação de revestimentos cerâmicos aderidos para vedações verticais apresentada nesse trabalho foi embasada em algumas definições de revestimentos cerâmicos de fachada, provenientes da literatura consultada, as quais são descritas a seguir.

Os revestimentos cerâmicos de fachada são definidos por Medeiros e Sabbatini (1999), como sendo um conjunto monolítico de camadas, incluindo o emboço como substrato, aderidas à base da fachada do edifício, que pode ser em alvenaria ou estrutura, sendo a face externa constituída pelo assentamento e rejuntamento de placas cerâmicas, com argamassa ou material adesivo.

Ribeiro (2006) conceitua os revestimentos cerâmicos de fachada da seguinte forma:

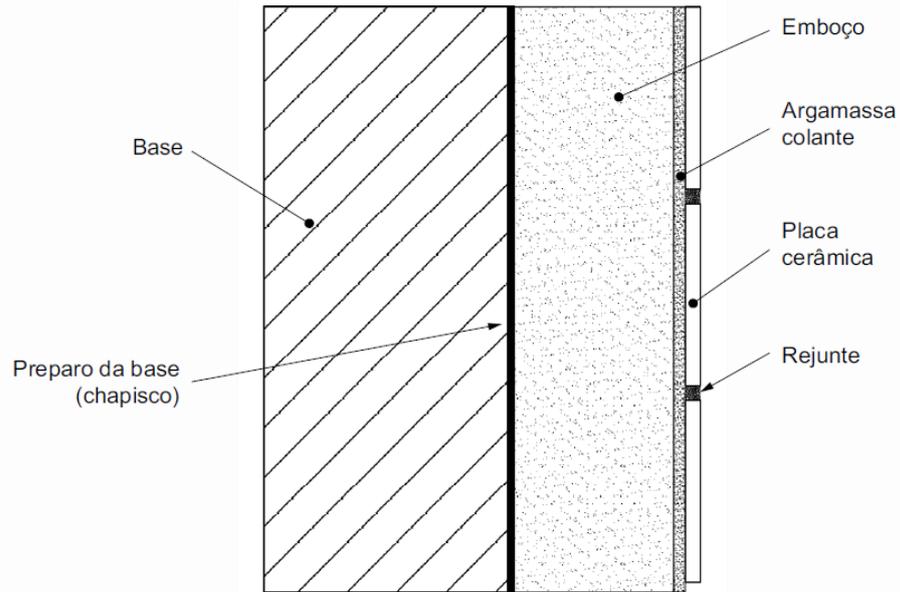
“Conjunto de camadas superpostas e intimamente ligadas de argamassa e de acabamento, constituído por placas cerâmicas e juntas de assentamento, e detalhes construtivos, unidos à base suporte da fachada do edifício. Este sistema cuja função é proteger a edificação da ação da chuva, umidade, agentes atmosféricos, desgaste mecânico oriundo da ação dos ventos e das partículas sólidas, bem como dar acabamento estético, deve ser compatível com a natureza da base, condição de exposição e desempenho, previstos em projeto” (RIBEIRO, 2006, p.14).

A NBR 13816 (ABNT, 1997a) define revestimento cerâmico como o conjunto constituído por placas cerâmicas, argamassa de assentamento e rejunte.

De acordo com Medeiros e Sabbatini (1999), o revestimento cerâmico pode ser considerado aderido quando se apresenta colado na camada de suporte sobre a qual está assentado, movimentando conjuntamente. Caso possua alguma camada intermediária entre a base e o revestimento cerâmico, como, por exemplo, camada de isolamento térmico, acústico e de impermeabilização, que impeça o assentamento do revestimento cerâmico diretamente sobre a base, necessitando de elementos de fixação especiais para tanto, esse revestimento cerâmico é considerado não aderido.

A partir das definições expostas, o revestimento cerâmico aderido pode ser definido como um conjunto constituído por camadas superpostas e intimamente ligadas de argamassa colante e de placas cerâmicas, espaçadas por juntas de assentamento, colado sobre uma base de suporte (alvenarias, estrutura, elementos de vedação vertical como chapas de gesso ou revestimentos de argamassa de paredes e pisos), conforme ilustra a figura 4.

Figura 4 - Camadas constituintes dos revestimentos cerâmicos aderidos



Fonte: Adaptado da NBR 13755 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, p. 1).

As principais funções desempenhadas pelo revestimento cerâmico são (CAMPANTE E BAÍA, 2017):

- Proteger os elementos de vedação do edifício;
- Auxiliar no desempenho das vedações, como isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água e aos gases e segurança contra o fogo;
- Regularizar a superfície dos elementos da vedação, proporcionando conforto tátil e visual;
- Constituir em acabamento para pisos e paredes, contribuindo para a aparência e estética do edifício.

2.1 BASE

Medeiros e Sabbatini (1999) definem base como sendo o suporte do revestimento cerâmico, constituída, usualmente, por estrutura de concreto armado e vedações em alvenaria de bloco cerâmico, bloco de concreto, bloco de concreto celular ou bloco sílico-calcário. Em ambientes internos, são comumente constituídas, também, por chapas de gesso para vedação em drywall.

Segundo os mesmos autores, apesar de não integrar o conjunto do revestimento cerâmico, as características e movimentações da base exercem influência considerável em seu comportamento. Para atenuar as solicitações que a base exerce sobre o revestimento cerâmico,

a camada de emboço pode ser executada sobre ela, tendo em vista que uma das propriedades do emboço no estado endurecido, apresentada por Maciel, Barros e Sabbatini (1998), é a capacidade de absorver deformações da base.

Previamente a execução do emboço, deve haver a preparação da base que consiste na execução da camada de chapisco cujas funções, segundo o Manual de Revestimento de Argamassa da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), são a uniformização da superfície quanto à absorção de água e a melhoria da aderência do emboço na base. Segundo Barros e Sabbatini (2001), a camada de chapisco é indispensável em fachadas, podendo ser suprimida em revestimentos internos desde que as solicitações referentes à aderência sejam inferiores aos valores da fachada.

2.2 CAMADA DE SUBSTRATO: REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

O revestimento de argamassa para paredes, comumente conhecido como emboço, é definido pela NBR 13529 (ABNT, 2013a) como uma camada de cobertura da superfície, constituída por uma ou mais camadas superpostas de argamassas, podendo constituir-se no acabamento.

Com relação à espessura dessa camada, o quadro 1 apresenta as espessuras indicadas pela NBR 13749 (ABNT, 2013b) para os revestimentos internos e externos. A mesma norma indica que, para posterior assentamento de revestimento cerâmico, o acabamento da superfície deve ser desempenado ou sarrafeado.

Quadro 1 - Espessuras admissíveis para revestimentos de argamassa

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

Fonte: NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. 2).

As funções do revestimento de argamassa, explicitadas por Sabbatini e Baía (2017), são de regularizar a base para recebimento de outros revestimentos, proteger a base contra agentes agressivos, contribuir com a estanqueidade da vedação e contribuir para a estética da fachada, quando constituir-se no acabamento. Ribeiro (2006) acrescenta, também, a função de dissipar as tensões provenientes de movimentações diferenciais entre a base e o revestimento cerâmico.

Por se tratar de uma camada intermediária entre a base e o revestimento cerâmico, suas funções incidem significativamente sobre o revestimento cerâmico. Dessa forma, para que essas funções possam ser desempenhadas adequadamente, Ribeiro (2006) e Medeiros (1999) destacam que as propriedades fundamentais dos revestimentos de argamassas são: resistência mecânica para suportar as diversas ações impostas pelo revestimento cerâmico que será assentado sobre sua superfície e resistência de aderência superficial, uma vez que, de acordo com Temoche-Esquivel, Ribeiro, Barros e Sabbatini (2005), os casos de deslocamento do revestimento cerâmico ocorrem, geralmente, na interface entre placa cerâmica e argamassa colante e na interface entre argamassa colante e emboço.

Segundo o estudo realizado por esses pesquisadores, o acabamento desempenado do revestimento de argamassa apresenta melhor desempenho que o acabamento sarrafeado quanto à resistência de aderência.

Ribeiro (2006) aponta, também, como uma propriedade importante do revestimento de argamassa, a capacidade de absorver deformações da base sem apresentar rupturas, perda de aderência e fissuras que permitam a percolação de água.

2.3 CAMADA DE FIXAÇÃO

De acordo com Barros e Sabbatini (2001), a camada de fixação é responsável por promover a aderência entre a placa cerâmica e o substrato, podendo este último ser o emboço ou a base nos casos em que o emboço foi suprimido.

Ribeiro (2006) considera esta camada um ponto crítico do revestimento cerâmico, uma vez que, se as tensões resultantes das solicitações exercidas sobre o conjunto do revestimento cerâmico forem superiores ao limite da resistência de aderência do revestimento cerâmico, haverá destacamento das placas cerâmicas.

Akiama, Medeiros e Sabbatini (1997) e Medeiros e Sabbatini (1999) classificam os materiais da camada de fixação de acordo com sua composição:

- Materiais de base cimentícia: materiais que possuem cimento Portland como ligante principal, podendo ser subdivididos em:
 - Argamassa adesiva² comum: trata-se da argamassa colante industrializada. É constituída pela mistura pré dosada de cimento Portland,

² Medeiros e Sabbatini (1999) esclarecem que argamassas adesivas e argamassas colantes são sinônimos. Neste trabalho, é utilizado o termo argamassa colante, por se tratar da nomenclatura comumente empregada no mercado de construção civil brasileiro para as argamassas industrializadas para assentamento de revestimento cerâmico.

agregados minerais e resinas orgânicas que adequam suas propriedades. É fornecida na forma de pó, no estado seco e, usualmente, em sacos;

- Argamassa adesiva modificada com polímero monocomponente: necessita apenas do acréscimo de água para sua utilização;
- Argamassa adesiva modificada com polímero bicomponente: é fornecida em duas partes para serem misturadas na obra, uma parte pulverulenta e outra parte na forma de dispersão aquosa (aditivos);
- Materiais à base de resina sintética de alto desempenho:
 - Pastas de resina: possui, em sua composição, agentes orgânicos, aditivos e cargas minerais e é pronta para uso em emulsão aquosa;
 - Resinas de reação: constituída, geralmente, por catalisador e polímeros sintéticos que promovem a aderência através de reação química entre seus componentes, possuindo, geralmente, características de adesividade superior a maioria dos materiais.

Os materiais predominantemente utilizados para a fixação de placas cerâmicas são as argamassas colantes industrializadas monocomponentes, pois apresentam as seguintes vantagens, apresentadas por Medeiros e Sabbatini (1999):

- Maior produtividade na execução do assentamento das placas cerâmicas;
- Manutenção das características dos materiais;
- Redução da variabilidade na execução dos serviços;
- Facilidade de controle;
- Menor consumo de material, por permitir a aplicação com espessura menor da camada em relação à argamassa dosada em obra;
- Capacidade de se adequar às necessidades do projeto;
- Melhor resistência de aderência em comparação às argamassas dosadas em obra.

A NBR 14081-1 (ABNT, 2012a) define a argamassa colante industrializada, objeto de estudo deste trabalho, como um produto industrial constituído por cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, fornecido no estado seco que, ao adicionar água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente, para utilização no assentamento de placas cerâmicas para revestimento.

Kudo (2012) atribui como função da argamassa colante a aderência de revestimentos de cerâmica, porcelanatos, granitos e mármore em substratos de pisos e paredes constituídos, geralmente, por concreto, cerâmica, contrapiso de argamassa, drywall, entre outros, devendo,

para tanto, desempenhar adequadamente os requisitos de deslizamento no estado fresco, resistência de aderência e tempo em aberto.

2.3.1 Requisitos das argamassas colantes

Anteriormente à introdução e disseminação da argamassa colante industrializada no mercado, a camada de fixação era executada com argamassa dosada em obra, sem a inclusão de aditivos, havendo rápida perda de água para o substrato por sucção e para o ambiente por evaporação. Para que a hidratação do cimento não fosse prejudicada devido à perda de água, as placas cerâmicas eram imersas em água previamente ao assentamento, a base era umedecida e a argamassa era aplicada em espessuras elevadas, de cerca de 20 mm (PÓVOAS; JOHN; CINCOTTO, 2002).

Além da possibilidade de comprometer a hidratação do cimento, Póvoas (1999) esclarece que a perda de água provoca redução da trabalhabilidade da argamassa, impossibilitando a aplicação da argamassa sem aditivos em pequenas espessuras, pois ela endurece em poucos minutos dificultando a aplicação, reduzindo, conseqüentemente, a capacidade de adesão no estado fresco e a resistência de aderência da placa cerâmica no substrato no estado endurecido.

Por esses motivos, Medeiros e Sabbatini (1999) consideram a capacidade de retenção de água um requisito fundamental que diferencia as argamassas colantes das argamassas dosadas em obra. A melhoria desse requisito promove benefícios na execução do revestimento cerâmico, uma vez que permite a eliminação da necessidade de umedecer a placa cerâmica e a base e possibilita a execução da camada de fixação com espessuras menores, de modo a reduzir o consumo de material e diminuir a retração dessa camada que, conforme Barros e Sabbatini (2001), pode gerar tensões nas placas cerâmicas.

A melhoria desse requisito pode ser promovida, segundo Medeiros e Sabbatini (1999), com o emprego de aditivos para modificar e adequar algumas propriedades das argamassas colantes. De acordo com os autores, dentre os principais aditivos utilizados nas argamassas colantes estão as resinas sintéticas orgânicas, destacando-se as resinas celulósicas como retentores de água e plastificantes e as resinas vinílicas e acrílicas modificadas para aumentar a aderência e a capacidade de absorver deformações.

Diante do exposto e consoante aos requisitos estabelecidos pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a), considera-se que, além da resistência de aderência à tração, o tempo em aberto e o deslizamento, embora sejam requisitos considerados opcionais por essa norma, são também

fundamentais para desempenho adequado das argamassas colantes, os quais serão descritos brevemente a seguir.

Akiama, Medeiros e Sabbatini (1997) orientam que a compra técnica da argamassa colante deve levar em consideração as características da base, do revestimento e as condições de utilização, de modo que, situações que exigem maior capacidade das argamassas de absorver deformações, requerem argamassas com propriedades flexíveis que atendam a vida útil projetada. Por esse motivo, considera-se a capacidade de absorver deformações um requisito de relevante importância que, embora o arcabouço normativo brasileiro não contemple, é, também, imprescindível para o desempenho adequado das argamassas colantes, sendo, assim, também descrita neste capítulo.

2.3.1.1 Tempo em aberto

A NBR 14081-1 (ABNT, 2012a, p. 1) conceitua o tempo em aberto como o “maior intervalo de tempo no qual uma placa cerâmica pode ser assentada sobre a pasta de argamassa colante”.

Póvoas, John e Cincotto (1999) definem que o tempo em aberto é o período disponível, após o espalhamento da argamassa no substrato, no qual as placas cerâmicas ainda podem ser assentadas garantindo resistência de aderência adequada, conforme critérios estabelecidos pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a), apresentados no quadro 2 do item 2.3.2 deste trabalho.

De acordo com Póvoas (1999), após o espalhamento da argamassa colante no substrato, há redução gradual da resistência de aderência, ocasionada pela perda de água da argamassa colante para a base por sucção e para o ambiente por evaporação, podendo provocar o descolamento das placas cerâmicas, caso o tempo em aberto seja excedido e as tensões atuantes ultrapassem a capacidade de aderência da argamassa colante.

Segundo Barros e Sabbatini (2001), a perda da capacidade de aderência pode ser identificada por uma película esbranquiçada que aparece na superfície dos cordões de argamassa, impedindo a interação dos cordões com as placas cerâmicas ao serem amassados.

Barros e Sabbatini (2001) indicam que o tempo em aberto não deve ser excessivamente rápido ou lento para não prejudicar o rendimento da aplicação e dificultar a execução do revestimento. Os critérios para tempo em aberto estabelecidos pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a) encontram-se no quadro 2 do item 2.3.2 deste trabalho. O método de ensaio de laboratório para determinação do tempo em aberto para argamassas colantes industrializadas é descrito na NBR 14081-3 (ABNT, 2012b).

Dentre os fatores que influenciam o tempo em aberto, Póvoas, John e Pileggi (2005), destacam a quantidade de água e polímeros em pó existentes na formulação da argamassa e as condições ambientais, como velocidade do vento, temperatura, umidade relativa do ar e radiação. Póvoas (1999) complementa que outro fator importante é a extensão da área na qual o assentador realiza o espalhamento da argamassa colante. Esses fatores podem reduzir, durante a utilização da argamassa colante na obra, o seu tempo em aberto para um valor inferior aos critérios estabelecidos pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a) para cada tipo de argamassa colante.

2.3.1.2 Resistência de aderência à tração

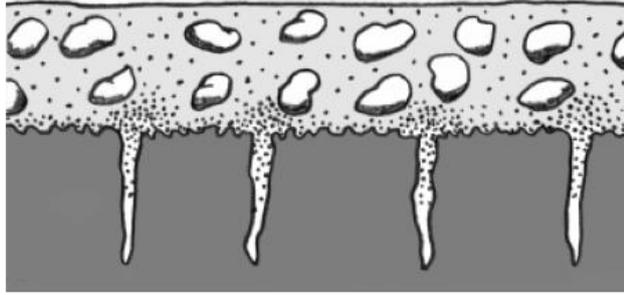
A aderência é conceituada pela NBR 13528-1 (ABNT, 2019) como uma “propriedade do revestimento de resistir às tensões atuantes na superfície ou na interface com o substrato”. De acordo com essa norma, trata-se da interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento, não consistindo em uma propriedade da argamassa.

Carasek (2017) elucida que a aderência é resultado da conjunção da resistência de aderência à tração, resistência de aderência ao cisalhamento e extensão de aderência, sendo esta última a relação entre a área na qual houve contato efetivo entre a argamassa e o substrato e a área total passível de ser unida. A resistência de aderência à tração ocorre devido aos esforços normais atuantes no conjunto do revestimento cerâmico. Enquanto a resistência ao cisalhamento é decorrente dos esforços verticais e tangenciais. (STOLZ; MASUERO; KIRCHHEIM, 2016).

A aderência da argamassa no substrato é qualificada, por Carasek, Cascudo e Scaterzini (2001), como um fenômeno essencialmente mecânico, resultante da penetração da água de amassamento da argamassa colante nos poros do substrato e da própria argamassa colante nas cavidades do substrato, quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície do substrato. No interior desses poros e cavidades, há a precipitação dos produtos da hidratação do cimento e da cal que, com o endurecimento, promovem a ancoragem da argamassa na base, conforme ilustra a figura 5.

Segundo Medeiros (1999), a adição de polímeros elastoméricos nas argamassas colantes melhora a capacidade de aderência, visto que promove, também, aderência química aos substratos. Essa aderência química ocorre, segundo Matsusato (2007), por forças eletrostáticas entre as moléculas da argamassa colante e as moléculas dos materiais aderidos.

Figura 5 - Ancoragem mecânica da argamassa no substrato



Fonte: Manual de Revestimento de Argamassa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2003, p. 8).

Por se tratar da interação entre as camadas do revestimento cerâmico, Matsusato (2007, p. 52) define a resistência de aderência como o “conjunto de forças que estabelece a união entre duas superfícies de contato”.

A resistência de aderência à tração é definida pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a, p. 1) como “a resistência à ruptura por tração, em determinada idade e condições de cura, do conjunto constituído de substrato-padrão, argamassa colante endurecida e placa cerâmica”. De acordo com a norma, substrato padrão é uma placa de concreto armado, possuindo composição, dimensões, absorção e resistência determinadas, utilizada como base ou suporte nos ensaios de argamassas colantes industrializadas.

Os valores mínimos admissíveis de resistência de aderência à tração pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a) são apresentados no quadro 2. O método para execução de substrato padrão e aplicação de argamassa colante para ensaios é descrito pela NBR 14081-2 (ABNT, 2015) e o método para determinação da resistência de aderência à tração de argamassa colante industrializada é estabelecido pela NBR 14081-4 (ABNT, 2012c).

2.3.1.3 Deslizamento

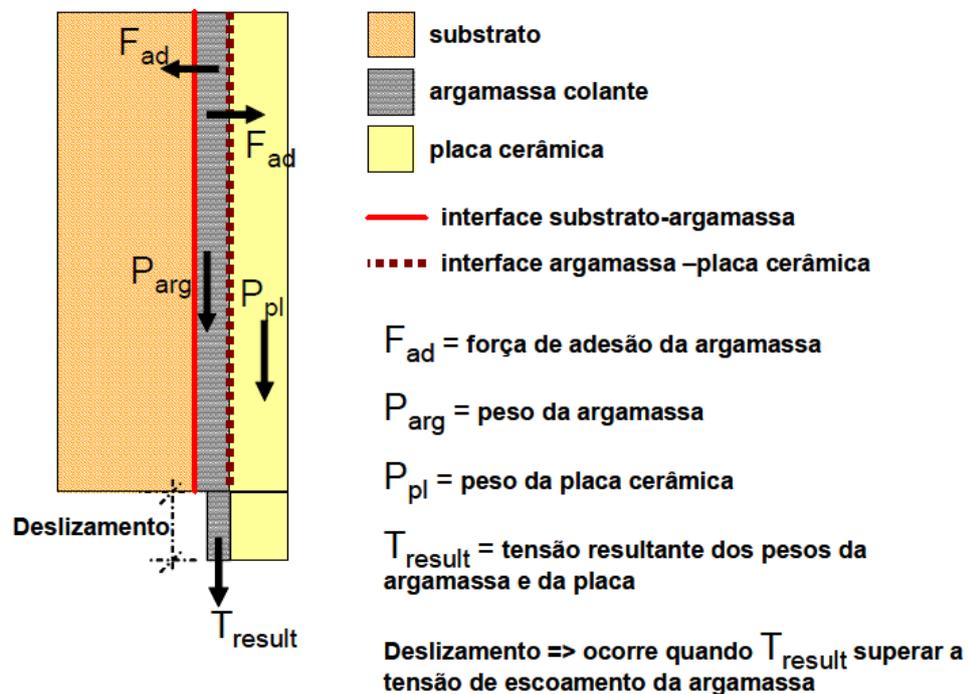
O deslizamento é definido pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a) como o deslocamento vertical que uma placa cerâmica sofre devido à ação de seu peso próprio ao ser aplicada sobre a argamassa colante no estado fresco.

O método para determinação do deslizamento de placas cerâmicas assentadas com argamassa colante industrializada em paredes é estabelecido pela NBR 14081-5 (ABNT, 2012d). Costa, Cincotto e Pileggi (2007) explicam que o deslizamento medido por essa norma ocorre devido ao escorregamento da argamassa colante.

Póvoas, John e Cincotto (1997, p. 505) definem deslizamento como sendo “o ato indesejável de escorregamento das placas cerâmicas sobre os cordões frescos de argamassa colante, quando assentadas sobre uma superfície vertical ou inclinada”.

Um dos parâmetros importantes da argamassa colante para estudo do deslizamento é a tensão de escoamento desse material, que é definida por Costa, Cincotto e Pileggi (2007, p. 7) como “a relação entre a carga absorvida pelo material no estado elástico antes de ocorrer o escoamento, ou seja, antes de entrar no estado plástico, e a área de aplicação da carga”, refletindo, portanto, a capacidade da argamassa colante de suportar seu peso próprio e o da placa cerâmica, sem que haja escorregamento da argamassa ou da placa.

Figura 6 - Forças atuantes no deslizamento da argamassa colante



Fonte: (COSTA; CINCOTTO; PILEGGI, 2007).

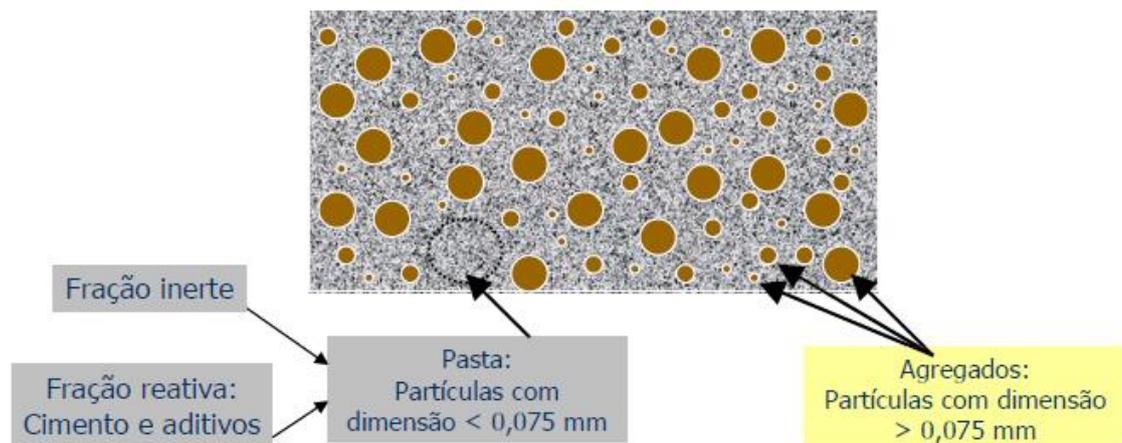
Segundo os autores, o deslizamento ocorrerá se a tensão de escoamento, ou seja, a tensão na qual a argamassa inicia seu escoamento, for inferior à tensão resultante do peso da argamassa colante e do peso próprio da placa cerâmica, conforme esquematiza a figura 6. A velocidade com que a argamassa escoará é determinada pela viscosidade da argamassa colante.

Isto posto, a tensão de escoamento deve ser suficiente para suportar as placas cerâmicas e o seu peso próprio, evitando assim, o deslizamento (BELLEI, 2016), de modo que quanto maior a tensão de escoamento e a viscosidade, menor a possibilidade de deslizamento da argamassa colante.

Conforme a definição fornecida por Costa, Cincotto e Pileggi (2007), a argamassa colante é um material multifásico constituído por agregados minerais envolvidos por uma pasta ou matriz, sendo esta pasta formada por uma fração reativa composta por cimento e aditivos e uma fração inerte de partículas com diâmetros inferiores a 0,075 mm. Já os agregados minerais correspondem à fração graúda e apresentam partículas com dimensão superior a 0,075 mm. A figura 7 ilustra a microestrutura da argamassa colante.

Segundo Costa, Cincotto e Pileggi (2007), a matriz é responsável pela coesão do sistema, lubrificação e pelo espaço disponível para a movimentação dos agregados. Caso o teor de matriz seja insuficiente, haverá interferência mútua entre os agregados, prejudicando as propriedades finais da argamassa. Ao aumentar o teor da matriz, diminui-se o contato entre os agregados e a viscosidade do material passa a ser governada pela matriz.

Figura 7 - Ilustração esquemática da microestrutura da argamassa colante



Fonte: (COSTA; CINCOTTO; PILEGGI, 2007, p.3).

Resumidamente, conforme Kudo (2012), a viscosidade indica a facilidade de um material escoar continuamente quando submetido a uma tensão de cisalhamento externo, de modo que, quanto maior a viscosidade do fluido, maior a tensão necessária para impor uma taxa de velocidade constante de escoamento.

De acordo com Costa (2006), a viscosidade adequada da argamassa colante facilita a formação dos cordões, favorecendo o contato da argamassa colante com o tardez, sem que haja escorregamento.

Costa, Cincotto e Pileggi (2007) alertam que o potencial de deslizamento da argamassa deve ser considerado na fabricação do produto, respeitando os limites máximos estabelecidos pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a), apresentados no quadro 3, pois, caso seja previsto somente durante a execução do revestimento cerâmico, pode ocasionar na necessidade de remoção da

argamassa colante e da placa recém aplicadas, acarretando prejuízos financeiros. Diante do exposto, embora seja um requisito considerado como opcional pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a), considera-se esse requisito importante para o desempenho adequado da argamassa colante.

2.3.1.4 Capacidade de absorver deformações

As movimentações atuantes nos revestimentos cerâmicos, por movimentação das placas cerâmicas ou da base/substrato, dão origem às tensões de tração nas interfaces e no interior das suas camadas e às tensões de cisalhamento nas interfaces entre as camadas. Essas tensões podem exceder a aderência e a capacidade resistente intrínseca dos materiais que compõem o revestimento cerâmico (BUCHER E NAKAKURA, 1995).

De acordo com Akiama, Medeiros e Sabbatini (1997) e Bucher e Nakakura (1995), as principais causas dessas deformações são:

- Dilatação térmica das placas cerâmicas;
- Expansão por umidade das placas cerâmicas;
- Dilatação térmica da argamassa colante;
- Retração por secagem da argamassa colante;
- Deformação termohigroscópica do substrato (emboço ou contrapiso) e sua base;
- Deformação lenta da estrutura do edifício;

Isto posto, a capacidade de absorver deformações é uma propriedade fundamental para evitar avarias no revestimento cerâmico.

De acordo com Nakakura e Cincotto (2004), a capacidade de absorver deformações da argamassa está associada ao seu módulo de deformação, e essa relação é inversamente proporcional, de modo que quanto menor o módulo de deformação, maior a capacidade de absorver deformações.

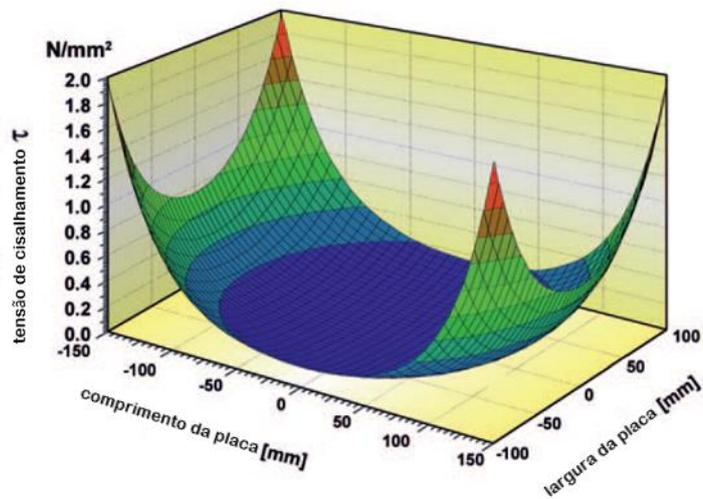
Felixberg (2006), ao analisar o módulo de deformação ao cisalhamento da argamassa cimentícia de fixação por meio de uma expressão matemática que leva em consideração a deformação da base devido à retração e expansão térmica da placa cerâmica, o módulo de deformação e dimensões da placa cerâmica e o módulo de deformação ao cisalhamento e espessura da camada de argamassa colante, verificou que, ao reduzir o módulo de deformação ao cisalhamento de 1000 N/mm² para 100 N/mm², consideravelmente menor foi a tensão de

cisalhamento transmitida ao revestimento cerâmico, uma vez que a argamassa colante atenuou essas solicitações, pois passou a ser mais flexível, conforme expõem as figuras 8 e 9.

Verifica-se, pela análise dos gráficos das figuras 8 e 9, que os picos de tensões de cisalhamento gerados entre a argamassa colante e a placa cerâmica se concentram nas bordas das placas cerâmicas e que as tensões de cisalhamento diminuem próximo ao centro da placa.

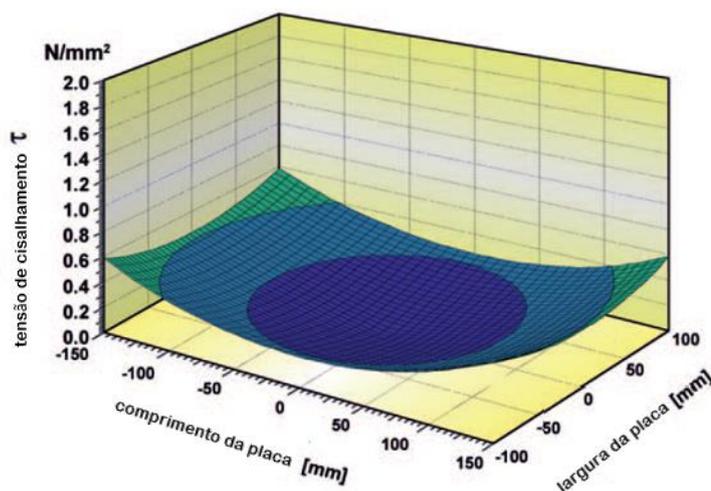
De acordo com Bucher e Nakakura (1995), a repetição cíclica dos picos de tensões, com alternância de expansão e retração ao longo da vida útil do revestimento cerâmico podem levar a desagregação da camada de fixação, até sua ruptura final.

Figura 8 - Distribuição da tensão de cisalhamento em uma argamassa colante rígida, com módulo de elasticidade de 1000 N/mm^2



Fonte: (Adaptado de FELIXBERG, 2006, p.196).

Figura 9 - Distribuição da tensão de cisalhamento em uma argamassa colante flexível, com módulo de elasticidade de 100 N/mm^2



Fonte: (FELIXBERG, 2006, p.196).

Para aumentar a capacidade de absorver deformações das argamassas colantes, Akiama, Medeiros e Sabbatini (1997) apontam a adição de determinados polímeros na formulação das argamassas colantes, tornando-as, assim, mais deformáveis e aumentando a sua capacidade de aderência ao substrato.

Bucher e Nakakura (1995), Akiama e Sabbatini (1997) e Medeiros e Sabbatini (1999) indicam a adição de polímeros elastoméricos na forma de látices (emulsão aquosa) ou pós redispersíveis.

Não existe, na normalização brasileira vigente, critérios para classificação das argamassas colantes quanto à flexibilidade, técnicas para promover aumento na flexibilidade das argamassas e métodos para determinação da flexibilidade das argamassas colantes. Por esse motivo, para análise deste parâmetro, este trabalho baseia-se nas normas europeias EN 12004-1 (CEN, 2017a) e EN 12004-2 (CEN, 2017b), nas quais os requisitos e critérios para classificação das argamassas colantes quanto à sua deformabilidade encontram-se na primeira e o método de ensaio para análise desse parâmetro, na segunda norma citada.

2.3.2 Classificação das argamassas colantes

Com base nos requisitos de tempo em aberto e resistência de aderência à tração, a NBR 14081-1 (ABNT, 2012a) fornece quatro denominações para as argamassas colantes³ e estabelece critérios para esses requisitos, exibidos nos quadros 2 e 3.

- Argamassa colante industrializada tipo I, AC I: indicada para uso em ambientes internos, com exceção de ambientes que necessitam de revestimentos especiais devido às maiores solicitações mecânicas e termohigrométricas, como saunas, churrasqueiras e estufas;
- Argamassa colante industrializada tipo II, AC II: indicada para uso em ambientes internos e externos, pois suporta ciclos de variação termohigrométricas e a ação do vento;
- Argamassa colante industrializada tipo III, AC III: por apresentar resistência de aderência superior em relação às argamassas dos tipos I e II, é indicada para ambientes onde as solicitações são mais intensas;

³ A NBR 14081 (ABNT,2012) designa as argamassas colantes industrializadas pela sigla AC. Os algarismos romanos I, II ou III e as letras E e/ou D indicam o tipo de argamassa colante.

- Argamassa colante industrializada com tempo em aberto estendido (E): argamassas colantes do tipo I, II e III com tempo em aberto estendido de dez minutos além do especificado como propriedade fundamental;
- Argamassa colante industrializada com deslizamento reduzido (D): argamassa colante industrializada dos tipos I, II e III, com deslizamento reduzido, menor ou igual a 2 mm;

Quadro 2 - Requisitos e critérios para as argamassas colantes do tipo AC I, AC II e AC III

Requisito		Método de ensaio	Unidade	Critérios		
				AC I	AC II	AC III
Tempo em aberto		ABNT NBR 14081-3	min	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Resistência de aderência à tração aos 28 dias, em função do tipo de cura	Cura normal	ABNT NBR 14081-4	MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0
	Cura submersa			≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0
	Cura em estufa				≥ 0,5	≥ 1,0

Fonte: NBR 14081-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012a, p. 3).

Quadro 3 - Propriedades opcionais para as AC I, AC II e AC III

Requisito	Método de ensaio	Critério
Tempo em aberto estendido (E)	ABNT NBR 14081-3	Argamassa do tipo I, II ou III, com tempo em aberto estendido no mínimo 10 min além do especificado como propriedade fundamental
Deslizamento reduzido (D)	ABNT NBR 14081-5	Argamassa do tipo I, II ou III, com deslizamento menor ou igual a 2 mm
As siglas “E” e “D”, relativas respectivamente às propriedades opcionais de “tempo em aberto estendido” e “deslizamento reduzido”, devem estar marcadas nas embalagens das argamassas colantes destinadas a atender a tais propriedades, conforme Seção 6.		

Fonte: NBR 14081-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012a, p. 3).

No que tange à flexibilidade das argamassas colantes, a norma europeia EN 12004-1 (CEN, 2017a) classifica as argamassas colantes conforme exhibe o quadro 4.

Quadro 4 - Requisitos e critérios para flexibilidade da argamassa colante

Requisito	Critério	Método de ensaio
Deformação transversal - Deformável	≥ 2,5 e < 5	EN 12004-2:2017
Deformação transversal - Altamente deformável	≥ 5	

Fonte: EN 12004-1 (European Committee for Standardization, 2017a, p. 10).

2.4 PLACAS CERÂMICAS

O termo cerâmica é originário do grego “*kéramos*”, o qual significa “terra queimada” ou “argila queimada”, tratando-se do material artificial mais antigo produzido pelo homem, há cerca de 10 a 15 mil anos. (ANFACER, 2020).

Em suma, a cerâmica é produzida a partir da moldagem da argila umedecida. Após secagem em secadores com temperatura em torno de 50°C a 100°C, para eliminar a água contida a fim de evitar defeitos, a peça é submetida à elevadas temperaturas em fornos que podem atingir temperaturas de cerca de 1700°C, para conferir ao material rigidez e resistência devido à fusão de alguns dos componentes da massa. Algumas peças são esmaltadas na sua superfície (ANFACER, 2020; ABCERAM, 2020).

A NBR 13816 (ABNT, 1997a) define placa cerâmica como um material geralmente empregado para revestir pisos e paredes, constituída por argila e matérias primas inorgânicas. Em sua fabricação, as placas cerâmicas são conformadas por extrusão (tipo A), prensagem (tipo B) ou outros processos (tipo C) e, em seguida, passam por secagem e são submetidas a queima à temperatura de sinterização. Podem ser esmaltadas (*glazed*, GL) ou não esmaltadas (*unglazed*, UGL), conforme a ISO 13006 (2018). As placas cerâmicas são incombustíveis e não são afetadas pela luz.

Medeiros e Sabbatini (1999) acrescentam que a placa cerâmica é o principal componente das camadas mais externas dos revestimentos cerâmicos de pisos e paredes cujas dimensões de largura e altura predominam sobre a espessura. Segundo os autores, os revestimentos cerâmicos devem apresentar baixa absorção de água para minimizar as variações dimensionais devido às variações higroscópicas que estão sujeitos.

No entanto, não consta nas normas brasileiras vigentes um limite máximo para a absorção de água das placas cerâmicas. A NBR 13817 (ABNT, 1997b) agrupa as placas cerâmicas de acordo com a capacidade de absorção de água, conforme exhibe o quadro 5.

Quadro 5 - Grupos de absorção de água

Grupos	Absorção de água (%)
Ia	$0 \leq \text{Abs} \leq 0,5$
Ib	$0,5 \leq \text{Abs} \leq 3,0$
IIa	$3,0 \leq \text{Abs} \leq 6,0$
IIb	$6,0 \leq \text{Abs} \leq 10,0$
III	Abs acima de 10,0

Fonte: NBR 13817 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997b, p. 2).

Associando os grupos de absorção de água com a denominação de acordo com o processo de fabricação das placas cerâmicas (A, B ou C), a NBR 13817 (ABNT,1997b) apresenta a codificação para as placas cerâmicas exibidas no quadro 6.

Quadro 6 - Codificação dos grupos de absorção em função dos métodos de fabricação

Absorção de água (%)	Métodos de fabricação		
	Extrudado (A)	Prensado (B)	Outros (C)
Abs ≤ 0,5	AI	Bla	CI
0,5 < Abs ≤ 3		B1b	
3 < Abs ≤ 6	AIIa	BIIa	CIIa
6 < Abs ≤ 10	AIIb	BIIb	CIIb
Abs > 10	AIII	BIII	CIII

Fonte: NBR 13817 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997b, p. 2).

A NBR 13817 (ABNT, 1997b) classifica as placas cerâmicas conforme indicam os itens a seguir.

- Resistência à abrasão superficial, conforme exibe o quadro 7;

Quadro 7 - Classes de resistência à abrasão superficial

Estágio de abrasão Nº de ciclos para visualização	Classe de abrasão
100	0
150	1
600	2
750, 1500	3
2100, 6000, 12000	4
>12000	5 ¹

¹⁾ Caso não haja desgaste visual a 12000 ciclos, bem como caso as manchas não possam ser removidas por qualquer um dos procedimentos listados no anexo G, os pisos devem ser classificados como grupo 4. A classe PEI 5 abrange simultaneamente a resistência à abrasão a 12000 ciclos e a resistência ao manchamento após a abrasão

Fonte: NBR 13818 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997c, p. 22).

- Resistência ao manchamento:
 - Classe 1: impossibilidade de remoção da mancha;
 - Classe 2: mancha removível com ácido clorídrico, hidróxido de potássio e tricloroetileno;
 - Classe 3: mancha removível com produto de limpeza forte;

- Classe 4: mancha removível com produto de limpeza fraco;
- Classe 5: máxima facilidade de remoção da mancha;
- Resistência ao ataque de agentes químicos:
 - Na codificação das placas cerâmicas, após a identificação do acabamento da placa cerâmica (G ou U), deve-se utilizar os códigos H ou L, para alta e baixa concentração dos agentes químicos, respectivamente, seguido pelos códigos A, B e C para alta, média e baixa classe de resistência química, respectivamente;
- Aspecto ou análise superficial:
 - Os produtos são considerados de primeira qualidade quando no mínimo 95% das peças examinadas não apresentam defeitos visíveis na distância padrão de observação estabelecida pelo anexo A da NBR 13818 (ABNT, 1997c).

Bauer e Rago (2000), consideram a Expansão Por Umidade (EPU), também chamada de dilatação higroscópica, uma importante característica física das placas cerâmicas, visto que uma falha no controle dessa característica durante a fabricação da placa cerâmica pode provocar o descolamento do revestimento cerâmico.

De acordo com esses autores, a EPU consiste no aumento das dimensões das placas cerâmicas na presença de umidade e tem início assim que a peça é retirada do forno e entra em contato com o ambiente, podendo ocorrer por meses ou anos, uma vez que a peça absorve a água em forma de vapor de umidade natural e da superfície onde foi assentada. Essa absorção provoca um aumento das moléculas dos minerais constituintes na matéria prima da placa, expandindo o corpo cerâmico (BAUER E RAGO, 2000).

Segundo Campante e Baía (2017), a EPU é um processo irreversível que ocorre de forma mais intensa em lugares com elevada incidência de umidade.

Conforme apresentado no Relatório Setorial nº 035/2020 do Programa Setorial da Qualidade de Placas Cerâmicas para Revestimento (CCB, 2021), a maioria das placas cerâmicas, esmaltadas ou não, apresentam EPU negligenciável, desde que assentadas corretamente. No entanto, caso o assentamento não seja realizado corretamente e dependendo das condições climáticas, a EPU acima de 0,06 % (0,06 mm/m) pode contribuir para a manifestação patológica de deslocamento de revestimentos cerâmicos.

O anexo J da NBR 13818 (ABNT, 1997) descreve o método de ensaio para a EPU, no entanto, essa norma não especifica um critério máximo para essa característica física das placas cerâmicas.

2.5 JUNTAS

A NBR 13755 (ABNT, 2017) define junta como o “espaço regular entre duas superfícies adjacentes”. A NBR 13753 (ABNT, 1996a) e a NBR 13754 (ABNT, 1996b) complementam que a junta pode ser entre materiais idênticos ou distintos.

Ribeiro (2006) esclarece que as juntas, no que concerne à sua funcionalidade, podem servir apenas como acabamento e união entre dois elementos construtivos ou podem acomodar movimentações entre os dois elementos, sendo, nesse último caso, denominada junta de movimentação.

De acordo com as suas funções, a NBR 13755 (ABNT, 2017) define três tipos de juntas:

- Junta de assentamento: entre peças cerâmicas;
- Junta de movimentação: para subdividir o revestimento em panos menores e atenuar tensões resultantes de movimentações da base e do próprio revestimento cerâmico;
- Junta estrutural: para subdividir a estrutura em partes independentes.

2.5.1 Junta de assentamento

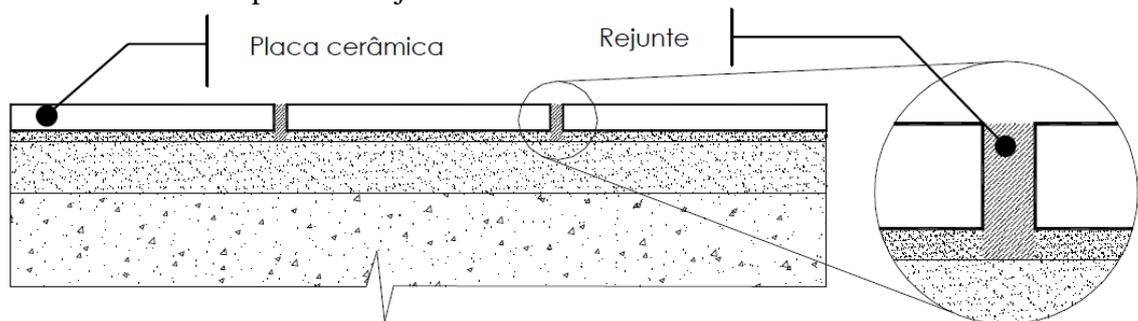
São as juntas formadas no assentamento de duas peças cerâmicas adjacentes e preenchidas por materiais de rejuntamento.

As principais funções das juntas de assentamento apontadas por Junginger (2003) e corroboradas pela NBR 13755 (ABNT, 2017), são:

- Contribuir com a estética do revestimento cerâmico;
- Estabelecer regularidade superficial através do acabamento adequado do rejunte, que pode ser frisado ou plano, conforme ilustram as figuras 10 e 11, definido de acordo com o tipo de borda da placa cerâmica. Por exemplo, placas cerâmicas esmaltadas com bordas chanfradas não podem ter rejunte com acabamento frisado, pois a borda da placa cerâmica possui o mesmo acabamento vidrado do restante da placa, prejudicando a aderência do rejunte;
- Compensar a variação dimensional das placas cerâmicas, permitindo o alinhamento das placas;
- Facilitar a remoção, quando necessário, de peças individuais;

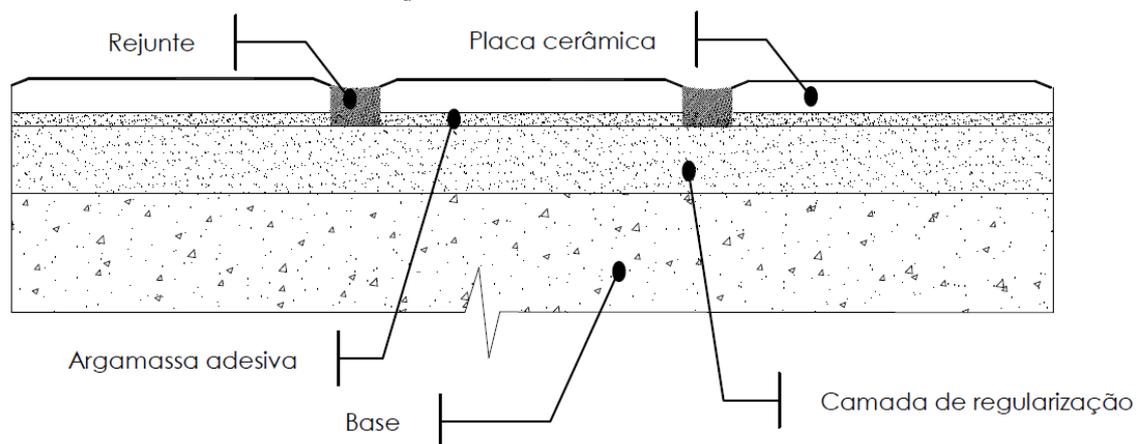
- Vedar o revestimento cerâmico para minimizar a infiltração de água e outras substâncias prejudiciais ao revestimento;
- Permitir a difusão do vapor d'água entre os ambientes para evitar a condensação, visto que as placas cerâmicas são impermeáveis ou pouco permeáveis;
- Atenuar tensões oriundas de movimentações da base e da placa cerâmica causadas, por exemplo, por variações térmicas ou higroscópicas.

Figura 10 - Acabamento plano do rejunte



Fonte: (JUNGINGER, 2003, p.37).

Figura 11 - Acabamento frisado do rejunte



Fonte: (JUNGINGER, 2003, p.39).

Segundo Junginger (2003), o preenchimento adequado das juntas de assentamento é fundamental para evitar a penetração de água e agentes deletérios no revestimento cerâmico, que podem provocar, por conseguinte, manifestações patológicas como o surgimento de manchas e, até mesmo, deslocamento cerâmico.

Para o correto preenchimento das juntas de assentamento, de modo a garantir a aderência do rejunte às placas cerâmicas, Junginger (2003) orienta que o material para rejuntamento deve

ter contato com o fundo da junta e possuir aderência lateral com as placas cerâmicas, pois, dessa forma, aumenta indiretamente a área de contato das placas no substrato.

Barros e Sabbatini (2001) esclarecem que a espessura mínima da junta de assentamento deve ser suficiente para garantir que o material de rejuntamento preencha completamente o vão da junta. De acordo com os autores, as dimensões das juntas dependem do material constituinte e dimensões das placas cerâmicas, da uniformidade dimensional e qualidade das placas, do grau de solicitações que o revestimento precisará suportar e da combinação estética do projeto.

As larguras das juntas de assentamento são estabelecidas, geralmente, pelos fabricantes das placas cerâmicas e pastilhas. A NBR 13755 (ABNT, 2017), sugere, para fachadas, a largura mínima de 5 mm para placas cerâmicas e, para pastilhas, a largura definida pelo fabricante. A NBR 13754 (ABNT, 1996b) não estabelece dimensões mínimas para a junta de assentamento. Barros e Sabbatini (2001) recomendam as dimensões mínimas apresentadas no quadro 8 para juntas de assentamento entre placas cerâmicas de boa qualidade.

Quadro 8 - Espessuras mínimas para juntas de assentamento

Área dos componentes A (cm ²)	Revestimento interno (mm)	Revestimento externo (mm)
$A \leq 250$	1,5	4,0
$250 < A \leq 400$	2,0	5,0
$400 < A \leq 600$	3,0	6,0
$600 < A \leq 900$	5,0	8,0
$A > 900$	6,0	10,0

Fonte: (BARROS E SABBATINI, 2001, p.14).

2.5.2 Junta de movimentação

A junta de movimentação é locada com a finalidade de subdividir a camada de revestimento cerâmico e a camada de revestimento de argamassa, interceptando total ou parcialmente esta segunda camada (BARROS E SABBATINI, 2001).

De acordo com Goldberg (1998) e Ribeiro (2006), a principal função da junta de movimentação é de controlar e minimizar os esforços resultantes da movimentação do próprio revestimento e da base de suporte, permitindo a movimentação dos painéis de revestimento cerâmico, prevenindo, assim, fissurações e deslocamentos.

2.5.3 Junta estrutural

A junta estrutural tem a função de dissipar as tensões oriundas da movimentação da estrutura de concreto (NBR 13755, 2017).

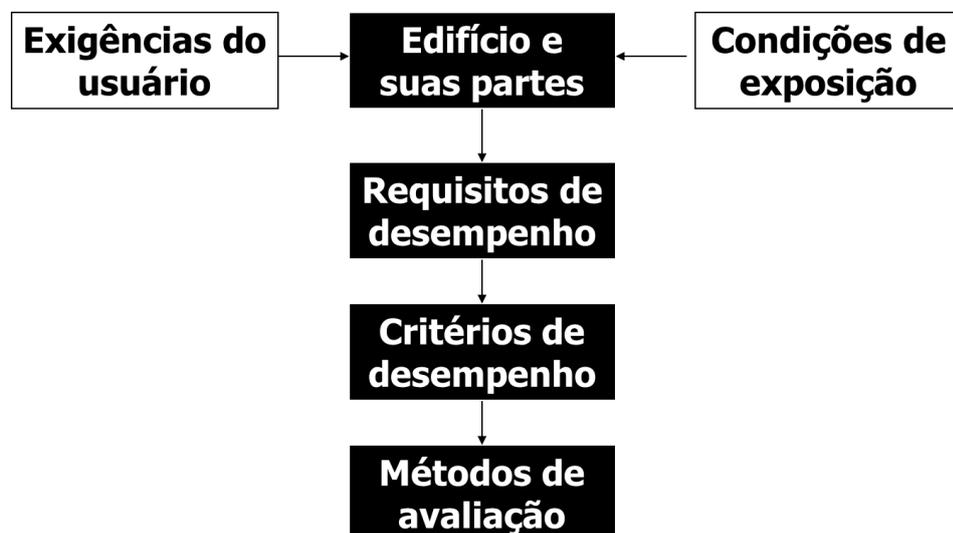
Sabbatini e Barros (2001) explicam que a junta estrutural, também denominada junta de dilatação, deve absorver as tensões oriundas das movimentações da edificação como um todo. Segundo os autores, essa junta deve ser prevista no projeto estrutural e mantida em todas as camadas até o revestimento cerâmico, garantindo a espessura e a amplitude de deformação solicitada no projeto estrutural.

2.6 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013c) conceitua desempenho como o “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”. O desempenho das edificações varia em função das condições de exposição a que o edifício está submetido e das exigências do usuário no seu uso e ocupação. (SOUZA, 2015).

Como metodologia para a aplicação do conceito de desempenho requerido para as edificações e seus sistemas, esquematizado na figura 12, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013c) definiu condições qualitativas e quantitativas, expressas pelos requisitos e critérios, respectivamente (SOUZA, 2015).

Figura 12 - Metodologia para avaliação de desempenho em edificações



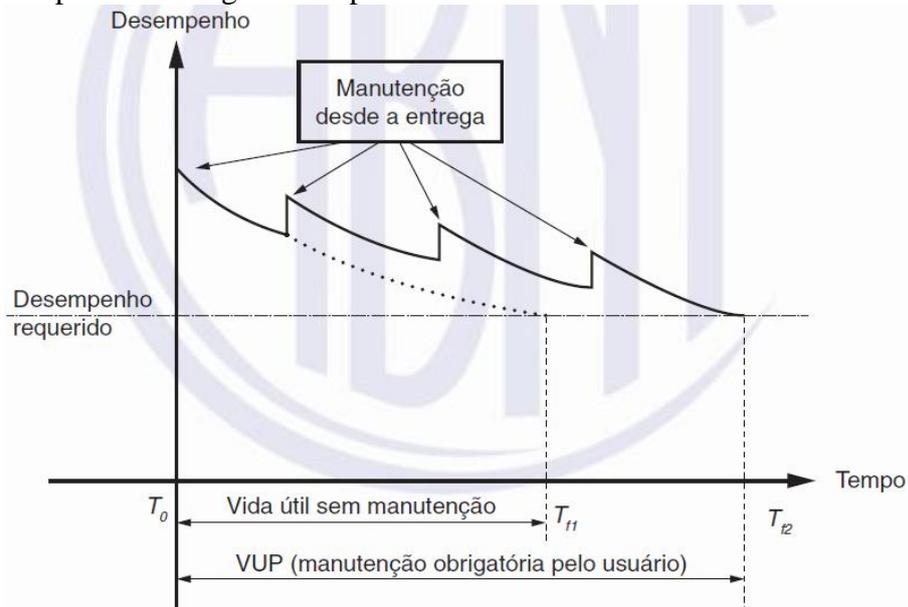
Fonte: (Adaptado de SOUZA, 2015, p.19).

Os requisitos traduzem as exigências dos usuários dentro das condições de exposição do ambiente e da realidade em que a edificação está inserida, ao passo que os critérios mensuram e determinam, objetivamente, os requisitos estabelecidos. Para avaliar se os requisitos estão sendo atendidos dentro dos critérios especificados pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013c), são empregados métodos de avaliação (BORGES, 2008).

A durabilidade consiste na capacidade da edificação de manter seu desempenho ao longo do tempo sob condições normais de uso e manutenção especificadas no manual de uso, operação e manutenção (NBR 15575-1, 2013c).

A vida útil é uma medida de tempo da durabilidade da edificação e seus sistemas e corresponde ao período no qual o edifício e/ou seus sistemas cumprem as funções que lhe foram pré-estabelecidas quando foram projetados e construídos, considerando a correta execução dos serviços de manutenção pré-definidos no manual de uso, operação e manutenção (BORGES, 2008), conforme ilustra a figura 13.

Figura 13 - Desempenho ao longo do tempo



Fonte: (NBR 15575-1, 2013c, p.50).

A vida útil de projeto (VUP), estimada pelo incorporador e/ou proprietário e pelos projetistas de cada disciplina, é uma estimativa teórica do tempo que compõe a vida útil. O atendimento à VUP prevista depende da periodicidade e da correta realização da manutenção, dos cuidados no uso e operação da edificação e das condições de exposição como, por exemplo,

alterações no clima ou no entorno da obra. Quando não houver indicação da VUP nos projetos, assume-se que será atendida a VUP mínima indicada pela NBR 15575-1 (CBIC, 2013).

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013c) recomenda VUP mínima de 13 anos para revestimentos cerâmicos internos aderidos e de 20 anos para revestimentos cerâmicos externos aderidos, conforme apresenta o quadro 9.

Quadro 9 - VUP recomendada para partes dos edifícios.

Parte da edificação	Exemplos	VUP (anos)		
		mínimo	intermediário	superior
Estrutura principal	Fundações, elementos estruturais (pilares, vigas, lajes e outros), paredes estruturais, estruturas periféricas, contenções e arrimos	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Estruturas auxiliares	Muros divisórios, estrutura de escadas externas	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Vedação externa	Paredes de vedação externas, painéis de fachada, fachadas-cortina	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Vedação interna	Paredes e divisórias leves internas, escadas internas, guarda-corpos	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Cobertura	Estrutura da cobertura e coletores de águas pluviais embutidos	≥ 20	≥ 25	≥ 30
	Telhamento	≥ 13	≥ 17	≥ 20
	Calhas de beiral e coletores de águas pluviais aparentes, subcoberturas facilmente substituíveis	≥ 4	≥ 5	≥ 6
	Rufos, calhas internas e demais complementos (de ventilação, iluminação, vedação)	≥ 8	≥ 10	≥ 12
Revestimento interno aderido	Revestimento de piso, parede e teto: de argamassa, de gesso, cerâmicos, pétreos, de tacos e assoalhos e sintéticos	≥ 13	≥ 17	≥ 20
Revestimento interno não aderido	Revestimentos de pisos: têxteis, laminados ou elevados; lambris; forros falsos	≥ 8	≥ 10	≥ 12
Revestimento de fachada aderido e não aderido	Revestimento, molduras, componentes decorativos e cobre-muros	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Piso externo	Pétreo, cimentados de concreto e cerâmico	≥ 13	≥ 17	≥ 20
Pintura	Pinturas internas e papel de parede	≥ 3	≥ 4	≥ 5
	Pinturas de fachada, pinturas e revestimentos sintéticos texturizados	≥ 8	≥ 10	≥ 12

Fonte: (NBR 15575-1, 2013c, p.55).

2.7 MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA DE DESPLACAMENTO DO REVESTIMENTO CERÂMICO

Barros e Sabbatini (2001) definem problemas patológicos como situações nas quais o edifício ou parte dele deixa de apresentar o desempenho previsto em determinado momento da sua vida útil. De acordo com os autores, as manifestações patológicas ocorrem por modificações estruturais e/ou funcionais na parte afetada do edifício, sendo um sinal de aviso de falhas, permitindo a identificação do problema.

Dentre as principais manifestações patológicas que afetam o revestimento cerâmico, Andrade, Resende e Maranhão (2017) destacam o deslocamento do revestimento cerâmico, devido à elevada frequência e gravidade deste problema, visto que podem causar acidentes. A figura 14 exemplifica um caso dessa manifestação patológica.

Figura 14 - Exemplo de deslocamento do revestimento cerâmico



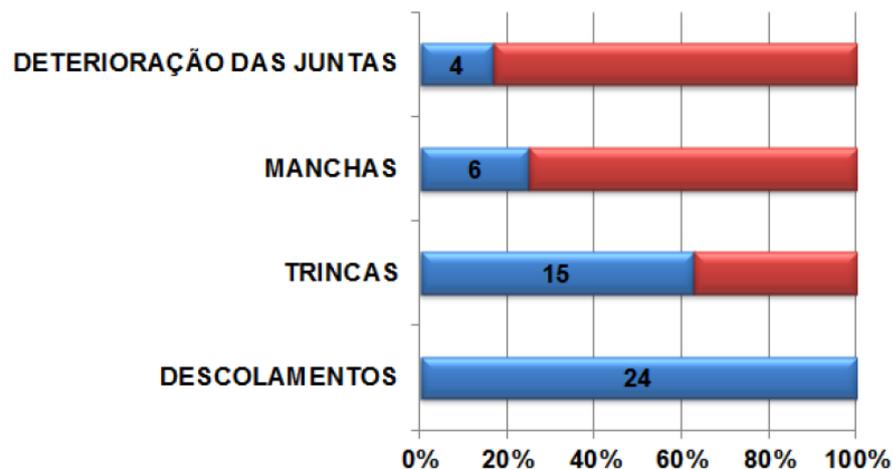
Fonte: (TÉCHNE, 2016 apud BRITTEZ, 2018, p. 227)⁴.

⁴ TÉCHNE. Deslocamento cerâmico. *Téchne*, São Paulo, n. 234, setembro 2016. Apud BRITTEZ, A. A. **Desempenho na Prática**. 2019. Apresentação de aula – Associação Empresarial de Joinville (ACIJ). Joinville, 2018.

O deslocamento do revestimento cerâmico ocorre quando há perda de aderência entre o substrato e a argamassa colante ou entre a argamassa colante e a placa cerâmica (MARTIN, 2013). De acordo com Barros e Sabbatini (2001), essa perda de aderência é gerada por tensões superiores à capacidade de aderência das ligações.

Em estudo realizado por Oliveira, Sahade, Varella e Teixeira (2017), no qual foram avaliados 24 edifícios da cidade de São Paulo com idades variando de 3 a 47 anos, todos os 24 edifícios apresentaram descolamento de revestimento cerâmico da fachada, conforme explicita a figura 15.

Figura 15 - Ocorrência de descolamento do revestimento cerâmico de fachada



Fonte: (Oliveira, Sahade, Varella e Teixeira, 2017, p.4).

Medeiros e Sabbatini (1999) salientam que, em muitos casos, quando as manifestações patológicas nos revestimentos cerâmicos ocorrem, a sua integridade já está comprometida, sendo a recuperação difícil e onerosa, em algumas situações com custos superiores ao da execução original.

De acordo com estudos do SindusCon-SP (2016), a construção civil teve gastos milionários devido ao deslocamento cerâmico em cerca de 81,4% dos casos, esse problema foi manifestado até o segundo ano após o assentamento, conforme corroborado pela figura 16 da revista *Téchne*, apresentada por Silva (2018)⁵. Além de trazer prejuízos financeiros, essa situação desagradável pode prejudicar a imagem e a credibilidade da construtora.

⁵ TÉCHNE. Deslocamento cerâmico. *Téchne*, São Paulo, n. 234, setembro 2016. Apud SILVA, P. S. **Patologia: Descolamento Cerâmico**. 2018. Apresentação de aula – Associação das Construtoras do Vale do Paraíba (ACONVAP), São José dos Campos, 2018.

Figura 16 - Período de deslocamento a partir do assentamento



Fonte: (Téchne apud Silva, 2018, p.7).

As principais causas possíveis, apresentadas por Barros e Sabbatini (2001) e Campante e Baía (2017), para o deslocamento do revestimento cerâmico são:

- Instabilidade da camada de suporte, ocorrida quando o revestimento cerâmico é assentado com a camada de suporte recentemente executada, sem que tenha havido a acomodação completa do conjunto da construção, devido, sobretudo, aos prazos apertados e ritmo acelerado das obras;
- Fluência da estrutura de concreto armado, variações higrotérmicas e de temperatura;
- Grau de solitação dos revestimentos, devido à ausência de detalhes construtivos (contravergas e juntas de dessolidarização) e dimensionamento inadequado das juntas de assentamento e de movimentação;
- Erros e negligências durante a execução do revestimento cerâmico, como, por exemplo, utilização da argamassa colante após seu vencimento, assentamento das placas cerâmicas após ter excedido do tempo em aberto e assentamento sobre substrato pulverulento ou com resíduos.

Todas essas causas geram tensões no revestimento cerâmico, exigindo que as argamassas colantes apresentem maior capacidade de absorver deformações.

Medeiros, Mello e Asamura (2017), motivados pelos recorrentes casos de deslocamento cerâmico, estudaram a influência do encurtamento da base ou da deformação vertical (sob compressão) de uma alvenaria de blocos de concreto, sem emboço, revestida com placas cerâmicas de dimensões de 30cm x 46cm, assentadas com argamassa colante tipo AC II com

técnica de dupla camada, ou seja, com aplicação de argamassa colante no tardo da placa cerâmica e na base de assentamento.

Os pesquisadores verificaram que praticamente toda a deformação ocorrida na alvenaria, proveniente da carga aplicada, foi transmitida para a argamassa colante, que não foi capaz de absorver as deformações oriundas da base, transmitindo as tensões também para as placas cerâmicas. Foram verificadas deformações equivalentes nas faces dos blocos de concreto e nas faces das placas cerâmicas.

De acordo com Campante e Baía (2017), as placas cerâmicas podem apresentar variação dimensional ao sofrer dilatação e retração térmica em locais com temperaturas mais elevadas e expansão de seu tamanho devido à umidade (EPU). Essa variação dimensional das placas cerâmicas pode gerar tensões que são transmitidas para as argamassas colantes, intensificando as solicitações que as argamassas colantes precisam suportar.

Diante do exposto, deve ser realizada uma escolha criteriosa da argamassa colante de forma que o revestimento cerâmico seja compatível com as tensões exercidas sobre ele.

Para Akiama, Medeiros e Sabbatini (1997), um dos principais critérios técnicos a ser considerado para que o revestimento cerâmico seja compatível com as solicitações que lhe são impostas consiste na utilização de argamassas colantes com adequada capacidade de movimentação.

Uma forma de tornar a argamassa mais deformável, segundo Bucher e Nakakura (1995), é através da adição de polímeros elastoméricos na forma de látices ou pós redispersíveis. De acordo com Akiama, Medeiros e Sabbatini (1997), a adição de polímeros aumenta tanto a capacidade de deformação das argamassas quanto a capacidade de aderência. Ainda conforme esses pesquisadores, quando na forma de látex, o polímero pode ser misturado na argamassa na obra, na ocasião do uso da argamassa.

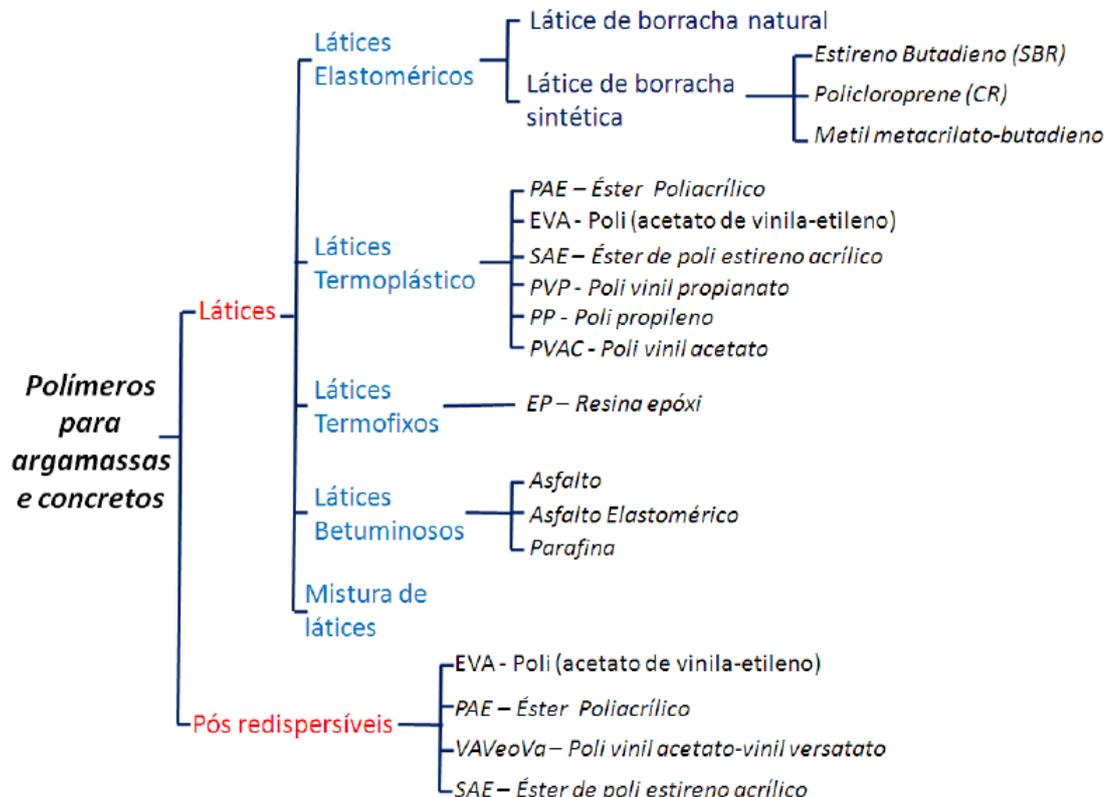
3 MODIFICAÇÃO DE ARGAMASSA COLANTE COM LÁTEX ACRÍLICO

De acordo com Almeida e Sichieri (2005), as argamassas colantes aditivadas com polímeros vêm sendo objeto de estudo de diversos pesquisadores em virtude da melhoria que essa modificação por polímeros pode promover nas propriedades das argamassas colantes.

Maranhão e John (2011) destacam os pesquisadores Afridi, Ohama, Demura, Iqbal e MZal (1994); Bucher e Nakakura (1995); Akiama, Medeiros e Sabbatini (1997); Harold (1998); Bucher e Nakakura (1999); Bauer e Rago (2002); Fritze (2002); Silva (2003); Pascal et. Al. (2004), constatando que quanto maior a relação entre polímero e cimento, maior será a redução da rigidez e mais flexível será a argamassa colante.

Ohama (1998 apud MATSUSATO, 2007, p.44)⁶ classifica os polímeros modificadores da argamassa em látex ou dispersão polimérica, polímeros em pós redispersíveis, polímeros solúveis em água (monômero) e resinas de reação, conforme esquematiza a figura 17.

Figura 17 - Principais aditivos modificadores de argamassa



Fonte: (OHAMA, 1998, apud MATSUSATO, 2007, p.44)⁶.

⁶ OHAMA, Y. **Polymer-based Admixtures**. Cement and Concrete Composites. Ed. 20. pp 189-212. Great Britain. 1998. Apud MATSUSATO, M. **Estudo do comportamento de argamassas colantes com aditivação de látex acrílico**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. 106p.

Segundo Akizama, Medeiros e Sabbatini (1997), os principais aditivos utilizados na modificação de argamassas colantes são as resinas sintéticas e orgânicas, ressaltando-se o emprego das resinas celulósicas como retentores de água e plastificantes e as resinas vinílicas, acrílicas e estirenos para melhoria da aderência e da capacidade de absorver deformações.

Medeiros e Sabbatini (1999) expõem que, usualmente, nas argamassas colantes convencionais é adicionado, em suas formulações, somente um tipo de aditivo para aumentar a capacidade de retenção de água da argamassa, adequando, assim, o seu tempo em aberto. Esse aditivo consiste nos éteres de celulose modificados, salientando-se, dentre os mais empregados nas argamassas colantes, o hidróxiethyl celulose (HEC) e metil-hidróxiethyl celulose (MHEC).

Nas argamassas colantes monocomponentes modificadas com polímeros, de acordo com Roy (1977 apud MEDEIROS E SABBATINI, 1999, p. 8)⁷, são adicionadas, também, resinas vinílicas na forma de pós redispersíveis em água para melhorar a capacidade de retenção de água, aderência ao substrato de assentamento e flexibilidade da argamassa colante, destacando-se para essa finalidade, segundo Goldberg (1998), os acetatos de polivinila (PVA) e os acetatos de vinila copoliméricos (EVA).

Nas argamassas colantes bicomponentes, na qual ocorre a mistura de argamassa de cimento com dispersão polimérica, segundo Matsusato (2007), os polímeros mais empregados são os látices acrílicos, emulsões poliméricas de estireno-butadieno (SBR) e estirenos acrílicos, evidenciando-se este último, pois promove o aumento da hidrofobicidade da argamassa, melhorando, conseqüentemente, a resistência à umidade e à alcalinidade.

As argamassas colantes à base de cimento modificadas com polímeros líquidos, do ponto de vista de Goldberg (1998), são as mais adequadas para o assentamento de revestimentos cerâmicos, visto que a formulação adequada de argamassas colantes com dispersões acrílicas e com látex estirenos-butadienos (SBR) podem gerar melhor incremento na aderência e na flexibilidade.

⁷ ROY, S. K. Areas for research and development in ceramic tiles and methods for their installation. **Adhesives technology in the architectural application of ceramic tiles**. Proceedings. Trade Link Media Pte Ltd /University of Singapore. Singapore. 1992. Apud MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/246. São Paulo, 1999. 28 p.

O látex é definido, por Walters (1987 apud Almeida e Schieri, 2005, p.397)⁸, como um fluido leitoso, geralmente branco, constituído por partículas esféricas de polímeros dispersas em meio aquoso.

De acordo com Ohama (1998 apud Matsusato, 2007, p.43)⁹, os látices são dispersões poliméricas constituídas por partículas pequenas de diâmetro de 0,05 a 5 µm dispersas em água. São classificados em função das cargas elétricas das partículas em: catiônicos (cargas positivas), aniônicos (cargas negativas) e não-iônicos (sem carga). Ainda segundo o pesquisador, o teor de sólidos incluindo polímeros, emulsificadores e estabilizadores é de cerca de 40% a 50% em massa.

Kardon (1997 apud Silva, 2001, p. 9)¹⁰ aponta que as principais características e propriedades físicas que influenciam o comportamento dos látices poliméricos quando utilizados em materiais à base de cimento são: tipo e quantidade de ligações cruzadas entre cadeias poliméricas, permitindo a classificação do polímero em elastomérico, termoplástico ou termofixo; temperatura de transição vítrea (Tg)¹¹ e temperatura mínima de formação de filme (TMFF). Godoy e Barros (1999) destacam que uma característica importante do látex que deve ser considerada é a temperatura mínima de formação de filme (TMFF).

A temperatura mínima de formação de filme, TMFF, é definida por Silva (2001) como a temperatura mínima em que as partículas poliméricas do látex possuem mobilidade e flexibilidade suficientes para coalescerem, formando um filme contínuo.

De acordo com a pesquisadora, as condições de exposição do material são um parâmetro fundamental para a TMFF. Caso a temperatura do ambiente na qual o polímero foi aplicado for inferior a TMFF, as partículas poliméricas não terão mobilidade suficiente para coalescerem,

⁸ WALTERS, D. G. **What are latexes?** Concrete International: Design & Construction. Vol 9, no12, dez, pp. 44-47, 1987. Apud

ALMEIDA, A. E. F. S.; SICHIERI, E. P. **Estudo da influência da cura na aderência entre argamassas com adições poliméricas e placas de porcelanato.** VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. 2005. 11p.

⁹ OHAMA, Y. **Polymer-based Admixtures.** Cement and Concrete Composites. Ed. 20. pp 189-212. Great Britain. 1998. Apud

MATSUSATO, M. **Estudo do comportamento de argamassas colantes com aditivação de látex acrílico.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. 106p.

¹⁰ KARDON, J.B. **Polymer-modified concrete: review.** Journal of Materials in Engineering. vol.9, no2, 1997, p.85-928. Apud

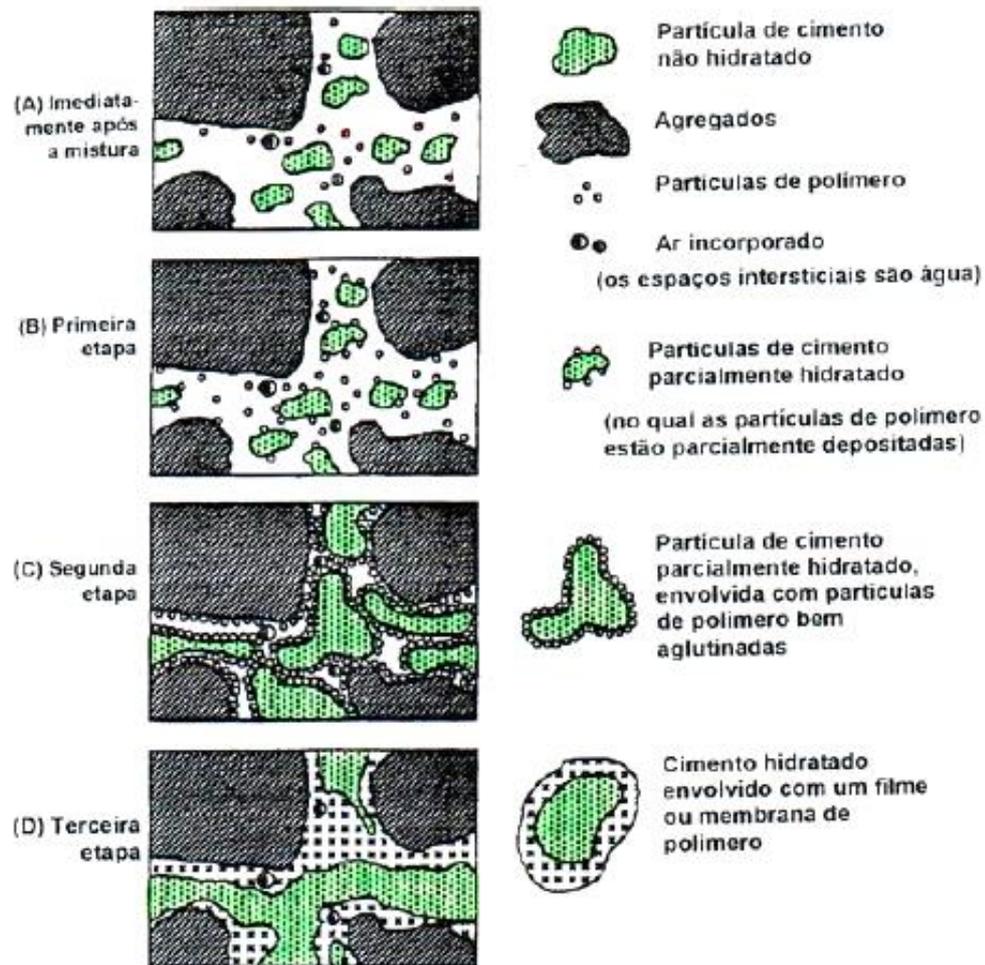
SILVA, D. A. **Efeitos dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento Portland.** 2001. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. 263p.

¹¹ Temperatura de transição vítrea, Tg: “temperatura ou faixa de temperatura acima da qual os materiais poliméricos passam de um estado rígido, vítreo, para um estado elastomérico” (SILVA, 2001, p. 9).

não havendo, por conseguinte, a formação de filme (SILVA, 2001 e GODOY e BARROS, 1999).

Ohama (1987 apud Godoy e Barros, 1999, p.251)¹² descreve o mecanismo da modificação das argamassas com látex de acordo com o modelo simplificado apresentado a seguir e ilustrado na figura 18.

Figura 18 - Modelo simplificado de modificação das argamassas com látex



Fonte: (OHAMA, 1998, apud MATSUSATO, 2007, p.48).

- Imediatamente após a mistura: Ao adicionar e misturar o látex na argamassa fresca de cimento, as partículas de polímero se dispersam na pasta de cimento não hidratado;

¹² OHAMA, Y. Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified mortars and concretes. *ACI Materials Journal* 84 (1987) 6, 511-17. Apud GODOY, E.H.P.; BARROS, M.M.S.B. **Contribuição ao estudo da influência de polímero nas propriedades das argamassas de cimento Portland.** III Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. 1999. 17p.

- Primeira etapa: Conforme ocorre a hidratação do cimento, as partículas de polímero depositam-se parcialmente na superfície das partículas de cimento parcialmente hidratado;
- Segunda etapa: Com a evaporação da água não utilizada durante o processo de hidratação das partículas de cimento, ocorre o confinamento gradual e preenchimento das partículas de polímero nos poros capilares da pasta de cimento. Conforme o processo de hidratação do cimento avança, as partículas de polímero aglutinam-se em torno das partículas de cimento parcialmente hidratadas e dos agregados, formando uma camada contínua e compacta;
- Terceira etapa: Após consumo e eliminação completa da água, as partículas de polímero coalescem, formando um filme ou membrana contínua de polímeros que envolve as partículas de cimento hidratado, criando uma estrutura monolítica que atua como uma matriz para as argamassas modificadas com polímeros, na qual os agregados são aglomerados por essa matriz.

Segundo Silva, Fredel, Roman e Alarcon (1998), os grãos de cimento possuem baixa capacidade de retenção de água e, por esse motivo, endurecem rapidamente ao entrarem em contato com superfícies de média e alta absorção. A formação do filme devido à adição de polímero em pequenas quantidades, de até 5% em relação à massa de cimento, evita a perda de água para o ambiente ou substrato, melhorando, assim, a viscosidade e a capacidade de retenção de água da argamassa e, conseqüentemente, dificultando o deslizamento da argamassa. Além disso, ao melhorar a capacidade de retenção de água, o tempo em aberto da argamassa colante também é favorecido.

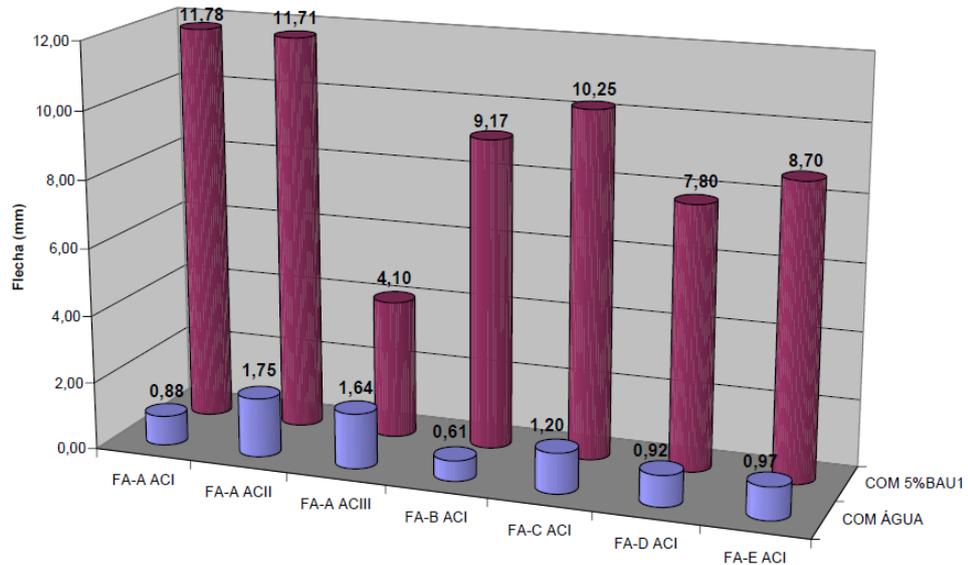
Ademais, de acordo com Mansur (2007), ao melhorar a retenção de água, a reação de hidratação do cimento é favorecida e, ao entrar em contato com substratos muito porosos, há uma inibição da saída de água da pasta da argamassa.

Matsusato (2007) estudou a influência que um dos látices acrílicos analisados em sua pesquisa exerceu sobre as propriedades das argamassas colantes. Em seu estudo, a quantidade de látex acrílico, com aproximadamente 50% do teor de sólidos, adicionado nas argamassas colantes foi de 5% em relação à massa dos materiais secos (argamassa colante industrializada). Considerando a massa específica da resina acrílica de, aproximadamente, 1kg/litro, foi adicionado, aproximadamente, 1kg ou 1 litro de resina acrílica para cada saco de argamassa colante de 20kg.

Em termos de flexibilidade, Matsusato (2007) constatou que a aditivação da argamassa com 5% de látex acrílico sobre a massa de materiais secos apresentou uma contribuição

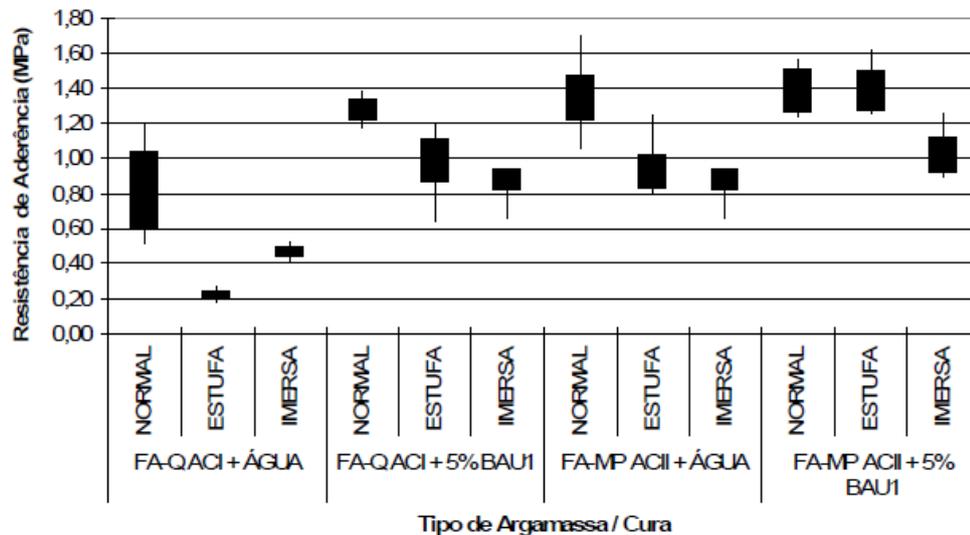
significativa nas argamassas testadas¹³, conforme demonstra o gráfico apresentado na figura 19, podendo ser classificadas como S2 (muito deformáveis), de acordo com a EN 12004-1 (CEN, 2017a).

Figura 19 - Ensaio de flexibilidade de argamassas colantes comparando água x látex



Fonte: (MATSUSATO, 2007, p.79).

Figura 20 - Resistência de aderência de argamassas colantes aditivadas com látex acrílico em função do tipo de cura



Fonte: (MATSUSATO, 2007, p.79).

¹³ Pode-se verificar, através do gráfico da figura 11, que o aumento da flexibilidade ao adicionar látex acrílico não foi significativo na argamassa colante AC III, em comparação às argamassas colantes AC I e AC II. Matsusato (2007) explica que as possíveis causas são o maior teor de cimento existente na formulação das argamassas colantes AC III ou a incompatibilidade entre o látex acrílico e os polímeros em pós dispersíveis existentes nesta argamassa colante, sendo esta última a causa mais provável, visto que houve perda de trabalhabilidade e alteração de consistência somente da argamassa colante AC III quando realizado o amassamento com látex.

No que tange à resistência de aderência à tração, Matsusato (2007) verificou que as argamassas colantes do tipo AC I aditivadas com o látex acrílico analisado apresentaram aumento de resistência de aderência à tração em todos os tipos de cura, em comparação às argamassas sem polímeros, conforme apresenta o gráfico da figura 20.

Na aplicação do estudo do Matsusato (2007) em obra, de acordo com a tecnologia para modificação das argamassas colantes existente na época, a dosagem do látex acrílico é realizada durante a preparação da argamassa colante na obra, previamente à sua utilização, desse modo, há a dificuldade de garantir em obra o controle da quantidade adequada de látex acrílico a ser acrescentado na argamassa colante.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi realizado com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica da aditivação das argamassas colantes industrializadas com o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico.

Para tanto, foram realizados ensaios de resistência de aderência à tração, tempo em aberto, deslizamento e deformação transversal em uma argamassa colante do tipo AC I amolentada somente com água, utilizada como referência, na mesma argamassa colante do tipo AC I aditivada com um aditivo pronto para uso à base de látex acrílico e em duas argamassas colantes do tipo AC III, também utilizadas como referência.

Para o ensaio de resistência de aderência à tração e de deformação transversal são apresentados, também, os resultados para a mesma argamassa colante do tipo AC I modificada com um outro aditivo pronto para uso à base de látex acrílico de características similares, porém de outro fabricante.

Os ensaios foram realizados em dois laboratórios de referência da cidade de São Paulo e acreditados pelo Inmetro.

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Argamassa colante

Nesse programa experimental, foram utilizadas uma argamassa colante do tipo AC I, intitulada como AC I-B, e duas argamassas colantes do tipo AC III, nomeadas como AC III-C e AC III-F, cujos dados técnicos, de acordo com informações disponibilizadas pelos fabricantes, são apresentados abaixo nos quadros 10, 11 e 12. Para o ensaio de deformação transversal, foi utilizada, como comparativo, uma terceira argamassa colante do tipo AC III, intitulada como AC III-G, cujos dados são disponibilizados no quadro 13.

Quadro 10 - Dados técnicos da argamassa colante AC I-B ensaiada

ARGAMASSA COLANTE AC I-B	
Tempo em aberto	≥ 15min
Tempo de manuseio	Até 150min
Densidade	Não informado
Quantidade de água a ser adicionada	4,6 litros

Fonte: Ficha técnica do produto ACI-B (2020)

Quadro 11 - Dados técnicos da argamassa colante AC III-C ensaiada

Argamassa colante AC III-C	
Tempo em aberto	≥ 20 min
Tempo de manuseio	Até 150 min
Densidade	1850 kg/m ³
Quantidade de água a ser adicionada	4,2 litros

Fonte: Ficha técnica do produto AC III-C (2020)

Quadro 12 - Dados técnicos da argamassa colante AC III-F ensaiada

Argamassa colante AC III-F	
Tempo em aberto	≥ 20 min
Tempo de manuseio	Até 150 min
Densidade	Não informado
Quantidade de água a ser adicionada	4,4 litros

Fonte: Ficha técnica do produto AC III-F (2020)

Quadro 13 - Dados técnicos da argamassa colante AC III-G ensaiada

Argamassa colante AC III-G	
Tempo em aberto	≥ 20 min
Tempo de manuseio	Até 150 min
Densidade	Não informado
Quantidade de água a ser adicionada	4,6 litros

Fonte: Ficha técnica do produto AC III-G (2020)

4.1.2 Aditivo à base de látex acrílico

O aditivo utilizado para modificação das argamassas colantes industrializadas trata-se de um produto pronto para uso à base de látex acrílico que substitui a água para amassamento da argamassa, na mesma quantidade de água indicada pelo fabricante no saco da argamassa. Neste estudo foi utilizado um aditivo denominado como R2, cujas especificações, de acordo com informações fornecidas na ficha técnica, estão indicadas no quadro 14.

Para os ensaios de resistência de aderência à tração em cura normal e de deformação transversal, foi ensaiada, também, a mesma argamassa colante ACI-B aditivada com um outro aditivo pronto para uso à base de látex acrílico, intitulado como R3, cujas especificações estão também disponibilizadas no quadro 15.

Tanto para o aditivo R2 quanto para o aditivo R3, a quantidade do produto a ser adicionado na argamassa corresponde a quantidade de água indicada no saco da argamassa industrializada, visto que, dessa forma, não há a necessidade de diluição do látex acrílico em água e de dosagem dessa diluição na mistura da argamassa colante na obra, possibilitando, assim, mitigar possíveis erros no manuseio e preparo da argamassa colante.

Quadro 14 - Parâmetros dos aditivos à base de látex acrílico R2 e R3

Aditivo à base de látex acrílico		
Propriedade	R2	R3
Viscosidade (cps)	25 a 75	5 a 100
Teor de sólidos (%) ¹⁴	4 a 7	6,5 a 7,5
pH	8 a 10	7 a 9
Densidade (g/cm ³)	0,98 a 1,03	0,95 a 1,05

Fonte: Fichas técnicas do produto R2 e R3 (2020)

4.1.3 Placas cerâmicas

Para realização dos ensaios, foram utilizados os seguintes tipos de placas cerâmicas, conforme classificação da NBR 13817 (ABNT, 1997b):

- Ensaio de resistência de aderência à tração: placas cerâmicas do grupo BIIa, com absorção de água entre 3% e 6%;
- Ensaio de tempo em aberto: placas cerâmicas do grupo BIII, com absorção de água maior que 10%;
- Ensaio de deslizamento: placas cerâmicas do grupo BIa, com absorção de água $\leq 0,5\%$.

4.2 PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Foram realizados ensaios de resistência de aderência à tração em cura normal, cura submersa e cura em estufa, conforme a NBR 14081-4 (ABNT, 2012c), tempo em aberto consoante à NBR 14081-3 (ABNT, 2012b), deslizamento de acordo com a NBR 14081-5 (ABNT, 2012d) e deformação transversal segundo à norma europeia EN 12004-2 (CEN, 2017b), em diferentes amostras de argamassas colantes tipo AC I e tipo AC III, cujos métodos de execução dos ensaios são descritos a seguir.

¹⁴ O teor de sólidos informado é composto por partículas de polímeros acrílicos e por demais cargas sólidas existentes na composição dos aditivos à base de látex acrílico.

4.2.1 Ensaio de resistência de aderência à tração

O ensaio de resistência de aderência à tração foi realizado conforme a NBR 14081-4: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração (ABNT, 2012c). Foram realizados três ensaios sob as seguintes condições: cura normal, cura submersa e cura em estufa, conforme requisitos estabelecidos pela NBR 14081-1: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 1: Requisitos (ABNT, 2012a).

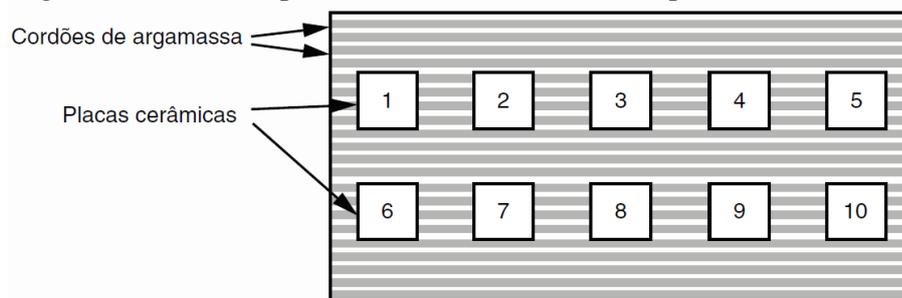
Para realização do ensaio de resistência de aderência à tração, foram utilizados os seguintes materiais:

- Argamassa colante industrializada preparada conforme a NBR 14081-2 (ABNT, 2015);
- Substrato padrão, conforme a NBR 14081-2 (ABNT, 2015);
- Placas cerâmicas do grupo BIIa, com absorção de água de $(4 \pm 1) \%$, cortadas em placas de seção quadrada com (50 ± 1) mm de aresta, limpas e secas, sem apresentar quebras, imperfeições, engobe ou resíduos no tardoço, conforme a NBR 13817 (ABNT, 1997b).

De acordo com o método estabelecido pela NBR 14081-4 (ABNT, 2012c) para determinação da resistência de aderência à tração, a argamassa colante é estendida sobre o sentido longitudinal do substrato padrão, conforme determina a NBR 14081-2 (ABNT, 2015).

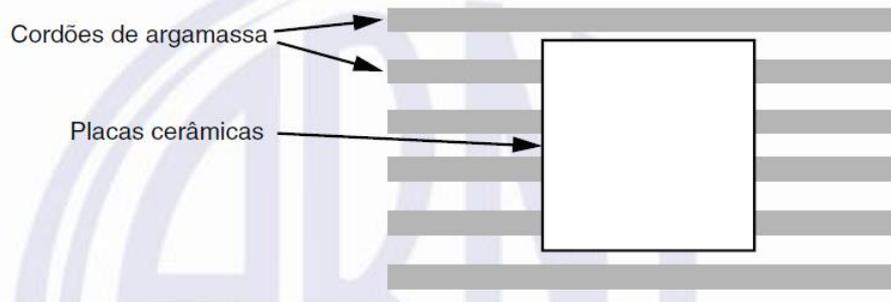
Após 5 minutos da aplicação da argamassa colante, são posicionadas as dez placas cerâmicas, abrangendo, cada placa cerâmica, quatro cordões de argamassa, consoante às figuras 21 e 22, de forma a gerar um afastamento de 50 mm entre as placas e de 25 mm entre as arestas da placa e as bordas do substrato padrão.

Figura 21 - Argamassa colante e placas cerâmicas no substrato padrão



Fonte: NBR 14081-4 (ABNT, 2012c, p. 3).

Figura 22 - Posicionamento da placa cerâmica sobre os cordões de argamassa



Fonte: NBR 14081-4 (ABNT, 2012c, p. 3).

Em seguida, é posicionada, sobre cada placa cerâmica, uma massa padrão de material sólido e rígido de $(2,00 \pm 0,01)$ kg e com seção de apoio quadrada com arestas de, aproximadamente, 50 mm. Após 30 segundos de carregamento, a massa padrão é removida.

Conforme estabelece a NBR 14081-4 (ABNT, 2012c), o conjunto de materiais a ser ensaiado (argamassa colante industrializada, substrato padrão e placa cerâmica) é submetido à cura normal, cura submersa e cura em estufa.

No processo de cura normal, o conjunto de materiais (substrato padrão, argamassa colante e placa cerâmica) é submetido, durante 28 dias, às condições ambientais do laboratório, ou seja, temperatura do ar de (23 ± 2) °C, umidade relativa do ar de (60 ± 2) % e velocidade de vento máxima de 0,15 m/s, estabelecidas pela NBR 14081-4 (ABNT, 2012c). No 28º dia, é realizado o ensaio de arrancamento por tração simples.

Na cura com imersão em água, o conjunto de materiais é mantido por sete dias nas condições ambientais de laboratório, com temperatura do ar de (23 ± 2) °C, umidade relativa do ar de (60 ± 2) % e velocidade de vento máxima de 0,15 m/s. Em seguida, o conjunto é imerso em água a (23 ± 2) °C, em tanque conforme descrito na NBR 14081-4 (ABNT, 2012c), durante 20 dias. 72 horas antes do ensaio, o conjunto de materiais é retirado da água para que as peças metálicas para realização do ensaio possam ser coladas nas placas cerâmicas e, após secagem do adesivo, o conjunto é novamente imerso em água. No 28º dia do assentamento das placas cerâmicas, é realizado o ensaio de arrancamento por tração simples. O ensaio deve ser iniciado em prazo máximo de 20 a 30 minutos após a retirada do conjunto de materiais da água.

Na cura em estufa, o conjunto de materiais é submetido às condições ambientais de laboratório por 14 dias e, em seguida, mantido em estufa a uma temperatura de (70 ± 2) °C por mais 14 dias, quando é, então, retirado da estufa para colagem das placas metálicas nas placas cerâmicas, após resfriamento do conjunto. O ensaio de arrancamento por tração simples é

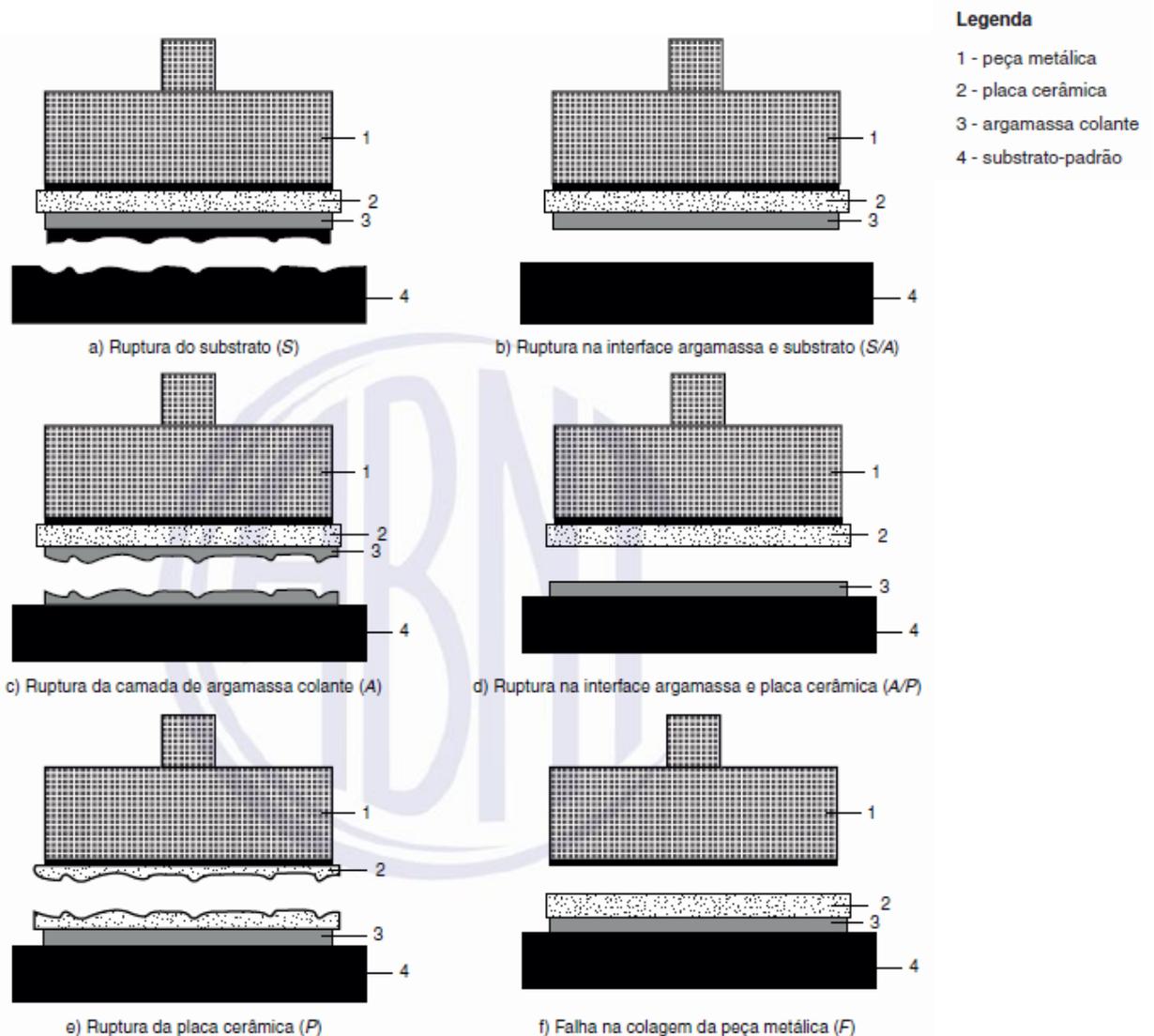
realizado no 28º dia do assentamento das placas cerâmicas e deve ser iniciado em, no máximo, 4 horas após retirada do conjunto da estufa.

No ensaio de arrancamento por tração simples, é utilizado um dinamômetro calibrado que permita aplicação de carga a uma velocidade de carregamento uniforme de (250 ± 50) N/s até a ruptura da amostra. A carga máxima de ruptura (T) e o tipo de ruptura são anotados.

O tipo de ruptura pode ocorrer no substrato (S), na interface entre a argamassa colante e o substrato (S/A), na camada de argamassa colante (A), na interface entre a argamassa colante e a placa cerâmica (A/P), na placa cerâmica (P) ou por falha na colagem da peça metálica (F), consoante às ilustrações da figura 23.

Caso ocorra ruptura no substrato, na placa cerâmica ou por falha na colagem da peça metálica, os resultados são desconsiderados para cálculo.

Figura 23 - Tipos de ruptura do ensaio de resistência de aderência à tração.



A tensão de ruptura (f_t), expressa em Megapascals (MPa), para cada placa cerâmica é calculada por meio da divisão da carga de ruptura (T), em Newtons (N), pela área da placa cerâmica (A), em mm^2 , cujo valor considerado é de 2500mm^2 .

$$f_t = \frac{T}{A}, \quad (1)$$

O resultado de resistência de aderência à tração obtido para cada tipo de cura analisada consiste na média de, ao menos, cinco ou mais resultados individuais, visto que, os resultados individuais maiores que 0,3 MPa que se afastarem em 20% da média e os resultados abaixo de 0,3 MPa que se afastarem da média mais que 0,06 MPa, devem ser descartados.

4.2.2 Ensaio de tempo em aberto

O ensaio de tempo em aberto deve ser realizado em conformidade com a NBR 14081-3 (ABNT, 2012b).

Para realização desse ensaio, foram utilizados os seguintes materiais:

- Argamassa colante industrializada preparada conforme a NBR 14081-2 (ABNT, 2015);
- Substrato padrão, conforme a NBR 14081-2 (ABNT, 2015);
- Placas cerâmicas do grupo BIII, com absorção de água (15 ± 3 %), cortadas em placas de seção quadrada com (50 ± 1) mm de aresta, limpas e secas, sem apresentar quebras, imperfeições, engobe ou resíduos no tardo, conforme a NBR 13817 (ABNT, 1997b).

De acordo com o método estabelecido pela NBR 14081-3 (ABNT, 2012b) para determinação do tempo em aberto, a argamassa colante é estendida sobre o sentido longitudinal do substrato padrão, conforme determina a NBR 14081-2 (ABNT, 2015).

Após o tempo especificado pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a) para o tempo em aberto do produto ensaiado, são posicionadas as dez placas cerâmicas, abrangendo, cada placa cerâmica, quatro cordões de argamassa, conforme demonstra a figura 21, de forma a gerar um afastamento de 50 mm entre as placas e de 25 mm entre as arestas da placa e as bordas do substrato padrão.

Em seguida, é posicionada sobre cada placa cerâmica, uma massa padrão, de material sólido e rígido de ($2,00 \pm 0,01$) kg e com seção de apoio quadrada com arestas de, aproximadamente, 50 mm. Após 30 segundos de carregamento, a massa padrão pode ser removida.

Conforme a NBR 14081-3 (ABNT, 2012b), o ensaio de arrancamento deve ser realizado de maneira similar ao ensaio de resistência de aderência à tração em cura normal.

As tensões de ruptura são calculadas conforme a equação 1, análogo ao cálculo realizado para a resistência de aderência à tração apresentado no item anterior. O resultado final obtido consiste na média de, ao menos, cinco ou mais resultados individuais, visto que, os resultados individuais maiores que 0,3 MPa que se afastarem em 20% da média e os resultados abaixo de 0,3 MPa que se afastarem da média mais que 0,06 MPa, devem ser descartados.

A média obtida deve ser comparada com 0,5 MPa. Caso o valor obtido seja igual ou maior que 0,5 MPa, o tempo em aberto resultante é maior ou igual ao tempo em aberto especificado na NBR 14081-1 (ABNT, 2012a) para o tipo de argamassa colante ensaiada. Caso a média resultante seja inferior a 0,5 MPa, o tempo em aberto resultante é inferior ao tempo em aberto especificado na NBR 14081-1 (ABNT, 2012a) para o tipo de argamassa colante ensaiada.

4.2.3 Ensaio de deslizamento

O ensaio de deslizamento deve ser realizado em conformidade com a NBR 14081-5 (ABNT, 2012d).

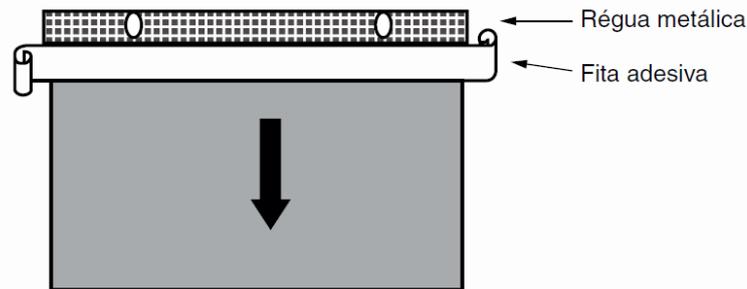
Para realização do ensaio de deslizamento, foram utilizados os seguintes materiais:

- Argamassa colante industrializada preparada conforme a NBR 14081-2 (ABNT, 2015);
- Substrato padrão, conforme a NBR 14081-2 (ABNT, 2015);
- Placas cerâmicas do grupo B1a, com absorção de água $\leq 0,5$ %, com massa individual de (195 ± 5) g e com dimensões de (100 ± 1) mm, conforme a NBR 13817 (ABNT, 1997b).

Na preparação da aparelhagem para execução do ensaio de deslizamento, segundo a NBR 14081-5 (ABNT, 2012d), uma régua metálica rígida com cerca de 500 mm de comprimento é posicionada contra a borda longitudinal do substrato padrão, com o auxílio de um dispositivo de fixação (sargento ou presilha), de forma que as arestas superior e laterais da régua coincidam com as do substrato. Uma fita adesiva de aproximadamente 25mm de largura é, então, colada também no sentido longitudinal, rente à borda inferior da régua, conforme ilustra a figura 24.

Em seguida, com o auxílio de uma desempenadeira metálica, com largura de 500mm e com, pelo menos, um lado denteado com dentes de largura, altura e espaçamento de $(6,0 \pm 0,1)$ mm, a argamassa colante é aplicada no substrato padrão com dois movimentos, na mesma direção e sentido indicados na figura 24, de modo que os cordões fiquem perpendiculares à régua metálica.

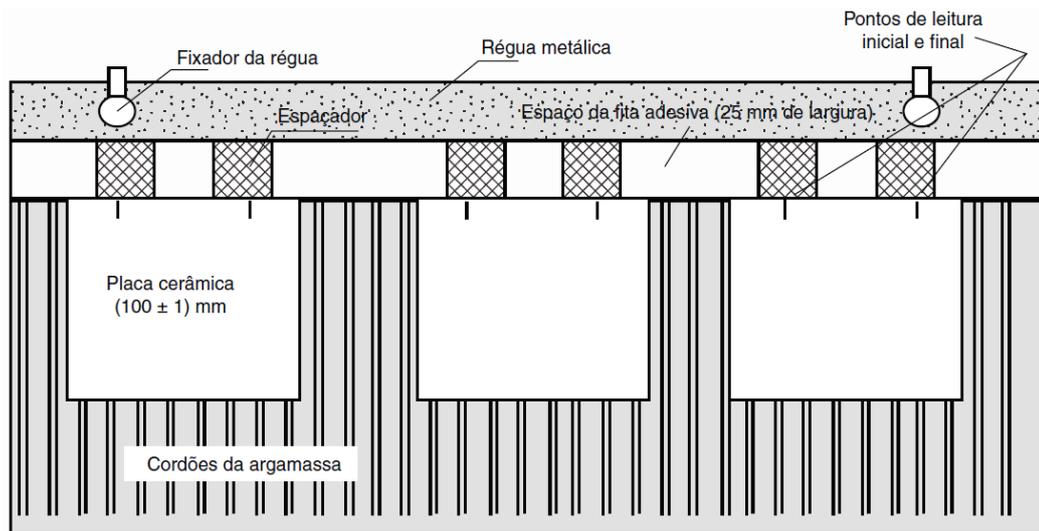
Figura 24 - Preparo da aparelhagem para ensaio de deslizamento



Fonte: NBR 14081-5 (ABNT, 2012d, p. 2).

Após a imprimação da argamassa colante no substrato, retira-se a fita adesiva e, logo na sequência, são posicionados, encostados contra a régua metálica, dois espaçadores para cada placa cerâmica, constituídos por material rígido, com formato de pastilha quadrada de (25 ± 1) mm de aresta e espessura de (10 ± 1) mm, com afastamento de 25 mm entre si, conforme esquematiza a figura 25.

Figura 25 - Aparelhagem do ensaio de deslizamento

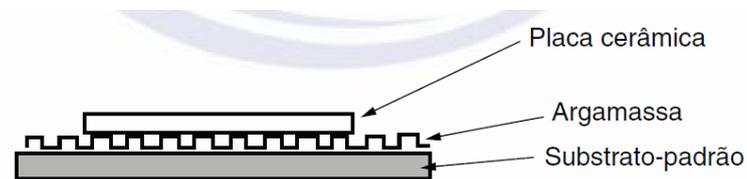


Fonte: NBR 14081-5 (ABNT, 2012d, p. 3).

Antes de assentar as placas cerâmicas sobre a argamassa, são feitas as marcações dos pontos de leitura inicial e final, para assegurar que as leituras do deslizamento nas placas cerâmicas sejam feitas nos mesmos pontos, conforme mostra a figura 25.

As placas cerâmicas são posicionadas após 2 minutos da aplicação da argamassa colante, centralizadas nos cordões da argamassa e com uma de suas arestas encostadas, centralizadamente, contra os espaçadores, segundo indicam as figuras 25 e 26.

Figura 26 - Posição das placas cerâmicas sobre os cordões de argamassa

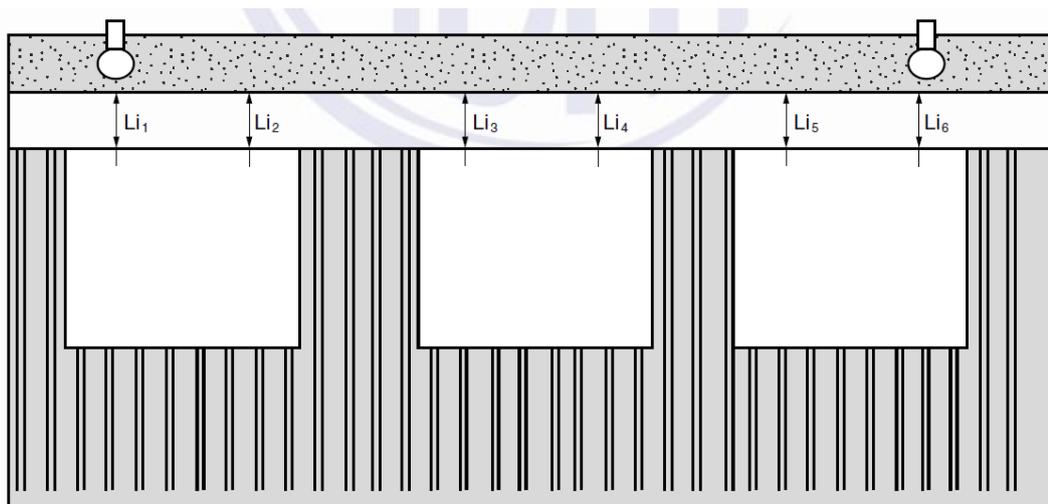


Fonte: NBR 14081-5 (ABNT, 2012d, p. 3).

Sobre as placas cerâmicas, são posicionadas as massas padrão, constituídas por material sólido, rígido, de $(5 \pm 0,01)$ kg e com base de seção de apoio quadrada, com arestas de 100 mm. Após 30 segundos, as massas padrão podem ser removidas.

São, então, retirados os espaçadores e realizada a leitura inicial, medindo, com um paquímetro, a distância (L_i) entre a borda superior da placa cerâmica e a régua metálica, consoante à figura 27.

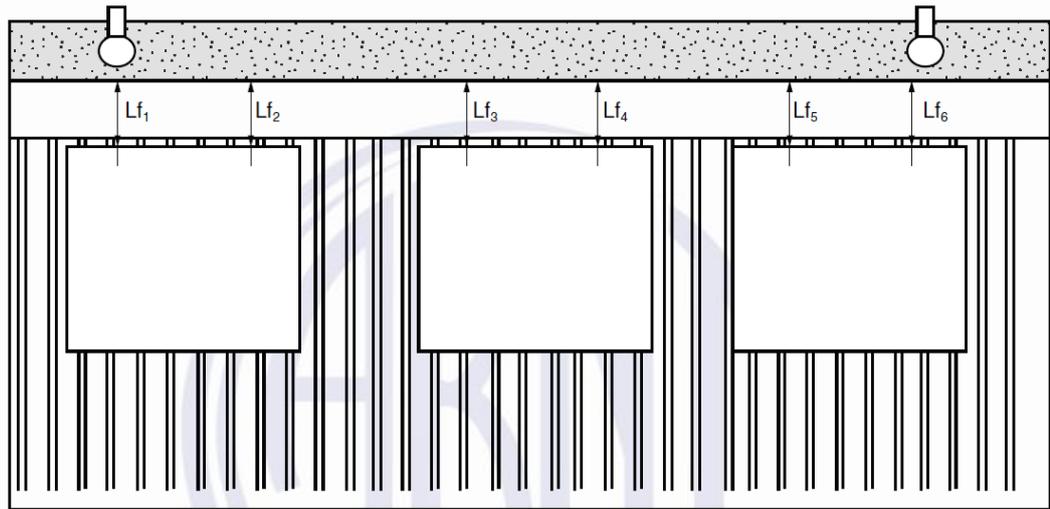
Figura 27 - Leituras iniciais do ensaio de deslizamento



Fonte: NBR 14081-5 (ABNT, 2012d, p.4).

Em seguida, o substrato padrão é posicionado na vertical e, após 20 minutos, volta para a posição horizontal para que a leitura final (L_f) possa ser realizada, medindo, nos mesmos pontos onde foram realizadas as leituras iniciais, o afastamento entre a borda superior da placa cerâmica e a régua metálica, conforme ilustra a figura 28.

Figura 28 - Leituras finais do ensaio de deslizamento



Fonte: NBR 14081-5 (ABNT, 2012d, p. 5).

O resultado do ensaio (L), expresso em mm, é calculado por meio da média das diferenças entre as leituras finais e iniciais.

$$L = \frac{\sum(L_f - L_i)}{6}, \quad (2)$$

4.2.4 Ensaio de deformação transversal

A flexibilidade da argamassa colante é mensurada por meio da determinação da sua deformação transversal. Segundo a EN 12004-2 (CEN, 2017b), a deformação transversal avalia a deformabilidade do adesivo, ou seja, a capacidade de deformação por tensões entre a placa cerâmica e a base, sem danificar o revestimento cerâmico instalado.

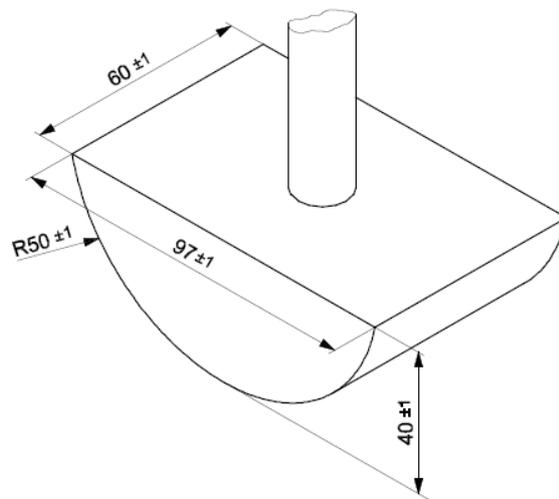
O ensaio de deformação transversal deve ser realizado em conformidade com a EN 12004-2 (CEN, 2017b). De acordo com essa norma, a deformação transversal de adesivos cimentícios é mensurada através de cargas de flexão aplicadas em corpos de prova com dimensões de $(300 \pm 1) \text{ mm} \times (45 \pm 1) \text{ mm} \times (3 \pm 0,05) \text{ mm}$, até sua ruptura.

Os corpos de prova são confeccionados conforme a EN 12004-2 (CEN, 2017b) e, após o desmolde, são armazenados em um recipiente plástico hermeticamente vedado e condicionados em temperatura de $(23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ durante 12 dias. Na sequência, são retirados do recipiente de plástico e armazenados durante 14 dias em condições normais, ou seja, em temperatura de $(23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$, umidade relativa de $(50 \pm 5) \%$ e velocidade do ar inferior a 0,2 m/s.

Para realização do ensaio, cada amostra é apoiada em dois suportes cilíndricos metálicos com diâmetro de $(10 \pm 0,1)$ mm, espaçados (200 ± 1) mm entre eixos e com comprimento mínimo de 60 mm.

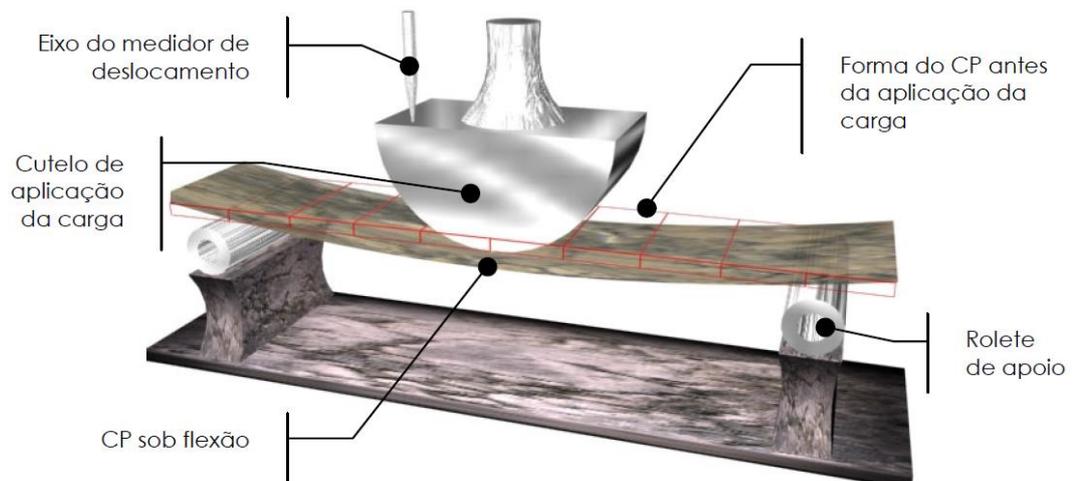
A carga é, então, aplicada no corpo de prova, por meio de um objeto metálico com as dimensões expostas na figura 29, conforme a EN 12002-4 (CEN, 2017). Esse objeto foi nomeado por Junjinger (2003) como cutelo. A figura 30 apresenta uma ilustração esquemática da aparelhagem para realização do ensaio.

Figura 29 - Cutelo para aplicação da carga transversal



Fonte: EN 12004-2 (CEN, 2017b, p.24).

Figura 30 - Ilustração esquemática da aparelhagem para ensaio de flexibilidade



Fonte: (JUNJINGER, 2003, p.92).

O ponto de início do ensaio é definido quando o cutelo toca o corpo de prova. A velocidade de aplicação da carga deve ser de 2 mm/min até a ruptura do corpo de prova.

Após a ruptura, a deformação resultante é medida em milímetros a partir do ponto de início do ensaio. Caso não ocorra ruptura, são anotadas a força máxima e a sua respectiva deformação.

Os valores de deformação transversal que apresentarem desvio de $\pm 20\%$ da média calculada devem ser excluídos. Para validação do ensaio, é necessário que haja, no mínimo, 3 corpos de prova com resultados satisfatórios.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados e analisados os resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração, tempo em aberto, deslizamento e deformação transversal realizados em quatro tipos de amostras, elencadas a seguir:

- Argamassa colante AC I-B amolentada com água, representada em azul nas tabelas e gráficos;
- Argamassa colante AC I-B amolentada com o aditivo R2, representada em rosa nas tabelas e gráficos;
- Argamassa colante AC III-C amolentada com água, representada em verde nas tabelas e gráficos;
- Argamassa colante AC III-F amolentada com água, representada em amarelo nas tabelas e gráficos.

Para os ensaios de resistência de aderência à tração em cura normal e de deformação transversal, foi ensaiada, também, a mesma argamassa colante AC I-B aditivada com um outro aditivo pronto para uso à base de látex acrílico, R3, representada em marrom nas tabelas e gráficos.

5.1 TEMPO EM ABERTO

Analisando os dados apresentados na tabela 1, verifica-se que a modificação da argamassa colante AC I-B com o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico R2 atendeu ao requisito da NBR 14081-1 (ABNT, 2012a) para tempo em aberto, que estabelece mínimo de 15 minutos para argamassas colantes do tipo AC I. Para essa mesma argamassa colante com o aditivo R2, foi realizado, também, o ensaio para tempo aberto estendido em 10 minutos, propriedade opcional pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a), apresentando resultado satisfatório.

Tabela 1 - Comparativo da influência do aditivo R2 no tempo em aberto

Requisitos	AC I-B + água	AC I-B + R2	AC I-B + R2 estendido em 10 minutos	AC III-C + água	AC III-F + água	Parâmetro AC I NBR 14081-1 (ABNT, 2012a)	Parâmetro AC III NBR 14081-1 (ABNT, 2012a)
Resistência de aderência à tração (MPa)	0,9	0,69	0,6	0,2	1,3	≥ 0,5	≥ 0,5
Tempo em aberto (min)	≥ 15	≥ 15	≥ 25	< 20	≥ 20	≥ 15	≥ 20

Foi verificado que o resultado de tempo em aberto para a argamassa colante AC III-C foi menor que 20 minutos, ou seja, abaixo do mínimo exigido pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a) para argamassa colante tipo AC III.

O resultado satisfatório para tempo em aberto estendido apresentado pela argamassa colante AC I modificada com o aditivo R2 pode ter ocorrido devido à contribuição do aditivo à base de látex acrílico na retenção de água, evitando a perda de água por evaporação ou por sucção da base. Um outro fator que pode ter influenciado nesse resultado é a elevada resistência de aderência à tração apresentada pela argamassa colante AC I-B amolentada somente com água, de modo que, ao modificar essa argamassa AC I-B com o aditivo R2, mesmo após transcorridos 25 minutos do assentamento das placas cerâmicas, a resistência de aderência à tração apresentou resultado satisfatório, conforme a NBR 14081-1 (ABNT, 2012a).

O tempo em aberto adequado é um requisito fundamental visto que, de acordo com Póvoas, John e Cincotto (1999), a perda de água por sucção ou por evaporação após o espalhamento da argamassa colante na base provoca a perda de plasticidade e a formação de uma película, reduzindo progressivamente o nível de contato entre o tardo da placa cerâmica e a argamassa, prejudicando, conseqüentemente, a aderência da placa cerâmica na pasta de argamassa, uma vez que haverá apenas o amassamento dos cordões de argamassa, sem interação entre ambos.

5.2 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

A tabela 2 apresenta os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração em cura normal, cura submersa e cura em estufa, conforme a NBR 14081-4 (ABNT, 2012c).

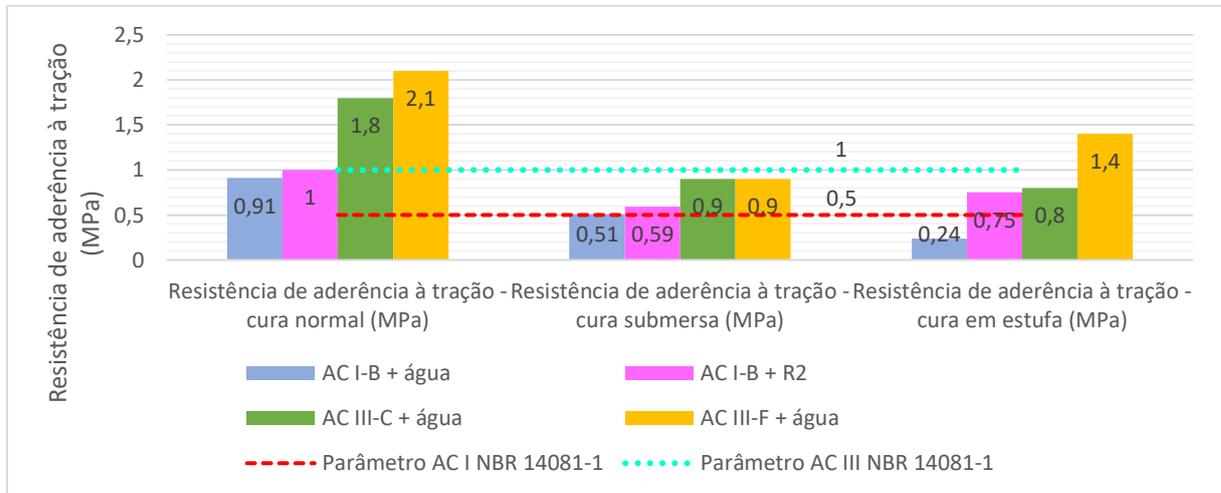
Tabela 2 - Comparativo da influência do aditivo R2 na resistência de aderência à tração

Requisitos	AC I-B + água	AC I-B + R2	AC III-C + água	AC III-F + água
Resistência de aderência à tração - cura normal (MPa)	0,91	1	1,8	2,1
Resistência de aderência à tração - cura submersa (MPa)	0,51	0,59	0,9	0,9
Resistência de aderência à tração - cura em estufa (MPa)	0,24	0,75	0,8	1,4

Através do gráfico apresentado na figura 31, constata-se que a modificação da argamassa colante AC I-B com o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico R2 (rosa) promoveu melhoria pouco significativa na cura normal e submersa, quando comparados com a mesma argamassa colante AC I-B amassada somente com água, em azul. Somado a isso, as resistências

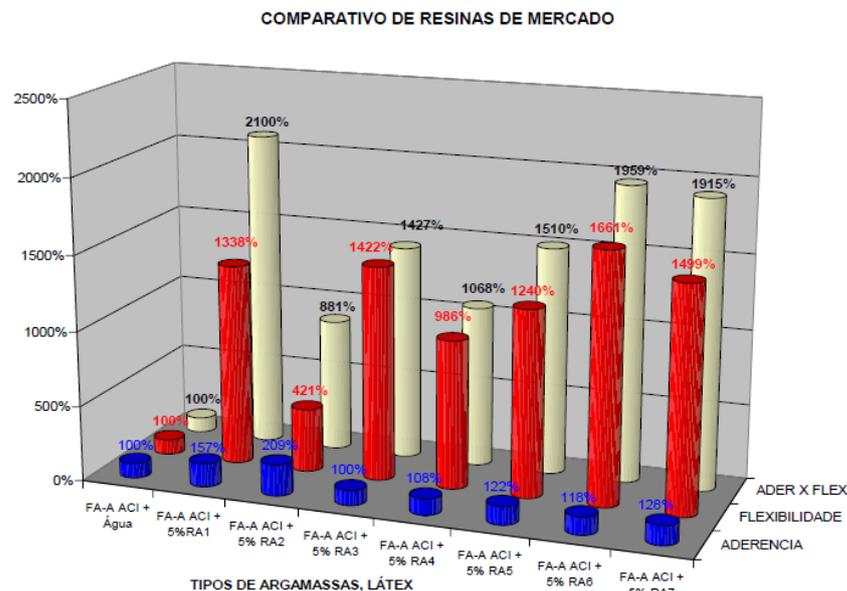
de aderência à tração das argamassas colantes de referência AC III-C e AC III-F foram superiores.

Figura 31 - Gráfico resistência de aderência à tração da argamassa colante ACI-B + aditivo R2



Matsusato (2007) analisou a influência de diferentes látices acrílicos, com teor de sólidos em torno de 50%, na resistência de aderência à tração em cura normal, mantendo a proporção de 5% de látex sobre a massa de materiais secos da argamassa colante industrializada. O pesquisador verificou que todos os látices ensaiados promoveram ganhos na flexibilidade da argamassa colante tipo AC I analisada, em contrapartida, nem todos os látices promoveram aumento significativo da resistência de aderência à tração, conforme explicita a figura 32.

Figura 32 - Ganhos de resistência e flexibilidade em relação à argamassa de referência

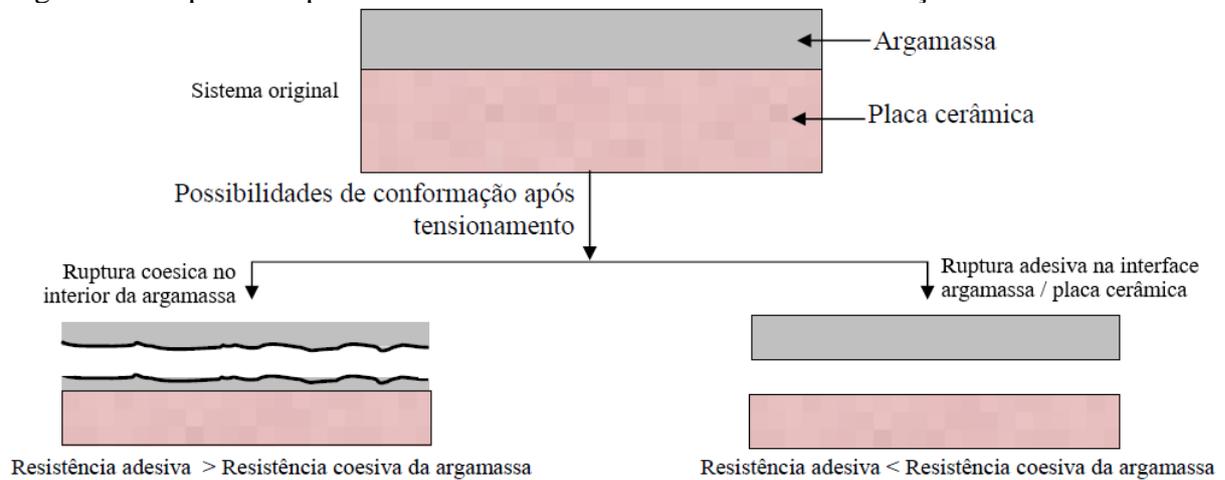


Fonte: (MATSUSATO, 2007, p.77).

Segundo Matsusato (2007), essa diferença de comportamento entre os diversos tipos de látices acrílicos analisados pode ter ocorrido por diversos motivos, como tamanho das partículas de polímero, diferentes temperaturas mínimas de formação de filme e de transição vítrea e incompatibilidade do polímero com o meio alcalino ou com outros aditivos existentes nas formulações das argamassas colantes.

Mansur (2007) salienta que a análise do tipo de ruptura é tão importante quanto a análise dos valores de resistência de aderência à tração. De acordo com esse autor, a ruptura na camada de argamassa colante é indicativa de que a resistência coesiva da argamassa é menor que a resistência adesiva da argamassa no substrato e na placa cerâmica enquanto a ruptura na interface da argamassa colante com a placa ou o substrato indica o contrário, ou seja, que a resistência adesiva é menor que a resistência coesiva da argamassa colante, conforme explicita a figura 33.

Figura 33 - Tipos de ruptura associadas à resistência de aderência à tração



Fonte: (MANSUR, 2007, p.233).

Analisando as tabelas 3 e 4, pode-se verificar que, em cura normal e cura submersa, a argamassa colante ACI-B modificada com o aditivo R2 apresentou o mesmo tipo de ruptura em comparação à argamassa amolentada somente com água, para ambas, as rupturas ocorreram, predominantemente, na camada de argamassa colante. Dessa forma, pode-se inferir que a adição de látex acrílico na argamassa colante não prejudicou a coesão da argamassa e nem a resistência de aderência da argamassa no substrato e na placa cerâmica.

Somente para cura em estufa, houve alteração do tipo de ruptura. Na argamassa colante amolentada somente com água, a ruptura foi, predominantemente, na interface argamassa colante e placa cerâmica. Ao aditivar essa argamassa colante com o aditivo R2, a ruptura

predominou na camada de argamassa colante. Essa mudança do tipo de ruptura pode ser resultante de uma melhoria da adesão na interface entre placa cerâmica e argamassa colante, proporcionada pela adição de látex.

Tabela 3 - Tipos de ruptura para resistência de aderência à tração da AC I-B + água

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO																	
CURA NORMAL - AC I-B + água						CURA SUBMERSA - AC I-B + água					CURA ESTUFA - AC I-B + água						
CP	TIPO DE RUPTURA					CP	TIPO DE RUPTURA					CP	TIPO DE RUPTURA				
	S	S/A	A	A/P	P		S	S/A	A	A/P	P		S	S/A	A	A/P	P
1	-	-	100	-	-	1	-	-	100	-	-	1	-	-	-	100	-
2	-	-	100	-	-	2	-	-	100	-	-	2	-	-	-	100	-
3	-	-	100	-	-	3	-	-	100	-	-	3	-	-	-	100	-
4	-	-	20	80	-	4	-	-	100	-	-	4	-	-	-	100	-
5	-	-	100	-	-	5	-	-	100	-	-	5	-	-	-	100	-
6	-	-	100	-	-	6	-	-	100	-	-	6	-	-	80	20	-
7	-	-	20	80	-	7	-	-	100	-	-	7	-	-	-	100	-
8	-	-	100	-	-	8	-	-	100	-	-	8	-	-	-	100	-
9	-	-	100	-	-	9	-	-	100	-	-	9	-	-	80	20	-
10	-	-	100	-	-	10	-	-	100	-	-	10	-	-	80	20	-

Tabela 4 - Tipos de ruptura para resistência de aderência à tração da AC I-B + R2

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO																	
CURA NORMAL - AC I-B + R2						CURA SUBMERSA - AC I-B + R2					CURA EM ESTUFA - AC I-B + R2						
CP	TIPO DE RUPTURA					CP	TIPO DE RUPTURA					CP	TIPO DE RUPTURA				
	S	S/A	A	A/P	P		S	S/A	A	A/P	P		S	S/A	A	A/P	P
1	-	-	100	-	-	1	-	-	100	-	-	1	-	-	100	-	-
2	-	-	100	-	-	2	-	-	100	-	-	2	-	-	100	-	-
3	-	-	100	-	-	3	-	-	100	-	-	3	-	-	100	-	-
4	-	-	100	-	-	4	-	-	100	-	-	4	-	-	100	-	-
5	-	-	100	-	-	5	-	-	100	-	-	5	-	-	100	-	-
6	-	-	100	-	-	6	-	-	100	-	-	6	-	-	100	-	-
7	-	80	20	-	-	7	-	-	100	-	-	7	-	-	100	-	-
8	-	80	20	-	-	8	-	-	100	-	-	8	-	-	100	-	-
9	-	-	100	-	-	9	-	-	100	-	-	9	-	-	100	-	-
10	-	-	100	-	-	10	-	-	100	-	-	10	-	-	100	-	-

Visando obter mais um parâmetro de referência para análise da resistência de aderência à tração em cura normal, foi analisado, também, esse requisito para a mesma argamassa colante AC I-B modificada com o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico R3. Pode-se verificar, pela tabela 5, que houve uma redução de 0,12 MPa, quando comparada com a argamassa colante amolentada somente com água.

Tabela 5 - Comparativo da influência do aditivo R3 na resistência de aderência à tração

REQUISITOS	AC I-B + água	AC I-B + R3	AC III-C + água	AC III-F + água	Parâmetro AC I NBR 14081-1 (ABNT, 2012a)	Parâmetro AC III NBR 14081-1 (ABNT, 2012a)
Resistência de aderência à tração - cura normal (MPa)	0,91	0,79	1,8	2,1	0,5	1,0

A tabela 6 apresenta o tipo de ruptura da argamassa colante AC I-B modificada com o aditivo R3. Observa-se que a ruptura se manteve na camada de argamassa colante, similarmente à argamassa colante AC I-B amolentada somente com água sob cura normal, cujos tipos de ruptura encontram-se na tabela 3.

Tabela 6 - Tipos de ruptura para resistência de aderência à tração AC I-B + R3

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO					
CURA NORMAL - AC I-B + R3					
CP	TIPO DE RUPTURA				
	S	S/A	A	A/P	P
1	-	-	100	-	-
2	-	-	100	-	-
3	-	-	100	-	-
4	-	-	100	-	-
5	-	-	100	-	-
6	-	-	100	-	-
7	-	-	100	-	-
8	-	-	100	-	-
9	-	-	100	-	-
10	-	-	100	-	-

Diante do exposto, verifica-se que a modificação da argamassa colante AC I-B com os aditivos prontos para uso à base de látex acrílico R2 e R3 promoveu somente uma pequena variação na resistência de aderência à tração, não comprometendo este requisito, tendo em vista que os resultados obtidos estão acima do critério mínimo exigido pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a) de 0,5 MPa.

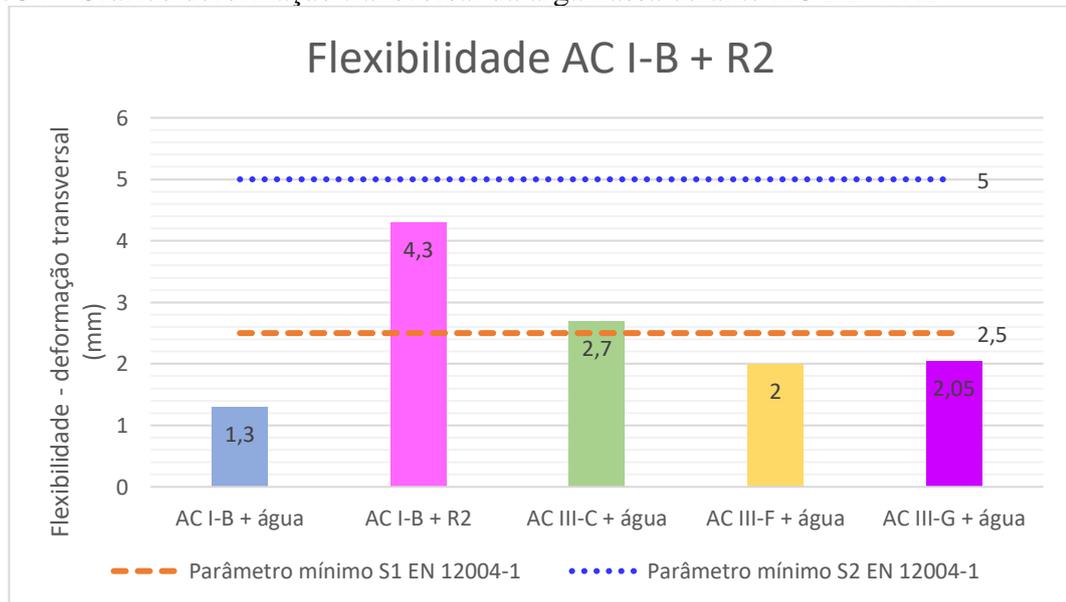
De acordo com Medeiros (1999), a argamassa colante precisa manter sua aderência ao longo do tempo. Para tanto, conforme verificado no capítulo 2 da revisão bibliográfica, não basta que ela apresente somente elevada capacidade de aderência, visto que, mesmo com elevada capacidade de aderência, se a argamassa tiver baixa capacidade de absorver deformações, pode haver perda de aderência devido, por exemplo, aos ciclos de expansão e retração do substrato e da placa cerâmica e à deformação lenta da estrutura de concreto armado (MEDEIROS, 1999).

Portanto, considera-se que, para viabilizar tecnicamente o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico, além da resistência de aderência à tração da argamassa colante, cabe a análise, também, dos requisitos de tempo em aberto e deslizamento, os quais influenciam na resistência de aderência à tração e permitem avaliar se a argamassa apresenta potencial de promover aderência adequada. Deve ser avaliada, também, a flexibilidade, visto que este requisito reflete a capacidade da argamassa colante de absorver deformações.

5.3 DEFORMAÇÃO TRANSVERSAL – FLEXIBILIDADE

O gráfico explicitado na figura 34 apresenta os resultados do ensaio de deformação transversal das argamassas colantes ensaiadas. Com o objetivo de fornecer mais um parâmetro de referência para o ensaio de deformação transversal, foi incluída uma terceira argamassa colante do tipo AC III, nomeada como AC III-G e representada pela cor roxa.

Figura 34 - Gráfico deformação transversal da argamassa colante AC I-B + R2



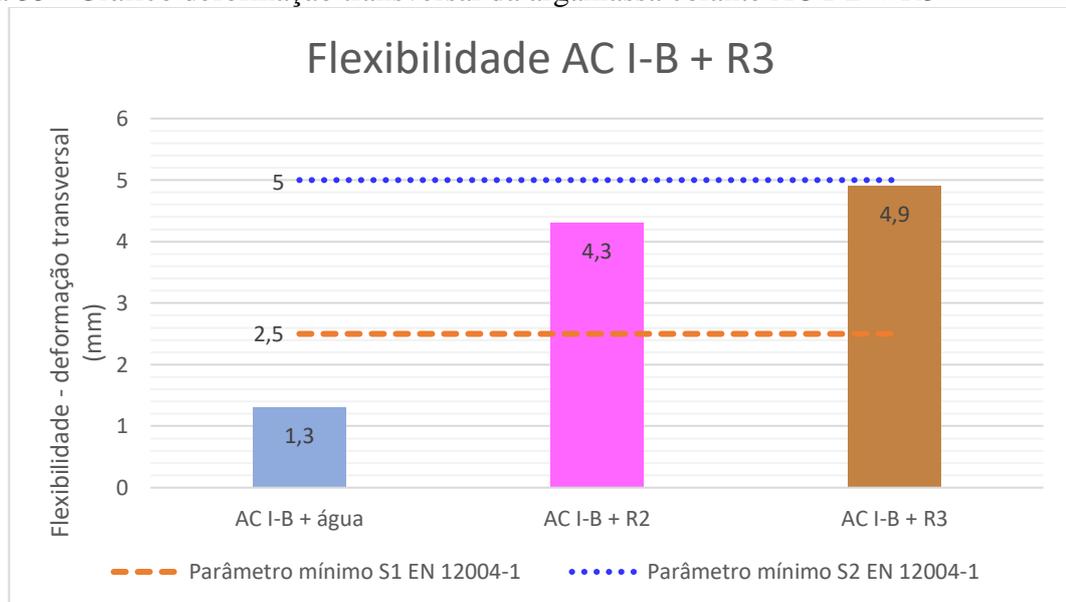
Verifica-se que a deformação transversal ou flecha resultante da argamassa AC I-B sem aditivação foi de 1,3 mm, de modo que essa argamassa não atingiu a exigência mínima da EN 12004-1 (CEN, 2017a) para ser considerada deformável, uma vez que essa norma classifica como deformáveis (S1) as argamassas que apresentam deformação transversal entre 2,5 mm e 5 mm e altamente deformável (S2) quando maiores ou iguais a 5 mm.

A modificação da argamassa colante AC I-B pelo aditivo à base de látex acrílico R2 (rosa) proporcionou um aumento de, aproximadamente, 300% na flexibilidade da argamassa colante

AC I-B (azul), sendo maior, inclusive, quando comparada às argamassas colantes AC III de referência (verde, amarelo e roxo). De acordo com a classificação da EN 12004-1, (CEN, 2017a), essa argamassa modificada pelo aditivo R2 pode ser considerada S1, ou seja, uma argamassa deformável.

Analisando a mesma argamassa colante AC I-B aditivada com o látex R3 (em marrom), pode-se constatar, pelo gráfico da figura 35, que houve um aumento considerável de 380% da deformação transversal quando comparada com a mesma argamassa colante AC I-B sem aditivação (em azul). Assim, a argamassa colante AC I-B modificada com o aditivo R3 é considerada, de acordo com a capacidade de absorver deformações, como S1, deformável, pela EN 12004-1 (CEN, 2017a).

Figura 35 - Gráfico deformação transversal da argamassa colante AC I-B + R3



5.4 DESLIZAMENTO

Verifica-se, na tabela 7, que a modificação da argamassa colante AC I-B com o aditivo R2 promoveu uma redução expressiva no deslizamento.

Tabela 7 - Comparativo da influência do aditivo R2 no deslizamento

REQUISITOS	AC I-B + água	AC I-B + R2	AC III-C + água	AC III-F + água	Parâmetro máximo NBR 14081-1 (ABNT, 2012a)
Deslizamento (mm)	2,9	0,3	2	0,4	2

De acordo com Bellei (2016), no ensaio de deslizamento, realizado conforme a NBR 14081-5 (ABNT, 2012d), o material ensaiado deve suportar seu peso próprio e o peso da placa cerâmica, para que não haja deslizamento ou para que o deslizamento seja inferior a 2mm, limite máximo estabelecido pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a).

Pode-se inferir, a partir deste resultado, que a adição de látex acrílico na argamassa colante contribuiu significativamente para redução do deslizamento indesejado da argamassa. De acordo com Roman, Fredel e Alarcon (1998), a adição de polímero na argamassa colante aumenta a viscosidade e a capacidade de retenção de água, podendo justificar essa diminuição do deslizamento da argamassa colante ao ser modificada com o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico R2.

6 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A Indústria da Construção Civil, devido ao mercado altamente competitivo na qual está inserida, tem como desafio oferecer produtos economicamente acessíveis e, concomitantemente, atender as exigências de qualidade dos clientes (BARROS, 1996). Dessa forma, a redução dos custos de produção sem que haja prejuízo na qualidade dos empreendimentos é um ponto de convergência para as empresas do setor de construção civil que buscam a racionalização do seu processo produtivo.

Conforme destacado no Catálogo de Inovação da Construção Civil, da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2016), a publicação da Norma de Desempenho, NBR 15575-1 (ABNT, 2013c), em 2013, instigou uma melhoria na qualidade das edificações habitacionais ao estabelecer os requisitos e seus respectivos critérios mínimos de desempenho ao longo de sua vida útil, melhorando, assim, a qualidade do produto entregue aos clientes, que se tornaram mais exigentes.

Dessa forma, a Norma de Desempenho induziu o emprego de sistemas construtivos inovadores por parte dos construtores, projetistas e indústrias de materiais. Essas inovações podem ser simples, para racionalização dos processos, como também inovações de produtos, para atender novas demandas (CBIC, 2016).

Além do incremento na qualidade, a inovação na construção civil gera outros benefícios, como aumento de produtividade e redução de custo, essenciais para sobrevivência das empresas em um mercado competitivo (CBIC, 2016).

Diante do exposto, a inovação tecnológica no processo de produção de edifícios pode ser definida como “um aperfeiçoamento tecnológico, resultado de atividades de pesquisa e desenvolvimento internas ou externas à empresa, aplicado ao processo de produção do edifício objetivando a melhoria do desempenho, qualidade ou custo do edifício ou de uma parte do mesmo” (BARROS, 1996, p. 60).

Perante o cenário de deslocamento cerâmico que o mercado de construção civil enfrentou nos últimos anos, acarretando prejuízos financeiros, retrabalho e afetando a imagem das construtoras com o cliente, ocorreu uma busca, tanto por parte dos pesquisadores quanto por parte das construtoras, das causas dessa manifestação patológica e de formas de mitigá-las.

Sob essa perspectiva, essa monografia propõe a modificação de argamassa colante do tipo AC I com um aditivo pronto para uso à base de látex acrílico. Embora seja viável tecnicamente, apresentando aumento considerável de flexibilidade e resultado satisfatório para tempo em aberto estendido de 10 minutos, conforme demonstrado no programa experimental, é necessário

que essa solução proposta seja viável, também, economicamente, ou seja, para que seja aplicável nas obras, o custo da argamassa colante do tipo AC I e do aditivo à base de látex acrílico juntos não pode ser muito discrepante do custo de uma argamassa colante do tipo AC III comum e de argamassas colantes monocomponentes especiais, fornecidas em pó e classificadas como deformáveis ou muito deformáveis pela EN 12004-1 (CEN, 2017), existentes no mercado.

Diante do exposto, este capítulo compreende o estudo da viabilidade econômica da aditivação de argamassa colante do tipo AC I com aditivo pronto para uso à base de látex acrílico, no qual são apresentados e comparados os preços pagos por algumas construtoras de São Paulo pela argamassa colante do tipo AC I, pelo aditivo pronto para uso à base de látex acrílico, pela argamassa colante do tipo AC III e, também, por duas argamassas colantes especiais com características deformáveis.

A tabela 8 apresenta os preços pagos por uma construtora de São Paulo na argamassa colante do tipo AC I, na argamassa colante do tipo AC III e no aditivo pronto para uso à base de látex acrílico.

Tabela 8 - Preços pagos por construtora de São Paulo

Material	Unidade	Preço (R\$)
Argamassa colante AC I	Por saco de 20 kg	R\$ 6,50
Argamassa colante AC III	Por saco de 20 kg	R\$ 19,00
Aditivo à base de látex acrílico	Por litro	R\$ 2,90

A quantidade de aditivo a ser adicionada em cada saco de argamassa colante corresponde à quantidade de água indicada no saco da argamassa pelo fabricante. Para este estudo, foi considerada a adição de 4,6 litros de aditivo por saco de 20 kg de argamassa colante do tipo AC I. Dessa forma, o custo da aditivação da argamassa colante por saco de AC I é de R\$ 19,84, conforme demonstra a tabela 9.

Tabela 9 - Custo da argamassa colante AC I aditivada com aditivo à base de látex acrílico

Material	Unidade	Preço (R\$)
Argamassa colante AC I	1 saco de 20kg	R\$ 6,50
Aditivo à base de látex acrílico	4,6 litros	R\$ 13,34
TOTAL POR SACO DE 20kg DE ARGAMASSA COLANTE AC I ADITIVADA		R\$ 19,84

Comparando o custo de R\$ 19,84 da argamassa colante do tipo AC I modificada com aditivo pronto para uso à base de látex acrílico com o preço de R\$ 19,00 de uma argamassa

colante do tipo AC III comum do mercado, constata-se que o custo da argamassa colante AC I modificada é similar ao custo da argamassa colante AC III comum.

Salienta-se, consoante ao verificado no programa experimental, que o incremento de flexibilidade proporcionado pelos aditivos pronto para uso à base de látex acrílico é muito acima dos resultados de deformação transversal apresentados pelas argamassas colantes do tipo AC III, as quais, em muitos casos, apresentam deformação transversal abaixo do mínimo de 2,5 mm estabelecido pela EN 12004-1 (CEN, 2017a) para ser considerada deformável, conforme foi verificado para as argamassas colantes AC III-F e AC III-G.

A tabela 10 apresenta o preço de duas argamassas colantes monocomponentes, fornecidas em pó e vendidas como especiais por serem consideradas flexíveis. Através do ensaio de deformação transversal, a flecha medida por esses dois produtos foi de 3,3 mm e 5,62 mm, permitindo que sejam classificadas como deformável e muito deformável, respectivamente, pela EN 12004-1 (CEN, 2017a).

Devido à essa característica de maior flexibilidade, essas argamassas colantes apresentam preços substancialmente elevados quando comparados com as argamassas colantes tipo AC III comuns do mercado e com a proposta de argamassa colante modificada com o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico, a qual também pode ser considerada deformável, conforme apresentado no programa experimental.

Tabela 10 - Preços de argamassas colantes com flexibilidade

Material	Preço (R\$)	Unidade	deformação transversal (mm)
Argamassa colante flexível - fabricante 1	60,64	Saco de 20 kg	3,3 (deformável)
Argamassa colante flexível - fabricante 2	44,00	Saco de 20 kg	5,62 (muito deformável)

Isto posto, para situações que exigem uma argamassa colante com maior capacidade de absorver deformações, como, por exemplo, o assentamento de revestimento cerâmico em ambientes internos de empreendimentos de padrão econômico com alvenarias de bloco cerâmico ou de bloco de concreto, ambas sem emboço, ou em paredes de concreto sem emboço, a modificação da argamassa colante com o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico constitui-se em uma alternativa viável técnico e economicamente.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do cenário de deslocamento cerâmico que o setor de construção civil vem enfrentando nos últimos anos, o objetivo deste trabalho consistiu em realizar um estudo da viabilidade técnico e econômica das argamassas colantes modificadas com um aditivo pronto para uso à base de látex acrílico.

O comportamento das argamassas colantes ao serem modificadas por látices acrílicos já foi estudado por outros pesquisadores, como Matsusato (2007). No entanto, nesses estudos, persistia a dificuldade de controlar a dosagem correta do látex na obra.

Visando mitigar possíveis erros de dosagem por parte da mão de obra e propiciar o correto preparo da argamassa colante, esta monografia propôs a utilização de um aditivo pronto para uso à base de látex acrílico, pois, nessa proposta, basta substituir a quantidade de água indicada no saco de argamassa colante pelo aditivo, uma vez que ele já é pronto para uso, dispensando a sua diluição em água.

Tendo em vista as maiores solicitações impostas ao revestimento cerâmico devido às situações construtivas especiais, como assentamento de placas cerâmicas em parede de concreto sem emboço, em alvenarias de bloco cerâmico ou de bloco de concreto sem emboço, em áreas com grandes vãos e o emprego de peças cerâmicas de maiores dimensões com diminuição das juntas de assentamentos, de acordo com as referências bibliográficas consultadas, é fundamental o emprego de argamassas colantes que possuam adequada capacidade de absorver as deformações resultantes dessas situações.

Não existe, no entanto, no arcabouço normativo brasileiro, nenhum método de ensaio e critérios que estabeleçam as deformações mínimas para as cargas ou tensões de rupturas aplicadas sobre as argamassas colantes, permitindo, assim, determinar sua flexibilidade. Por esse motivo, nesse estudo, o requisito de flexibilidade foi mensurado por meio do ensaio de deformação transversal indicado na norma europeia EN 12004-2 (CEN, 2017b) e a argamassa colante classificada, com base nesse requisito, conforme a EN 12004-1 (CEN, 2017a).

Verificou-se, através do ensaio de deformação transversal realizado no programa experimental, que a modificação da argamassa colante do tipo AC I com aditivo pronto para uso à base de látex acrílico promoveu uma melhoria considerável na capacidade da argamassa de absorver deformações, possibilitando que a argamassa aditivada seja classificada como S1, ou seja, considerada deformável pela EN 12004-1 (CEN, 2017a).

Já as argamassas colantes do tipo AC I e AC III comuns, sem aditivação, ensaiadas como referência para o estudo, apresentaram resultados de deformação transversal muito inferiores quando comparados com a argamassa AC I aditivada, não podendo ser classificadas como deformáveis por não terem atendido, no geral, o critério mínimo de 2,5mm estabelecido pela EN 12004-1 (CEN, 2017a) para essa classificação.

A propriedade de tempo em aberto apresentou resultados satisfatórios, dentro dos critérios estabelecidos pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a), inclusive para tempo em aberto estendido de 10 minutos, requisito opcional para essa norma. Esse resultado pode ser justificado pela contribuição da formação do filme de polímero na retenção de água, evitando a perda de água por sucção da base ou por evaporação e pela elevada resistência de aderência à tração apresentada pela argamassa colante AC I estudada, amolentada somente com água.

Ademais, a propriedade de deslizamento também foi favorecida com a melhoria na retenção de água e na viscosidade promovida pela modificação da argamassa colante AC I com o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico, apresentando uma redução expressiva, com resultado de 0,3 mm, ou seja, deslizamento muito próximo a zero, sendo zero a situação ideal para esta propriedade.

Contudo, a resistência de aderência à tração em cura normal e submersa não apresentou melhoria significativa após a modificação da argamassa colante AC I com o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico. Esse comportamento pode ter ocorrido por diversos motivos, como tamanho das partículas de polímero, diferentes temperaturas mínimas de formação de filme e de transição vítrea e incompatibilidade do polímero com o meio alcalino ou com outros aditivos existentes nas formulações das argamassas colantes.

Embora a modificação da argamassa colante com o látex acrílico não tenha promovido melhoria significativa na resistência de aderência à tração em cura normal e em cura submersa, os resultados para esta propriedade são considerados satisfatórios, haja vista que os valores para todos os tipos de cura estão acima do critério mínimo de 0,5 MPa para argamassas colantes do tipo AC I, estabelecido pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012a).

Diante do exposto, a modificação da argamassa colante com o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico mostrou-se viável tecnicamente, notadamente para a deformação transversal, demonstrando uma melhoria considerável de mais de 300% na capacidade de absorver deformações da argamassa colante.

Com relação ao programa experimental, houve uma limitação no número de ensaios realizados e, conseqüentemente, das variáveis estudadas, devido aos recursos disponíveis para desenvolvimento da monografia. Por esse motivo, em alguns casos foi realizada apenas a

constatação dos resultados obtidos, como, por exemplo, no resultado do ensaio de resistência de aderência à tração, no qual foram levantadas possibilidades para justificar os resultados encontrados, visto que, somente com os ensaios realizados no programa experimental, não foi possível definir, dentre as possibilidades indicadas, a provável causa desses resultados.

No estudo de viabilidade econômica, constatou-se que o custo da argamassa colante modificada com o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico é viável economicamente, especialmente quando se ambiciona uma argamassa com maior capacidade de absorver deformações, sendo cerca de duas a três vezes menor que o custo de duas argamassas colantes do tipo AC III vendidas como especiais por poderem ser classificadas como deformáveis, conforme a EN 12004-1 (CEN, 2017a).

Perante o exposto, considera-se que este trabalho contribuiu para a tecnologia de assentamento de revestimento cerâmico com a proposta de argamassas colantes modificadas com látex acrílico e atingiu o objetivo proposto, dado que foi verificada a viabilidade técnica e econômica do aditivo pronto para uso que à base de látex acrílico, apresentando, assim, um grande potencial de uso.

Diante de todas as informações contempladas neste trabalho, foram identificados alguns estudos que podem ser desenvolvidos futuramente, conforme segue.

- Realização dos ensaios de resistência de aderência à tração, tempo em aberto, deslizamento e deformação transversal com outras argamassas colantes monocomponentes, com outros aditivos prontos para uso à base de látex acrílico e com diferentes tipos de placas cerâmicas para avaliar se a proposta de modificação da argamassa colante AC I com o aditivo é válida para as diversas marcas de argamassa e de aditivo e para os diferentes tipos de placas cerâmicas existentes no mercado, permitindo a reprodutibilidade e repetitividade da proposta apresentada nesta monografia;
- Execução de protótipos em obra para assentamento do revestimento cerâmico em diferentes tipos de base, como, por exemplo, em alvenarias de bloco cerâmico e de bloco de concreto, ambas sem emboço, e em paredes de concreto sem emboço e realização do ensaio de resistência de aderência à tração em campo para os protótipos executados;
- Tendo em vista que o aditivo pronto para uso à base de látex acrílico é um produto novo, com uso ainda não difundido no mercado de construção civil brasileiro, propõe-se a realização de ensaios de envelhecimento acelerado para

analisar o comportamento do revestimento cerâmico ao longo da sua vida útil prevista.

REFERÊNCIAS

AKIAMA, S. Y.; MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Flexibilidade de argamassas adesivas**. In: II Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (II SBTA). Salvador, 1997. Anais. Salvador, 1997. p. 233-245.

ALMEIDA, A. E. F. S.; SICHIERI, E. P. **Estudo da influência da cura na aderência entre argamassas com adições poliméricas e placas de porcelanato**. In: VI Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (VI SBTA). Anais. Florianópolis, 2005. p. 395-405.

_____. Propriedades microestruturais de argamassas de cimento Portland com adições minerais e poliméricas utilizadas na fixação de porcelanato. **Revista Cerâmica Industrial**, Associação Brasileira de Cerâmica - ABCERAM. São Paulo, v. 52, n. 323, p. 174-179, setembro 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132006000300010&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 13 dezembro 2020.

ANDRADE, R. P.; RESENDE, M. M.; MARANHÃO, F. L. **Avaliação de fatores que influenciam para o destacamento de revestimentos cerâmicos**. In: XII Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (XII SBTA). Anais. São Paulo, 2017. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABCERAM). **Informações técnicas - processos de fabricação**. Disponível em: <<https://abceram.org.br/processo-de-fabricacao/>>. Acesso em: 15 agosto 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de Revestimentos de Argamassa**. São Paulo, 2002, 104 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO (ANFACER). **Panorama 2020**. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br>>. Acesso em: 12 julho 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13528-1: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação**. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 13753: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1996a.

_____. **NBR 13754: Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1996b.

_____. **NBR 13755:** Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante — Projeto, execução, inspeção e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 13816:** Placas cerâmicas para revestimento – Terminologia. Rio de Janeiro, 1997a.

_____. **NBR 13817:** Placas cerâmicas para revestimento – Classificação. Rio de Janeiro, 1997b.

_____. **NBR 13818:** Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios . Rio de Janeiro, 1997c.

_____. **NBR 14081-1:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012a.

_____. **NBR 14081-2:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 2: Execução do substrato padrão e aplicação da argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 14081-3:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica. Parte 3: Determinação do tempo em aberto. Rio de Janeiro, 2012b.

_____. **NBR 14081-4:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2012c.

_____. **NBR 14081-5:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 5: Determinação do deslizamento. Rio de Janeiro, 2012d.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013c.

BAÍÁ, L. L. M; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa.** 5ª edição. São Paulo: O Nome da Rosa, 2017. 76 p.

BARROS, M. M. S. B. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios.** 1996. 422 p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BAUER, R. J. F.; RAGO, F. Expansão por umidade de placas cerâmicas para revestimento. **Revista Cerâmica Industrial**, Associação Brasileira de Cerâmica - ABCERAM. São Paulo, v. 5, n. 3, p. 41-45, maio/2020. Disponível em:

<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657067f8c9d6e028b4625/pdf/ci-5-3-587657067f8c9d6e028b4625.pdf>>. Acesso em: 13 fevereiro 2021.

BELLEI, P. **Determinação do tempo de utilização por viscosimetria de argamassas colantes.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

BORGES, C. A. M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil.** 2008. 251 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

BRITZ, A. A. **Desempenho na Prática**. 2019. Apresentação de aula – Associação Empresarial de Joinville (ACIJ). Joinville, 2018.

BUCHER, H. R. E.; NAKAKURA E. H. **A capacidade de deformação de Argamassas Colantes a base de Cimento Portland**. In: I Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (I SBTA). Goiânia, 1995. Anais. Goiânia, 1995. p. 167-176.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Catálogo de inovações na construção civil**. Brasília/DF. Agência CBIC, 2016. 137 p.

_____. **Desempenho de edificações habitacionais** - Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. 2ª edição. Brasília/DF. Agência CBIC, 2013. 307 p.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Entrevista: Desplacamento cerâmico** - Construção civil defende rápida resolução. Agência CBIC, 2019. Disponível em: <<https://cbic.org.br/entrevista-desplacamento-ceramico-construcao-civil-defende-rapida-resolucao/>>. Acesso em: 12 julho 2020.

CAMPANTE, E. F.; BAÍA, L. L. M. **Projeto e execução de revestimento cerâmico**. 3ª edição. São Paulo: O Nome da Rosa, 2017. 85 p.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. N. **Importância dos materiais de aderência dos revestimentos de argamassa**. In: IV Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (IV SBTA). Brasília, 2001. Anais. Brasília, 2001. p. 43-67.

CARASEK, H. Capítulo 28: Argamassas. In: ISAIA, G.C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3ª edição. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2017. volumes 1 e 2. p. 39-90.

CENTRO CERÂMICO DO BRASIL (CCB). **Programa Setorial da Qualidade de Placas Cerâmicas para Revestimento - Relatório setorial nº 035/2020**. Santa Gertrudes/SP. Dezembro 2020. 62 p.

COSTA, M. R. M. M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

COSTA, M. R. M. M.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. **Análise do deslizamento da argamassa colante através do seu comportamento reológico**. In: VII Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (VII SBTA). Recife, 2007. Anais. Recife, 2007.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **NP EN 12004-1**: Versão Portuguesa - Cola para ladrilhos. Parte 1: Requisitos, avaliação e verificação da regularidade do desempenho, classificação e marcação. Bruxelas, 2017a.

_____. **EN 12004-2**: Adhesives for ceramic tiles - Part 2: Test methods. Bruxelas, 2017b.

FELIXBERGER J. K. **Stresses in the composite system: tile – fixing mortar – base**. Anais do IX Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico – Qualicer, 2006. Castellon, Espanha. 2006. p. 191-204.

GODOY, E. H. P.; BARROS M. M. S. B. **Contribuição ao Estudo do Teor de Polímero nas Propriedades das Argamassas de Cimento Portland**. In: III Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (III SBTA). Vitória, 1999. Anais. Vitória, 1999. p. 249-265.

GOLDBERG, R. P. **Revestimientos exteriores con adherencia directa de azulejos cerámicos, piedra y ladrillos caravista** – Manual de diseño técnico. Laticrete International. 1998. 200 p.

GONÇALVES JÚNIOR, M. A.; BARROS, M. M. S. B. **Estudo da influência de polímeros em argamassa colante**. Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo – Resumos do 14º Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica, BT/34. São Paulo, 2012. 5 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 13006: Ceramic tiles** – Definitions, classification, characteristics and marking. Geneva, Suíça. 2018.

JUNGINGER, M. **Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo. São Paulo, 2003.

KUDO, E. K. **Caracterização reológica de argamassas colantes**. 2012. 141 p. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

LORDSLEEM JR., A. C. Y.; SOUZA, J. C. S.; MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Resistência de aderência de revestimentos cerâmicos**. In: II Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (II SBTA). Salvador, 1997. Anais. Salvador, 1997. p. 258-268.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **O projeto e a tecnologia construtiva na produção dos revestimentos de argamassa de fachada**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998. 37 p.

MANSUR, A. A. P. **Mecanismos físico-químicos de aderência na interface argamassa modificada com polímeros/cerâmica de revestimento**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

MARANHÃO, F. L.; JOHN, V. M. **Avaliação da Influência do Teor de Umidade na Flexibilidade de Argamassas Colantes**. In: IX Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (IX SBTA). Anais. Belo Horizonte, 2011.

MARTIN, F. **Contribuição para a perícia de engenharia na identificação de patologias em revestimento cerâmico de fachadas**. 2013. 174 p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT. São Paulo, 2013.

MATSUSATO, M. **Estudo do comportamento de argamassas colantes com aditivação de látex acrílico**. 2007. 107 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

MEDEIROS, J. S. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. 1999. 458 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. São Paulo, 1999.

MEDEIROS, J. S.; MELLO, M. B.; ASAMURA, R. E. **Estudo experimental da influência da deformação da base na aderência de revestimentos cerâmicos**. In: XII Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (XII SBTA). Anais. São Paulo, 2017. 9 p.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia e projeto de revestimento cerâmico de fachada de edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/246. São Paulo, 1999. 28 p.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/359. São Paulo, 2004. 20 p.

OLIVEIRA, L. A.; SAHADE, R. F.; VARELLA, L. A. M.; TEIXEIRA, E. S. L. **Incidência de descolamento em revestimentos cerâmicos aderidos em fachadas: contribuição para o projeto e a produção**. In: 1º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos (TECSIC). Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), Campinas, 2017.

PÓVOAS, Y.V. **Tempo em aberto da argamassa colante: método de medida e influência dos aditivos HEC e resina PVAc**. 1999. 156 p. Dissertação (Mestrado) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PÓVOAS, Y. V.; JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Normalização de argamassas colantes**. In: II Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (II SBTA). Anais. Salvador, 1997. p. 499-509.

_____. Influência da perda de água por evaporação na resistência à aderência entre argamassa colante e placa cerâmica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 7-18, abril/junho 2002.

PÓVOAS, Y. V.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. **Análise do filme superficial da argamassa colante no estado fresco**. In: VI Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (VI SBTA). Anais. Florianópolis, 2005. p. 369-381.

RIBEIRO, F. A. **Especificação de juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios: Levantamento do Estado da Arte**. 2006. 158 p. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

SABBATINI, F. H.; BARROS, M.M.S.B. **Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria: diretrizes básicas**. São Paulo, Convenio EPUSP/CPqDCC – ENCOL, 2001. (texto publicado a partir do Relatório Técnico R6-06/90).

SILVA, C. O. **Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante**. 2003. 198 p. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SILVA, D. A. **Efeitos dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento Portland**. 2001. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. 263p.

SILVA, D. A.; FREDEL, M. C.; ROMAN, H. R.; ALARCON, O. E. **Influência do teor de polímeros nas propriedades adesivas das argamassas colantes**. In: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis, abril 1998. 8 p.

SILVA, D. A.; ROMAN, H. R.; SILVA, A. H. **Efeito dos polímeros MHEC e EVA em algumas propriedades das argamassas colantes**. In: III Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (III SBTA). Vitória, 1999. Anais. Vitória, 1999. p. 425-440.

SILVA, P. S. **Patologia: Descolamento Cerâmico**. 2018. Apresentação de aula – Associação das Construtoras do Vale do Paraíba (ACONVAP), São José dos Campos, 2018.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO (SINDUSCON-SP). **Deslocamento cerâmico é problema setorial e requer mobilização da cadeia produtiva**. Tecnologia e Qualidade. Redação SindusCon-SP. Disponível em: <<https://sindusconsp.com.br/deslocamento-ceramico-e-problema-setorial-e-requer-mobilizacao-da-cadeia-produtiva/>>. Acesso em: 29 dezembro 2020.

SOUZA, R. **O conceito de desempenho aplicado às edificações**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2015. 52 p.

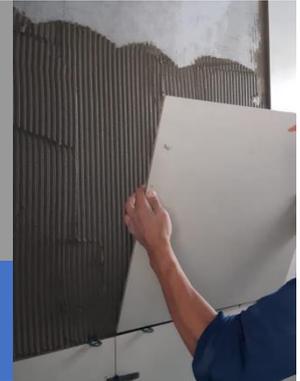
STOLZ, C. M.; MASUERO, A. B.; KIRCHHEIM, A. P. Dispositivo para ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento em revestimentos: desenvolvimento e validação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 185-196, outubro/dezembro 2016.

TEMOCHE-ESQUIVEL, J. F. **Avaliação de uso de revestimento cerâmicos em fachadas de edifícios residenciais multifamiliares**. Estudo de Caso: São Paulo, Zona Sul. 1994-1998. 2002, 407 p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

TEMOCHE-ESQUIVEL J. F.; RIBEIRO F. A.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Avaliação da influência das condições de execução do emboço na resistência de aderência do revestimento cerâmico externo**. In: VI Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (VI SBTA). Anais. Florianópolis, 2005. p. 454-465.

ANEXO 1

CHECKLIST PARA CONSTRUTORAS PARA HOMOLOGAÇÃO DE ADITIVOS À BASE DE LÁTEX ACRÍLICO PARA MODIFICAÇÃO DE ARGAMASSA COLANTE AC I



Nome da obra: Nome da obra

Data: ____/____/____

ESTUDOS INICIAIS - VIABILIDADE TÉCNICA

NECESSIDADE: Inserir a necessidade identificada, contextualizar o problema e descrever o objetivo de se desenvolver a proposta de modificação da argamassa colante AC I com aditivo pronto para uso à base de látex acrílico.

LEVANTAMENTO DE FORNECEDORES: Realizar o levantamento dos aditivos prontos para uso à base de látex acrílico para modificação de argamassas colantes existentes no mercado, a qualificação dos fornecedores e verificar a disponibilidade de atendimento.

LEVANTAMENTO DE INSUMOS NECESSÁRIOS E SOLICITAÇÃO DE ENSAIOS DOS FORNECEDORES:

- Argamassa colante do tipo AC I;
- Aditivo pronto para uso à base de látex acrílico;
- Placa cerâmica;
- Mão de obra;
- Equipamentos (elevador cremalheira, etc.).

PARÂMETROS PARA ANÁLISE DO ADITIVO À BASE DE LÁTEX ACRÍLICO¹⁵

Propriedade	Parâmetro
Teor de sólidos (%) ¹⁶	6,5 a 7,5
Densidade (g/cm ³)	0,95 a 1,05
Viscosidade (cps)	5 a 100
pH	7 a 9

¹⁵ Os parâmetros apresentados foram baseados em um dos aditivos estudados nesse trabalho.

¹⁶ O teor de sólidos informado é composto por partículas de polímeros acrílicos e por demais cargas sólidas existentes na composição do aditivo à base de látex acrílico.

ESTUDOS INICIAIS - VIABILIDADE ECONÔMICA

Realizar o levantamento do custo dos insumos necessários, considerando os recursos materiais, humanos, as interferências técnicas e a gestão do canteiro de obras.

Comparar o custo da proposta de utilização do aditivo pronto para uso à base de látex acrílico para modificação de argamassa colante AC I com o custo do processo para assentamento de placa cerâmica já empregado pela empresa, levando em consideração a viabilidade técnica da proposta analisada para homologação.

AValiação Experimental - EnsaioS de Laboratório

Requisito	Método de ensaio	Critério
<input type="checkbox"/> Tempo em aberto: Inserir valor	NBR 14081-3 (2012)	≥ 15 minutos
Resistência de aderência à tração		
<input type="checkbox"/> Cura normal: Inserir valor	NBR 14081-4 (2012)	≥ 0,5 MPa
<input type="checkbox"/> Cura submersa: Inserir valor		
<input type="checkbox"/> Cura em estufa: Inserir valor		
<input type="checkbox"/> Deslizamento: Inserir valor	NBR 14081-5 (2012)	≤ 2 mm
<input type="checkbox"/> Deformação transversal: Inserir valor	EN 12004-2 (2017)	S1 (deformável): ≥ 2,5 mm e < 5 mm S2 (altamente deformável): ≥ 5 mm

PROtÓTIPO EM OBRA - EnsaioS de Campo

Falha e dificuldade	Solução
Inserir a falha ou dificuldade	É possível solucioná-la? Como?
Inserir a falha ou dificuldade	É possível solucioná-la? Como?
Inserir a falha ou dificuldade	É possível solucioná-la? Como?

VERIFICAÇÃO EMPÍRICA DO TEMPO EM ABERTO: Inserir o valor medido em minutos. Após aplicar a argamassa colante na base/substrato de assentamento do revestimento cerâmico, anotar o tempo em que a argamassa perde a plasticidade e a capacidade de aderência.

ENSAIO DE CAMPO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS (CRITÉRIO PARA PAREDES INTERNAS: ≥ 0,3 MPa, CONFORME NBR 13754, 1996): Inserir o valor.

IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA

OBRA PILOTO: Recomenda-se realizar a implantação em obra piloto da argamassa colante AC I modificada com aditivo pronto para uso à base de látex acrílico, caso seja verificada a viabilidade das etapas anteriores.

Ao aplicar a tecnologia em escala de uma obra, é possível identificar problemas e deficiências mascaradas pela pequena escala da fase de protótipo e realizar as correções e o aperfeiçoamento da tecnologia.

Problema e deficiência	Correção
Inserir o problema ou deficiência	Correção adotada
Inserir o problema ou deficiência	Correção adotada
Inserir o problema ou deficiência	Correção adotada