

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Ricardo Smejoff

**PROPOSTA DE SOLUÇÃO OTIMIZADA DE CURA DE
REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS EM FACHADAS EXTERNAS**

Porto Alegre

2021

RICARDO SMEJOFF

**PROPOSTA DE SOLUÇÃO OTIMIZADA DE CURA DE
REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS EM FACHADAS EXTERNAS**

Trabalho de Conclusão de Curso a ser apresentado à Comissão de Graduação do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Luis Carlos Bonin

Porto Alegre
Novembro de 2021

RICARDO SMEJOFF

**PROPOSTA DE SOLUÇÃO OTIMIZADA DE CURA DE
REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS EM FACHADAS EXTERNAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 26 de novembro de 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luis Carlos Bonin (UFRGS)

M. Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Profa. Ana Paula Maran (UFSM)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Henrique Simioni Sasso (UFRGS)

Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao Prof. Luis Carlos Bonin por todo o seu suporte, dedicação e auxílio permanente não só ao longo da elaboração deste trabalho, mas durante toda a minha graduação, compartilhando sempre seu enorme conhecimento e domínio teórico e técnico sobre os mais variados assuntos da construção civil.

Agradeço ao Prof. José Alberto Azambuja, pelo conhecimento e pelas dicas de raciocínio do tema que me auxiliaram na dissertação deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Eduardo e Rosemere, pelos valores transmitidos desde a minha infância e por terem participado ativamente da construção do profissional e da pessoa que estou me tornando.

Agradeço ao meu irmão Arthur, meu exemplo a ser seguido, por ter me encorajado a não desistir do meu objetivo durante a faculdade.

Agradeço à minha madrastra Amanda, pelo enorme suporte desde pequeno e durante os momentos difíceis do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à minha namorada Lais, pelo apoio incondicional na reta final de minha graduação e por ser meu esteio de sustentação nos momentos mais desgastantes deste trabalho.

Agradeço à Ângela, que está com a família desde que nasci, e que sempre cuidou de mim durante meu crescimento.

Agradeço a meu amigo Cesar, por me proporcionar o incentivo inicial para dissertar, sem o qual este trabalho não seria possível.

Agradeço a todos os colegas de faculdade, amigos e família, que estiveram presentes ao longo de minha árdua jornada na graduação de Engenharia Civil da UFRGS.

O sucesso não é a chave para a felicidade. A felicidade é a chave para o sucesso.

Albert Schweitzer

RESUMO

A cura de revestimentos argamassados de fachadas não tem sua importância reconhecida dentro da construção civil. Existe escassez de referencial bibliográfico e falta de conhecimento técnico dos profissionais responsáveis pela maioria dos canteiros de obras sobre as consequências da falta de um procedimento adequado de cura sobre as propriedades dos revestimentos argamassados. Diante deste contexto, foi elaborada uma proposta inicial do protótipo de um equipamento capaz de realizar um procedimento de cura, necessário nos revestimentos à base de argamassas cimentícias em fachadas. O desenvolvimento deste equipamento iniciou em um exercício realizado em uma disciplina do curso de Engenharia Civil com foco na inovação em tecnologia de construção. No exercício foi definida uma oportunidade para inovar, tendo sido escolhida a presença de fissuras em revestimentos argamassados aplicados em fachadas. A seguir foi estudado o problema real responsável pela fissuração, tendo sido apontada como causa mais importante a cura deficiente do revestimento de argamassa. Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a cura de materiais cimentícios tendo sido escolhida a cura úmida por aspersão de névoa de água a solução mais adequada para a cura de revestimentos argamassados aplicados em fachadas. Verificou-se também que a cura úmida deve ser feita por, pelo menos, três dias para a camada de chapisco e sete dias para a camada de emboço para que ambas possam desenvolver de maneira completa suas principais propriedades: resistência de aderência e resistência à fissuração. Constatou-se a inadequação da aspersão de água com pulverizador manual, já praticada em algumas obras, pois ela exige o acesso a qualquer parte do revestimento a qualquer momento para ser feita a aspersão e, mesmo quando isto acontece, como em obras com andaimes fachadeiros, o procedimento é totalmente dependente da diligência do trabalhador cumprir um complexo programa de molhagem para se obter a cura satisfatória do revestimento argamassado. Para superar este problema foi proposta uma solução automatizada, independente da diligência do trabalhador e adequada para fachadas de grande altura onde são utilizados andaimes suspensos, atendendo ainda a condição de ser constituída apenas de componentes já disponíveis no mercado nacional. Um protótipo do equipamento foi delineado, porém a indisponibilidade do acesso aos laboratórios da universidade durante o período da pandemia resultou na impossibilidade de definir a configuração operacional do equipamento, como originalmente pretendido.

Palavras-chave: revestimento argamassado; fachada; equipamento para cura.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeito da duração da cura na permeabilidade da pasta cimentícia.....	19
Figura 2 – Poros capilares para, à esquerda, situação de alta permeabilidade e, à direita, baixa permeabilidade.....	20
Figura 3 – Efeito da cura na resistência à compressão do concreto.....	21
Figura 4 – Efeito da temperatura nos resultados de resistência à compressão de argamassas e concretos.....	24
Figura 5 – Influência da temperatura na resistência de aderência do revestimento.....	24
Figura 6 – Tempo para atingir uma consistência adequada até certa profundidade de revestimento em função da umidade relativa.....	27
Figura 7 – Influência do vento na resistência de aderência do sistema de revestimento.....	28
Figura 8 – Influência do tipo e tempo de cura na resistência de aderência superficial à tração (tensão máxima suportada pelo emboço) aos 4 meses	29
Figura 9 – Tempo de cura do chapisco.....	30
Figura 10– Diferenças entre problema aparente e problema real.....	33
Figura 11 – Causas das fissuras.....	34
Figura 12 – Árvore de causas e eventos.....	34
Figura 13 – Tripé da fissura do revestimento argamassado.....	36
Figura 14 – Balancim manual.....	37
Figura 15 – Andaime fachadeiro.....	38
Figura 16 – Operador realizando cura de parede de concreto com uso de pulverizador.....	39
Figura 17 – Protótipo de cura de revestimento de argamassa em fachadas.....	40
Figura 18 – Exemplo de temporizador comercializado no mercado.....	40
Figura 19 –Tubos de PEX para água.....	41
Figura 20 – Aspersiones de névoa d’água.....	42
Figura 21 – Válvula redutora de pressão de água	43
Figura 22 – Exemplo de bomba de recalque.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração.....	20
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 DIRETRIZES DO ESTUDO	13
2.1 QUESTÃO DE ESTUDO	13
2.2 OBJETIVOS DO ESTUDO	13
2.2.1 Objetivo principal	13
2.2.2 Objetivos secundários	13
2.3 DELIMITAÇÕES	13
2.4 LIMITAÇÕES	14
2.5 ESTRUTURA DO TEXTO	14
3 A CURA DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA	15
3.1 DEFINIÇÃO DE CURA	15
3.2 PROCEDIMENTOS DE CURA	15
3.3 A CURA EM DIFERENTES ETAPAS DA EXECUÇÃO DO REVESTIMENTO	17
4 BENEFÍCIOS DA ADEQUADA EXECUÇÃO DA CURA	19
4.1 REDUÇÃO DA PERMEABILIDADE	19
4.2 AUMENTO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS	20
4.3 REDUÇÃO DA RETRAÇÃO E FISSURAÇÃO	21
5 A RELAÇÃO ENTRE CONDIÇÕES AMBIENTAIS E A CURA	23
5.1 TEMPERATURA DO AR E INSOLAÇÃO	23
5.2 UMIDADE RELATIVA DO AR	25
5.3 VENTILAÇÃO	27
5.4 ABSORÇÃO DE BASE	28
5.5 TEMPO DE CURA	29
5.6 INTERVALOS DE MOLHAGEM	30
6 PROPOSTA DE SOLUÇÃO OTIMIZADA PARA CURA DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA	32
6.1 BASES CONCEITUAIS QUE ORIENTARAM O DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO	32
6.2 DELINEAMENTO DO CONJUNTO DE COMPONENTES DA SOLUÇÃO	39
6.3 DEFINIÇÕES DE PROJETO DA SOLUÇÃO	43

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

Dentre os processos realizados em canteiros de obra na construção civil, pode-se afirmar que o procedimento de cura de materiais constituídos de cimento Portland é de fundamental importância para a obtenção de componentes e elementos construtivos sólidos e seguros para o usuário final. Entretanto, no que diz respeito à cura de revestimentos argamassados de fachadas, não é dada a devida importância por parte dos profissionais da construção no Brasil, tornando-se um procedimento frequentemente negligenciado nos canteiros de obra.

Isso se deve a inúmeros fatores conduzidos de maneira irresponsável pelas construtoras, tais como a necessidade de redução de prazos da obra ou a redução de custos com o trabalhador encarregado pela realização da cura do revestimento argamassado e com a infraestrutura de proteção mais elaborada para trabalho em altura. Tudo isso, somado à parcela de gestores de obra que até mesmo desconhecem a necessidade da cura do revestimento argamassado, leva essas empresas a optar pela não realização da cura.

A falta de um referencial bibliográfico nacional adequado sobre o procedimento de cura de revestimentos argamassados em fachadas (os estudos ainda são incipientes), provoca a falta de conhecimento técnico, acarretando recorrentes manifestações patológicas nas edificações construídas. Estas manifestações patológicas podem representar riscos tanto à integridade mecânica dos revestimentos argamassados em fachadas quanto à durabilidade, à capacidade resistente perante solicitações, à estética e, de maneira mais grave, à segurança de qualquer um que circule próximo às edificações.

Uma cura mal executada em revestimentos argamassados em fachadas provavelmente vai gerar fissuração por retração da argamassa do revestimento ou a perda de aderência do revestimento em relação à superfície onde ele foi aplicado (podendo provocar descolamentos e deslocamentos no revestimento), pois normalmente esses revestimentos possuem cimento Portland na sua composição, tanto na argamassa de chapisco como na argamassa de emboço.

As normas técnicas publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, que definem padrões para uma extensa gama de serviços e processos de construção, ainda se mostram bastante vagas com relação à cura, não existindo uma norma técnica específica para orientar a execução deste procedimento técnico nos canteiros de obra. A NBR 7200 (ABNT, 1998), que trata do procedimento de execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas, apenas menciona a

necessidade de cura dos revestimentos de argamassa em determinadas condições, mas o texto normativo não descreve o procedimento de cura a ser praticado.

Até alguns anos atrás, essa limitação de informações técnicas não seria vista como um problema para as construtoras, visto que as obras eram pautadas pela simplificação dos processos envolvidos em um mercado onde o cumprimento de padrões técnicos não era considerado obrigatório.

Atualmente a construção civil tem se mostrado cada vez mais exigente com a padronização de processos, com a busca por melhorias contínuas, por maior controle de qualidade e satisfação do cliente.

Um fator relevante para esta mudança foi a entrada em vigor do Código de Defesa do Consumidor (BRASIL, 1990) na última década do século XX, que facilitou ao usuário final dos empreendimentos cobrar a conformidade das edificações em relação a todos os padrões técnicos normalizados.

Outro fato que também impulsionou a busca por melhorias por parte das construtoras em seus processos foi a NBR 15575 (ABNT, 2013), a qual prescreve pelo menos 40 anos de vida útil de projeto para vedações verticais externas (fachadas) e 20 anos para revestimentos aderidos.

Além disso, há a crescente disseminação de informações pelas redes sociais, que proporcionam a propagação de críticas em casos de descumprimentos de normas ou de serviços mal executados ou até que representem algum risco à integridade de usuários das edificações e demais pessoas.

Torna-se necessária, assim, a adoção de novas soluções construtivas que visem à maior eficiência em questão de estética, funcionalidade, custos, prazos e segurança.

Neste sentido foi definido o tema norteador deste Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, qual seja, o desenvolvimento do protótipo de um equipamento capaz de realizar um procedimento de cura, necessário nos revestimentos à base de argamassas cimentícias em fachadas. O delineamento preliminar deste protótipo foi concebido durante a disciplina de Inovação na Construção, ao longo do curso de graduação na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

2 DIRETRIZES DO ESTUDO

As diretrizes para desenvolvimento do estudo estão descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE ESTUDO

Como pode ser melhorada a cura de revestimentos de argamassa em fachadas externas?

2.2 OBJETIVOS DO ESTUDO

Os objetivos do estudo estão classificados em principal e secundários, e estão descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

Propor o projeto de um protótipo de solução otimizada para cura de revestimentos de argamassas em fachadas externas.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho consistem em:

- identificar os diferentes procedimentos de cura de materiais cimentícios e justificar a escolha por um deles para a cura de revestimentos argamassados de fachadas;
- identificar os benefícios da cura nas propriedades dos revestimentos argamassados em fachadas;
- identificar as condições ambientais a serem consideradas na configuração operacional de um procedimento de cura de revestimentos argamassados de fachadas.

2.3 DELIMITAÇÕES

O presente estudo se propõe a analisar a cura de revestimentos argamassados em fachadas. Não são abordados os revestimentos aplicados em áreas internas das edificações

por não representarem situações críticas de exposição e de degradação, além do fato de já existirem soluções para esses ambientes internos.

2.4 LIMITAÇÕES

O desenvolvimento do trabalho foi limitado pelas consequências da pandemia causada pela COVID-19, que restringiu o acesso aos laboratórios, não permitindo serem testados alguns parâmetros analisados ao longo do desenvolvimento da solução automatizada proposta.

2.5 ESTRUTURA DO TEXTO

O texto está estruturado em sete capítulos.

No capítulo 1, é feita uma breve introdução do tema, mostrando um panorama da construção civil a respeito da cura de revestimentos argamassados em fachadas nos canteiros de obra.

Neste capítulo 2, estão apresentadas as diretrizes do estudo, incluindo a questão de estudo, os objetivos principal e secundários, as delimitações e limitações do estudo.

No capítulo 3, está abordada a cura de revestimentos de argamassa, sendo apresentada sua definição teórica, as diversas maneiras de se executar a cura, e camadas de revestimento de argamassa que devem ser curadas no processo.

No capítulo 4, são apresentados os benefícios da adequada execução da cura.

No capítulo 5, são discutidas as condições ambientais que justificam a necessidade de cura dos revestimentos argamassados em fachadas.

No capítulo 6, está descrita a proposta de solução de cura desenvolvida.

No capítulo 7, por fim, constam as considerações finais a respeito de todo o trabalho realizado.

3 A CURA DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

3.1 DEFINIÇÃO DE CURA

As argamassas de cimento Portland ou mistas de cimento Portland e cal hidratada são misturas que necessitam de água para que suas reações de endurecimento ocorram.

De acordo com Neville (1997), pode-se definir cura como todos os procedimentos envolvidos que visam à hidratação do cimento Portland. Já Ungericht e Piovesan (2011) complementam o conceito dizendo que esse processo ocorre em ambientes com alta umidade relativa do ar ou completamente submersos em água, a fim de evitar sua evaporação e manter a saturação da argamassa cimentícia até que os vazios dela sejam preenchidos pelos produtos hidratados do cimento.

A cura, portanto, é um procedimento importante, que conserva a água utilizada na mistura da argamassa e repõe a água perdida ao longo do processo de hidratação do cimento Portland, seja pela evaporação da água na superfície do revestimento de argamassa, seja pela sucção da base sobre a qual a argamassa é aplicada. Dessa forma, é responsável por garantir o adequado endurecimento e consequente ganho de resistência mecânica e outras propriedades essenciais ao seu desempenho adequado, como evitar a fissuração.

Segundo Pereira, Carasek e Francinete (2005), a cura confere aumento de resistência de aderência à tração e redução na permeabilidade e na absorção da argamassa.

3.2 PROCEDIMENTOS DE CURA

O procedimento de cura pode ser realizado de diferentes maneiras. Dentre as principais, é possível citar a cura ao ar, a cura química, a cura térmica, a cura por imersão e a cura por aspersão.

A cura ao ar limita-se a expor o material cimentício às condições ambientais em que está, o que configura um certo risco, já que a falta de controle dessas condições pode gerar um resultado inesperado. Para se obter as melhores propriedades do material cimentício por meio da cura ao ar, seria necessário, segundo Zietz e Graupmann (2017), que houvesse vários fatores combinados, tais como precipitação durante os primeiros 28 dias de endurecimento do material cimentício, alta umidade relativa do ar e temperatura ambiente com variações inferiores a 11°C durante o mesmo dia.

A cura química se vale da aplicação de uma película, geralmente polimérica, com o intuito de manter a água de amassamento presente na mistura sem que ela se perca por evaporação durante o endurecimento da argamassa. Esse procedimento geralmente é mais utilizado para pisos, não se tendo registros para os casos de revestimentos de paredes. Porém, esse tipo de cura apresenta um grande problema na sua execução: revestimentos de paredes são normalmente constituídos de camadas aderidas umas sobre as outras, e a película polimérica utilizada na cura pode prejudicar essa aderência se não for completamente removida. Essa remoção se torna ainda mais complicada por ela penetrar nos poros da superfície do revestimento, os quais têm papel fundamental na aderência das camadas do revestimento.

Já a cura térmica é mais voltada para situações com ambiente extremamente controlado, a partir de câmaras de confinamento aquecidas. É bastante recomendada para o caso de pré-fabricados, pois acelera o endurecimento do material cimentício. Não é recomendada para argamassas, por ser uma técnica cuja função é acelerar o endurecimento do material.

A cura por imersão, como a própria denominação diz, se trata de imergir o material cimentício de maneira parcial ou completa em tanques de água. De acordo com Diniz et al. (2015), esta deve ser realizada a uma temperatura de 25°C, pois protege o material cimentício de retrações, agentes agressivos do meio externo e ainda da perda de umidade. Esse tipo de procedimento de cura, entretanto, não é possível de ser realizado para revestimentos de argamassa produzidos no canteiro de obras, aplicando-se apenas à pré-fabricação

A cura por aspersão é a prática de cura de revestimentos de argamassa mais comum nos canteiros de obra do país. Isso ocorre especialmente pela sua maior praticidade.

Segundo Ungericht e Piovesan (2011), a cura por aspersão é definida como um procedimento que umedece a superfície da argamassa por meio do lançamento de água sobre ela a fim de repor a água perdida tanto por evaporação na superfície como por sucção pela base onde a argamassa foi aplicada. É o método mais eficiente para cura de revestimentos de paredes.

A melhor prática para a cura por aspersão é realizada por meio de névoa-d'água borrifada na região próxima ao material que se deseja curar. A aspersão de névoa representa a melhor alternativa, pois apresenta gotículas muito pequenas, incapazes de causar danos significativos ao revestimento recém aplicado, ao passo que jatos de água,

ou até mesmo gotas comuns, escorrem pela superfície, lavando-a e podendo desagregar a argamassa, comprometendo seu desempenho.

Para que esse serviço seja realizado da maneira ideal, deve-se evitar ciclos de secagem e molhagem, prática muito comum nos canteiros, em que o funcionário encarregado da cura molha o material intensamente, mas com pouca frequência, levando à saturação completa do revestimento e à completa secagem por diversas vezes. Isso se mostra como um problema grave, visto que o material cimentício, para que sua cura seja adequadamente feita, deve estar constantemente saturado, e não de maneira intermitente.

Há, ainda, um procedimento, que não se trata de um tipo de cura, mas pode auxiliar a cura do material, que seria o sombreamento. Por definição, se trata de cobrir a superfície com algum material, como uma simples tela revestindo o andaime fachadeiro, por exemplo, para reduzir a exposição a fortes insolações ou ventos muito intensos que provocam nos materiais cimentícios os mesmos efeitos que os procedimentos de cura procuram controlar.

3.3 A CURA EM DIFERENTES ETAPAS DA EXECUÇÃO DO REVESTIMENTO

A cura deve ser realizada em duas etapas, visto que o revestimento argamassado em superfícies verticais é formado por duas camadas distintas e com propriedades e funções específicas, sendo necessária a cura de ambas para que o revestimento final como um todo possa trabalhar em conjunto e desempenhar suas características com máximo aproveitamento. Essas duas camadas dos revestimentos são o chapisco e o emboço.

Antigamente, havia mais uma camada (totalizando 3 camadas) de argamassa fina para o acabamento, o reboco. Com o passar do tempo, a camada de reboco foi sendo substituída por outras soluções de acabamento superficial dos revestimentos argamassados, contando principalmente com tecnologias disponibilizadas pelos sistemas de pintura, como as massas niveladoras e as pinturas texturizadas. Além disso, o efeito da cura em reboco é bem menos significativo, por ser uma camada constituída por uma argamassa mais pobre em cimento Portland, o que nos leva a priorizar apenas o chapisco e emboço neste estudo.

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013 p.3), o chapisco é definido como: “[...] camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento”.

O chapisco é a primeira camada do revestimento de argamassa, fica em contato com o substrato (também chamado de base), que serve de suporte e é onde a argamassa ficará aderida. O substrato pode ser uma parede de concreto ou alvenaria, etc. É possível dizer que o chapisco é basicamente uma camada responsável pela aderência em si, até por apresentar maior rugosidade, determinando principalmente a resistência de aderência do revestimento argamassado (ALVES, 2002).

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013, p.3), a definição de emboço é: “[...] camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final”.

É a segunda camada e é encarregada de proteger o substrato de condições ambientais agressivas e regularizar a superfície, visando à instalação de algum tipo de revestimento decorativo como pintura, porcelanato, cerâmica ou pastilhas, por exemplo.

Ambas as camadas requerem a adequada hidratação do cimento Portland presente em sua composição, motivo pelo qual devem ser submetidas a algum procedimento de cura. De acordo com estudos de Longhi e Masuero (2011), a camada de chapisco é uma camada do revestimento mais rápida de se executar o processo de cura: aproximadamente 3 dias. Já Pereira, Carasek e Francinete (2005) discorrem que a camada de emboço requer uma hidratação um pouco mais prolongada e cuidadosa: de cerca de 7 dias de umedecimento.

4 BENEFÍCIOS DA ADEQUADA EXECUÇÃO DA CURA

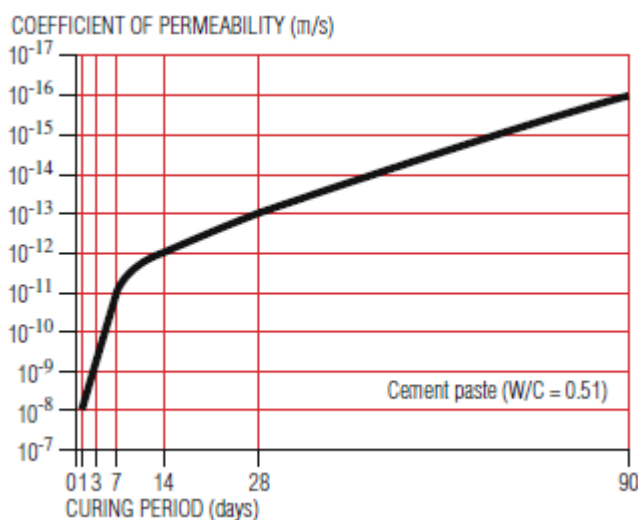
4.1 REDUÇÃO DA PERMEABILIDADE

Sabemos que um dos principais efeitos da cura nos revestimentos argamassados está relacionado à redução da permeabilidade, a qual está diretamente ligada à porosidade do material.

Foi constatado, contudo, que a velocidade dessa redução pode variar de acordo com a umidade relativa do ambiente a que a argamassa está exposta. Em uma pesquisa de Ortega et al. (2009), foi descoberto que amostras endurecidas à umidade relativa de 100% diminuem a porosidade logo nas idades iniciais, enquanto amostras submetidas à umidade de 65% têm a diminuição a partir de um prazo maior, entre 28 e 90 dias.

A redução da permeabilidade do material cimentício, na figura abaixo, é ilustrada por meio do seu coeficiente de permeabilidade, a partir do aumento de tempo da cura úmida.

Figura 1 – Efeito da duração da cura na permeabilidade da pasta cimentícia



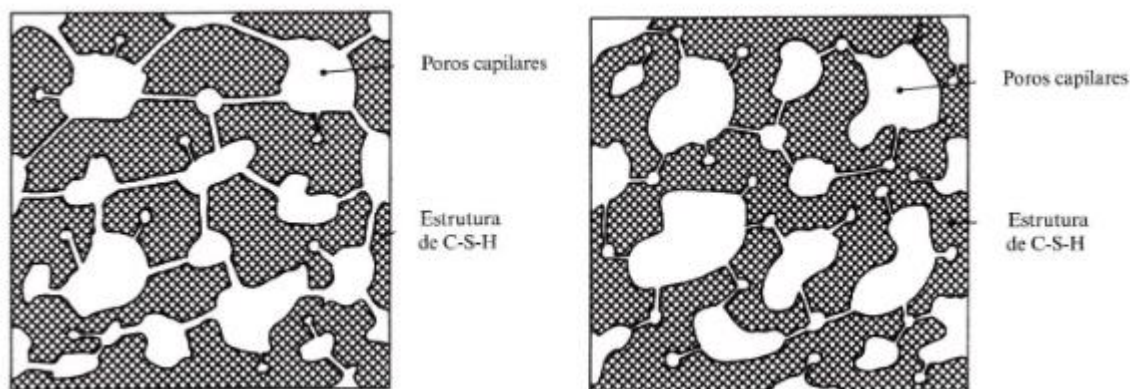
Fonte: Curing of Concrete (2006).

De acordo com Pereira, Carasek e Francinete (2005), o revestimento deve permanecer umedecido a fim de que os produtos de hidratação preencham os espaços destinados a estes, com o intuito de se reduzir a porosidade e permeabilidade e a absorção da argamassa.

Isso ocorre, pois a cura hidrata mais o cimento, o que propicia uma densificação da matriz, a partir da diminuição do volume dos poros e da quantidade de vazios capilares

(“caminhos” para a água percolar), resultando em uma microestrutura menos permeável. Esses poros e vazios capilares estão ilustrados na Figura 2.

Figura 2 – Poros capilares para, à esquerda, situação de alta permeabilidade e, à direita, baixa permeabilidade



Fonte: Neville e Brooks (2013).

4.2 AUMENTO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

O principal objetivo de se executar a cura, no entanto, trata de obter melhores desempenhos nas propriedades mecânicas.

Na Tabela 1, extraída de um trabalho de Silva, Gomes, Santos (2009), no que diz respeito às resistências médias obtidas para ensaios de aderência à tração, os valores com uso de cura úmida e sem cura para idades de 28 dias e 125 dias estão expostos abaixo.

Tabela 1 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração

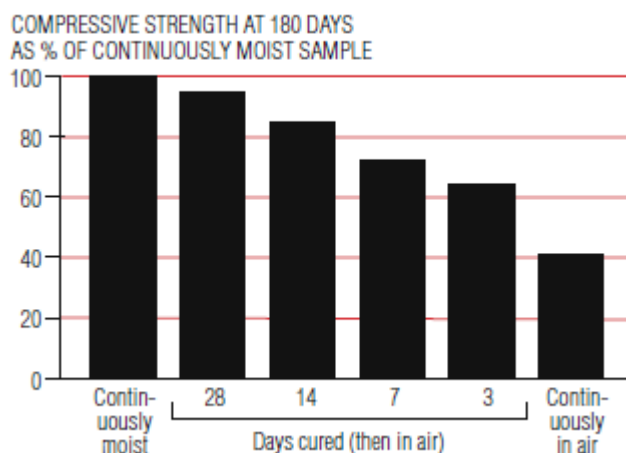
Condições de cura	Idade do revestimento	Resistência de aderência - média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)	Ruptura predominante
Com cura úmida	28 dias	0,34	0,10	29,01	Chapisco/argamassa
Sem cura úmida		0,29	0,11	38,27	Chapisco/argamassa
Com cura úmida	125 dias	0,36	0,05	14,52	Chapisco/argamassa
Sem cura úmida		0,21	0,06	28,67	Chapisco/argamassa

Fonte: Silva, Gomes e Santos (2009).

A partir da Tabela 1, pode-se perceber a relevante influência que a cura úmida tem no ganho de resistência da argamassa em comparação à argamassa não curada. Além disso, fica evidente o impacto benéfico nesse quesito que uma cura mais prolongada tem na resistência de aderência do revestimento.

Esse comportamento se aplica também para o caso da resistência à compressão, como é apresentado no gráfico abaixo, o qual representa valores mais altos de resistência aos 180 dias para curas úmidas realizadas a prazos maiores, como 14 ou 28 dias.

Figura 3 – Efeito da cura na resistência à compressão do concreto



Fonte: Curing of Concrete (2006).

4.3 REDUÇÃO DA RETRAÇÃO E FISSURAÇÃO

Além de aumentar as propriedades mecânicas do revestimento, como resistência de aderência à tração e resistência à compressão, bem como reduzir a permeabilidade, podemos citar também a diminuição da velocidade da perda de água e, conseqüentemente, diminuição da retração e fissuração.

A cura é responsável por controlar a retração e, conseqüentemente, a fissuração, pois, havendo mais água disponível para a argamassa, o material retrai menos.

O surgimento das fissuras, por sua vez, ocorre de acordo com as seguintes etapas:

- 1) Reação de hidratação
- 2) Perda de água para o ambiente por evaporação
- 3) Contração do volume
- 4) Alívio de tensões
- 5) Fissuração

A retração ocorre em todos os materiais cimentícios por causa da evaporação da água presente na sua composição durante a hidratação do cimento e consiste na diminuição do volume do material devido a essa saída de água, resultando em um material endurecido com volume menor do que o material anteriormente fresco, e isso gera novas tensões superiores às suportadas pela estrutura da argamassa que ocasionam o aparecimento de fissuras.

É um fenômeno que ocorre principalmente em condições de baixa umidade relativa, em que a argamassa endurecida perde água e seus poros se contraem, proporcionando uma contração do elemento como um todo (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

5 A RELAÇÃO ENTRE CONDIÇÕES AMBIENTAIS E A CURA

Segundo Valin Junior e Lima (2008), o clima do local é uma variável extremamente danosa no que diz respeito ao surgimento de manifestações patológicas nos revestimentos argamassados, somente sendo possível manter a hidratação dos compostos cimentícios com o devido controle da sua cura e com a redução da exposição à insolação.

5.1 TEMPERATURA DO AR E INSOLAÇÃO

A temperatura, de acordo com Kjellsen e Detwiler (1990), altera os produtos de hidratação e a microestrutura no que diz respeito aos seus poros, bem como o desempenho do revestimento.

A temperatura define a velocidade de hidratação do cimento, conforme afirma Iserhard (2000), e ainda reforça que um aumento nessa variável acelera o processo, garantindo que a argamassa alcance seu desempenho mecânico já nas idades iniciais (PEREIRA; CARASEK; FRANCINETE, 2005).

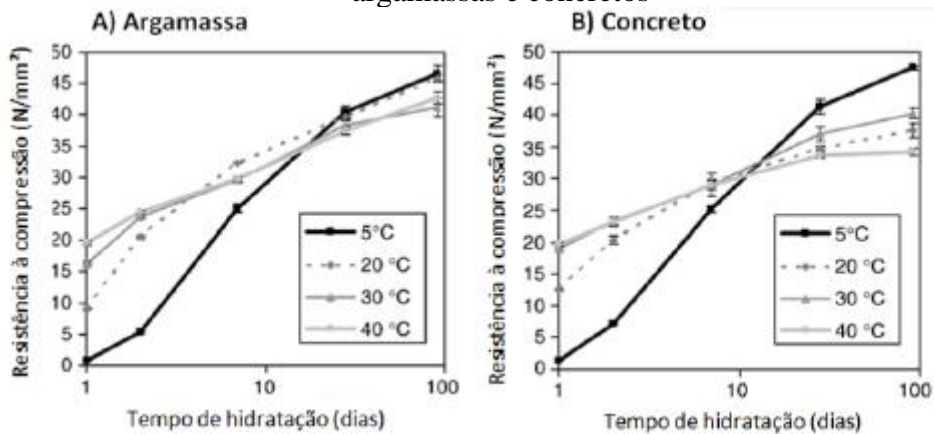
A temperatura influencia na quantidade de água envolvida na reação de hidratação, pois age retirando esta por meio da evaporação. Por conseguinte, age também na aceleração do endurecimento da argamassa (LION et al., 2005).

Contudo, de acordo com Neville (1997), os produtos formados pela hidratação apressadamente geram uma estrutura pobre após 7 dias. Isso leva a um prejuízo na aderência.

Moreira (2005) diz que temperaturas extremas, tanto elevadas quanto baixas, contribuem mais significativamente para a queda de resistência de aderência do revestimento do que temperaturas intermediárias.

Em consonância com essa hipótese, Lothenbach, (2007) realizou um outro estudo em que se avaliou os efeitos sobre a formação do material cimentício sob temperaturas de 5 e 40°C, e foi constatado que, apesar do aumento da temperatura hidratar rapidamente o cimento e fornecer alta resistência inicial, em idades mais avançadas isso não se confirma. O resultado foi que a resistência à compressão se mostrou menor do que materiais cimentícios curados em 5°C e 20°C. Esse comportamento está ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Efeito da temperatura nos resultados de resistência à compressão de argamassas e concretos

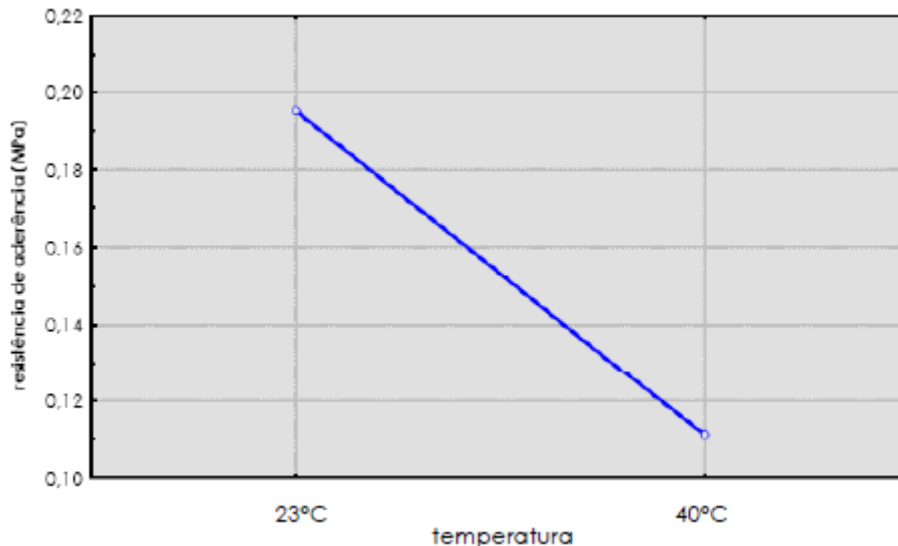


Fonte: Lothenbach (2007).

Neville (1997) afirma que há uma temperatura ótima no início da cura e do endurecimento, a partir da qual se inicia o incremento da resistência com o aumento da temperatura.

Por outro lado, quanto à resistência de aderência do revestimento cimentício, esse comportamento é oposto, visto que há um decréscimo da capacidade de aderência do revestimento em situações agressivas de altas temperaturas, como podemos observar na Figura 5.

Figura 5 – Influência da temperatura na resistência de aderência do revestimento



Fonte: Moura (2007).

Somado a isso, certos cuidados devem ser tomados em relação à temperatura quando a cura será executada, pois, de acordo com a NBR 7200 (1998, p. 6):

Em temperatura superior a 30° C, devem ser tomados cuidados especiais para a cura do revestimento, mantendo-o úmido pelo menos nas 24 h iniciais através da aspersão constante de água. Este mesmo procedimento deve ser adotado em situações de baixa umidade relativa do ar, ventos fortes ou insolação forte e direta sobre os planos revestidos.

Atenta-se ao fato de que, de acordo com a mesma NBR 7200 (1998, p.6), “a argamassa de revestimento não deve ser aplicada em ambientes com temperatura inferior a 5°C”. Tal restrição imposta pode ser explicada pelo fenômeno de congelamento da água em temperaturas próximas a 0°C, que ocasiona danos à matriz cimentícia.

Isso indica que condições mais agressivas de clima não são benéficas para a adequada hidratação do cimento Portland, e exigem um controle mais rigoroso em todo o processo de produção e aplicação, incluindo o procedimento de cura.

Por outro lado, há a questão da insolação, onde o fenômeno é considerado como uma espécie de variação de temperatura, no que diz respeito aos efeitos gerados na argamassa, pois, a superfície em que o sol incide aquece.

Em dias com forte insolação e temperaturas mais elevadas, é fundamental que se aplique ainda mais quantidade de água na cura do revestimento, em função da maior evaporação se comparada com dias amenos. Além disso, a técnica do sombreamento seria bastante indicada nessas situações, visto que reduziria a intensidade da incidência solar no revestimento argamassado.

De acordo com Vargas (2013, p.15), “uma forte exposição solar facilita o endurecimento da argamassa, mas também poderá aumentar a fissuração. Por outro lado, uma fraca exposição solar atrasa a carbonatação e compromete o comportamento a longo prazo”.

Por fim, segundo Moreira (2005), a temperatura é um dos fatores essenciais na velocidade com que o composto cimentício endurece ao longo do tempo da cura. O outro fator é a umidade relativa do ar.

5.2 UMIDADE RELATIVA DO AR

Por definição, segundo Ferreira (2010, p. 108):

A razão entre a pressão de vapor de uma mistura qualquer de vapor de água e ar pela pressão de vapor de uma mistura saturada à mesma temperatura é chamada de umidade relativa (UR) e expressa em percentagem. A umidade relativa é associada à quantidade de vapor de água presente no ar que pode saturar à mesma temperatura.

A umidade relativa do ar é um fator essencial para o processo de cura de revestimentos de argamassa, visto que, se valendo da analogia do comportamento do concreto, esta age diretamente na entrada e saída de água pelos poros da argamassa, controlando a quantidade de água presente na mistura. A umidade deve ser suficiente para que o revestimento como um todo se mantenha na condição de saturação total (LORENZETTI; FREDEL; GLEISE, 2002).

Quanto à hidratação do cimento Portland, de acordo com Cardoso (2013), um ambiente úmido é benéfico ao processo, porém valores acima de 95% de umidade relativa impedem a etapa da carbonatação. Esse autor ressalta também que um ambiente seco é prejudicial à hidratação do cimento, devido à necessidade de água para a continuidade do processo.

Um fator de grande relevância nas análises de umidade relativa é o da evaporação de água. O movimento natural da água entre ambientes ocorre do local com maior índice de saturação ao de menor saturação. Como a umidade relativa do ar de qualquer ambiente é sempre inferior a 100%, e sabendo que a argamassa no estado fresco, portanto, deve estar saturada, a evaporação é uma constante nesse cenário (BASTOS, 2003).

A partir dessa afirmação, é possível afirmar que um ambientes com ar mais seco tendem a provocar maiores taxas de evaporação.

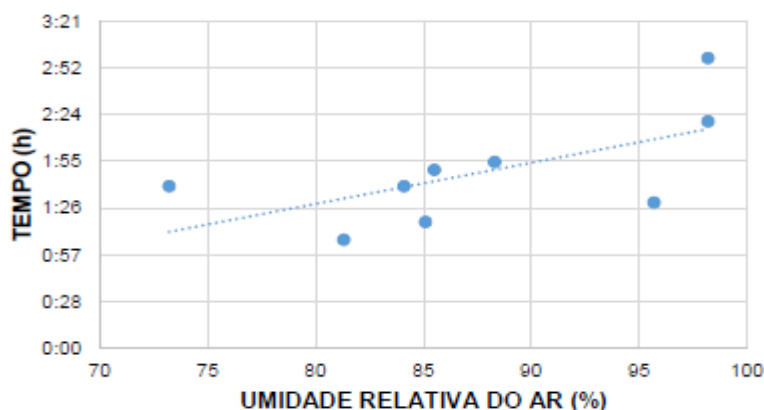
Segundo Mehta e Monteiro (1994), materiais cimentícios apresentam redução na sua hidratação quando expostos a umidade relativa abaixo de 80%, o que sugere que o processo de cura úmida deva ser executado em ambientes que apresentam umidade abaixo desses 80%.

Obeid, Mounajed e Abdenour (2000) reforçam esse mesmo valor de umidade relativa do ar como um limiar a partir do qual as argamassas sofrem alterações notórias de propriedades térmicas, como dilatação e condutividade de calor, e mecânicas, como o módulo de elasticidade.

Ainda no que se trata de valores adequados, de acordo com Veiga (2001), um valor de umidade relativa do ar de 90% é capaz de amenizar a retração nos primeiros dias do revestimento argamassado.

Por outro lado, de acordo com estudos de Dias (2021), quanto maior a umidade relativa do ar inicial a que a argamassa está submetida, maior o tempo para ela atingir a consistência adequada para que seja compactada a camada de emboço e regularizada a sua superfície. Esse fato pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Tempo para atingir uma consistência adequada até certa profundidade de revestimento em função da umidade relativa



Fonte: Luisa Gabrielle Morás Dias (2021).

5.3 VENTILAÇÃO

Os efeitos das condições climáticas em revestimentos de argamassa são pouco difundidos, muito menos acerca da ventilação. Porém, de acordo com Moura (2007), a ventilação é considerada um agente importante na cura desses revestimentos.

A ventilação deve ser abordada como um fator de análise com relação aos revestimentos externos argamassados e que exige controle diário. Essa condição consiste, basicamente, na incidência de ventos de qualquer natureza no material cimentício por conta do clima da região. Esses ventos são, por definição, massas de ar que funcionam como cargas aplicadas ao revestimento, podendo levar ao desgaste da sua superfície, por exemplo, por arrancamento das partículas constituintes.

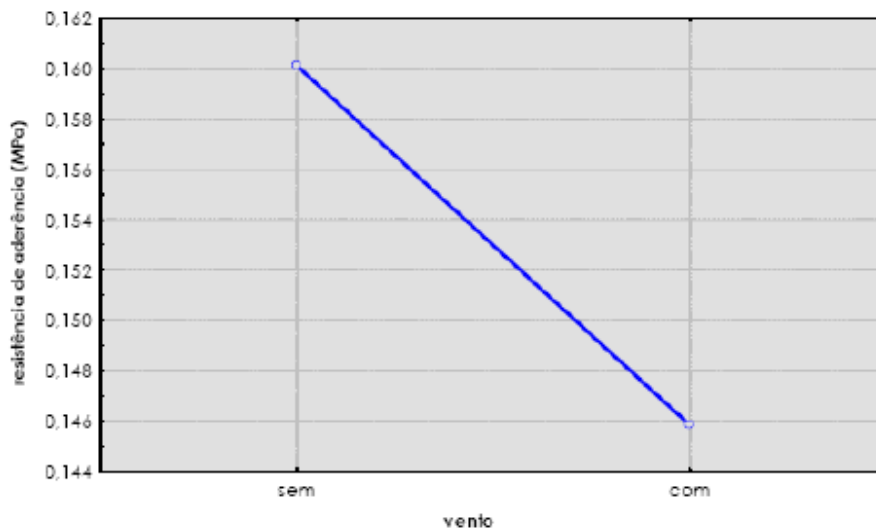
No entanto, podem atuar também favorecendo a evaporação da água presente na argamassa. Quanto maior for a superfície com vento incidente, maior a taxa de evaporação, uma vez que as partículas de água da superfície são movimentadas.

De acordo com Scartezini (2002), o efeito da ventilação se assemelha ao efeito provocado pelas altas temperaturas, pelo fato de atuar na secagem superficial do material cimentício. Retrata, ainda, que a evaporação causada pela ventilação é proporcional à umidade presente nos poros capilares da argamassa, porém em escala muito reduzida em relação à umidade.

O que se pode concluir a partir da escassa bibliografia que trata do assunto, entretanto, é que o vento reduz a resistência de aderência, devido à secagem causada ao

revestimento, o que implica a inadequada hidratação do cimento Portland (MOURA, 2007), como mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Influência do vento na resistência de aderência do sistema de revestimento



Fonte: Moura (2007).

5.4 ABSORÇÃO DE BASE

Na análise dos fatores relacionados à cura, a capacidade de absorção da base ou substrato representa uma variável importante, visto que é uma das principais responsáveis pela aderência do revestimento argamassado como um todo. As reentrâncias e rugosidades da base, as quais devem servir de suporte para a camada de chapisco, em conjunto com o chapisco desempenhando sua função adequada, são a garantia da aderência do material cimentício.

Entretanto, alguns cuidados devem ser adotados, pois bases muito absorventes são prejudiciais para o revestimento. Tal fato ocorre por meio da absorção excessiva de água que hidrata o ligante por parte do próprio substrato, o que evidencia a necessidade de uma cura a fim de se manter a hidratação adequada.

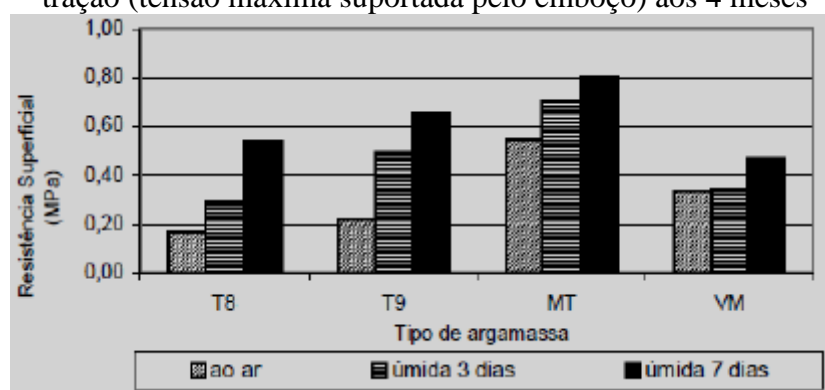
Nessa linha, Scartezini e Carasek (2003), fazem uma ressalva de que, em casos de substratos ou bases muito porosas, devido à alta absorção de água, a hidratação do cimento pode ocorrer de forma mais lenta, e isso comprometeria seu desempenho.

5.5 TEMPO DE CURA

Tempo de cura é o tempo necessário para que o procedimento de hidratação do cimento Portland em materiais argamassados seja completo, atingindo sua resistência calculada em projeto e possa desempenhar a pleno suas funções mecânicas e químicas.

Segundo Souza et al. (2019), o tempo de cura afeta a resistência à compressão do material cimentício. Pereira, Carasek e Francinete (2005) compararam os tipos e tempos de cura com a resistência superficial do emboço as curas ao ar, úmida por 3 dias e úmida por 7 dias para diferentes tipos de argamassa, conforme Figura 8.

Figura 8 – Influência do tipo e tempo de cura na resistência de aderência superficial à tração (tensão máxima suportada pelo emboço) aos 4 meses



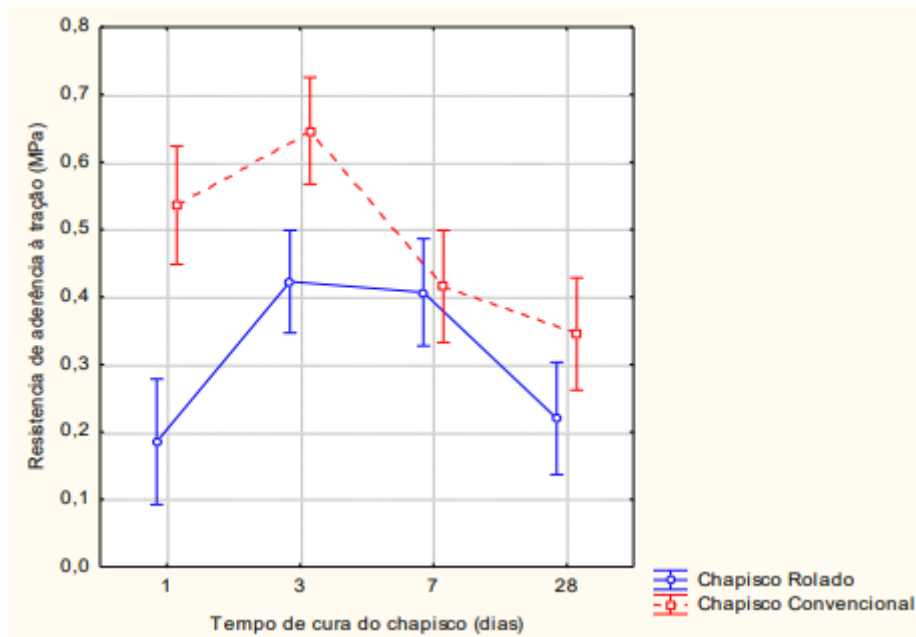
Fonte: Pereira, Carasek e Francinete (2005).

Na Figura 8, podemos constatar que a cura úmida aos 7 dias apresentou desempenho mais satisfatório com relação à cura úmida aos 3 dias e à cura ao ar, independentemente do tipo de argamassa ensaiada. Isso comprova que, não só a cura úmida é fundamental para o desenvolvimento de maiores resistências por parte das argamassas, como também esse desempenho é ainda maior para tempos de cura mais longos, diferentemente do que é habitual na construção civil do nosso país.

De acordo com ensaios de Melo (2018) para argamassas estabilizadas, a cura por sete dias apresentou melhor desempenho quanto à resistência da argamassa em relação à cura por 14 dias, a qual não apresentou melhora significativa.

A Figura 9 retrata o comportamento do tempo de cura para uma camada de chapisco e sua evolução de resistência.

Figura 9 – Tempo de cura do chapisco



Fonte: Longhi e Masuero (2011).

Fica evidente que o melhor tempo de cura para a argamassa de chapisco é de 3 dias, visto que foi o tempo em que apresentou o maior valor de resistência de aderência adquirida, independentemente do tipo de chapisco.

5.6 INTERVALOS DE MOLHAGEM

A duração de cada molhagem deve ser o mais curta possível, umedecendo apenas até molhar a superfície e parar, porém realizada com maior frequência, visto que esse processo confere uma menor porosidade à argamassa.

A adoção de maior frequência de molhagem tem como premissa não permitir ciclos de molhagem e secagem, mantendo a superfície sempre saturada.

O umedecimento deve ser realizado com baixa intensidade para que não sejam aplicados jatos que danifiquem a argamassa e em pequenos volumes de água para não lavar a superfície e danificá-la.

Além disso, molhagens muito longas não são economicamente favoráveis às construtoras, pois envolvem custos com água, equipamentos e tempo de mão de obra.

O tempo preciso até se atingir a saturação deve ser avaliado em estudos futuros, porém esse pode ser estimado de maneira visual a partir do aspecto umedecido da superfície e manter um gestor e o operador encarregado da aspersão atentos às condições de clima, as quais representam a maior variabilidade nesse sentido.

Considerando a existência de todos os parâmetros discutidos anteriormente e analisados em suas diversas possibilidades de manifestação e de interferência nas propriedades das argamassas de revestimento cimentícias em casos de aplicações em fachadas externas, foi levantada a hipótese de um sistema que executasse o procedimento de cura de maneira totalmente automatizada e independente de um aplicador, com rigoroso controle de parâmetros. Essa proposta está exposta no próximo capítulo.

6 PROPOSTA DE SOLUÇÃO OTIMIZADA PARA CURA DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

6.1 BASES CONCEITUAIS QUE ORIENTARAM O DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

Seguindo a metodologia proposta no trabalho da disciplina de Inovação na Construção da graduação em Engenharia Civil, foi abordada, primeiramente, a definição do problema. Esse questionamento serviu como um norteador para o exercício, a fim de que o foco do estudo não fosse desvirtuado.

Existem inúmeras visões a respeito da definição de problema. Entre elas, podemos dizer que um problema pode ser representado por:

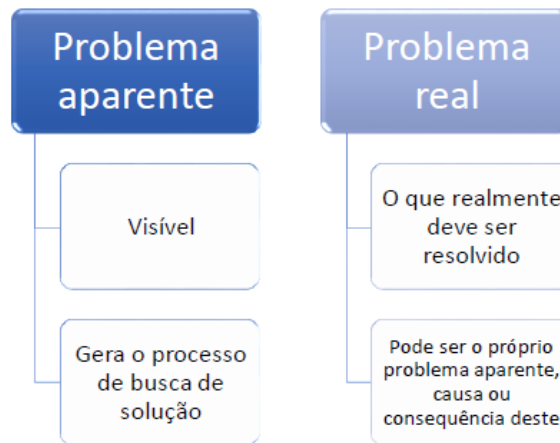
- a) uma situação insatisfatória;
- b) uma identificação de soluções insatisfatórias sendo utilizadas no mercado;
- c) uma falta de definição de um objetivo.

Após o devido esclarecimento do conceito, foi apresentada uma etapa posterior de levantamento de questionamentos, porém voltada para a identificação do tipo de problema: problema aparente ou problema real. Essa separação é de fundamental importância para a sequência da análise teórica, visto que se tratam de dois conceitos muito distintos:

- a) o problema aparente é aquele que se apresenta logo na análise inicial da situação em questão; é o mais perceptível e o mais fácil de ser identificado quando se faz uma avaliação superficial das causas e efeitos; é o responsável por gerar todo o processo de busca de uma solução para o caso em estudo;
- b) o problema real é o problema que, após uma análise mais detalhada e profunda do problema aparente, representa o que deve de fato ser resolvido; dependendo da situação, pode acontecer de o problema real se manifestar como o próprio problema aparente, uma causa ou uma consequência deste.

A diferenciação entre os dois tipos está ilustrada na Figura 10.

Figura 10 – Diferenças entre problema aparente e problema real



Fonte: Elaboração do autor.

Inicialmente, a premissa do trabalho proposto se apresentava como a busca por alguma solução imediata para evitar a ocorrência de fissuras em revestimentos de argamassa externos. Após questionamentos, concluiu-se que o fenômeno das fissuras representava apenas o problema aparente, e, por consequência, havia a necessidade de se buscar o mecanismo ou falha de técnica que resultava nessas manifestações.

Assim, seguindo a metodologia inicial, foi investigado o que seria, de fato, uma fissura e o que ela ocasionaria. Foram compilados vários fatores que poderiam originar as fissuras, os quais estão dispostos na figura esquemática abaixo. Dentre eles, está a dilatação ou retração térmica causada por variações de temperatura na estrutura da argamassa, as estruturas mal projetadas ou em sobrecarga, as ocorrências de recalques nos apoios das estruturas, uso incorreto do material cimentício e a retração do cimento Portland por evaporação de água.

Conforme a Figura 11, foi apontada a retração do cimento devido à evaporação da água na sua composição como o fator principal causador de fissuras nos revestimentos argamassados.

A partir da definição de fissuras a serem trabalhadas, foi elaborado um fluxograma relacionando causas e eventos, abordando as manifestações a causalidade, composto por seqüências de casos para identificação do problema real.

Figura 11 – Causas das fissuras



Fonte: Elaboração do autor.

Partindo do problema aparente das fissuras nos revestimentos de fachadas, nos questionamos por que a fachada fissurava. Obtivemos como resposta que esta fissurava devido ao fato da superfície se acomodar por conta das tensões envolvidas. Então, questionamos o porquê dessa superfície agir dessa maneira, obtendo como nova resposta o fato de seus capilares presentes na microestrutura da argamassa se contraírem. O restante da sequência está ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Árvore de causas e eventos



Fonte: Elaboração do autor.

A árvore de causas e efeitos nos levou ao problema real a ser solucionado em nosso estudo: o fato de não haver cura adequada da argamassa de revestimento nos canteiros de obra.

Há também outro tipo de metodologia de busca de uma solução para o problema real, o qual é denominado de tripé do problema real, e ele consiste em se elencar os três pilares de “controle” do problema real. A partir desse tripé, escolhemos um vértice para ser eliminado, o qual seria o enfoque principal para a sequência do método.

Para a situação da cura de revestimentos argamassados cimentícios de fachadas externas, podemos montar o tripé da seguinte maneira:

a) primeiro vértice: características da argamassa.

Argamassas de cimento Portland apresentam retração volumétrica no seu processo de endurecimento, fenômeno que origina as fissuras. Esse fenômeno está diretamente ligado à quantidade de cimento Portland presente na composição da argamassa que irá reagir. Entretanto, ao se diminuir o teor de cimento no traço da argamassa, por exemplo, alterariam as propriedades dela, o que não seria uma medida interessante a se adotar para fins de resistência.

b) segundo vértice: condições ambientais.

Fatores ambientais aumentam a perda de água e, conseqüentemente, a retração. Tendo em vista esse fato, a decisão a priori a se tomar seria a de selecionar o dia e época com as condições ambientais mais favoráveis para a realização do procedimento de cura, partindo do pressuposto que não podemos adaptar o clima às nossas necessidades. No entanto, devemos nos lembrar de que isso se torna muito complicado em nosso país mesmo ao se selecionar estações do ano mais favoráveis, devido à grande imprevisibilidade do clima por ainda apresentar dias com clima inadequado para os serviços de cura.

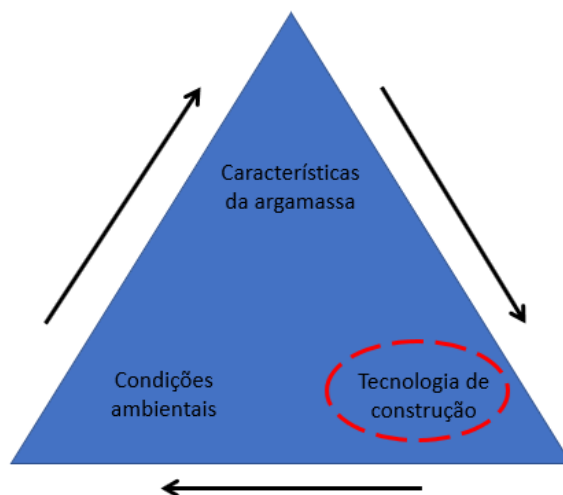
c) terceiro vértice: tecnologia de construção.

A solução utilizada no procedimento de cura é o que ajuda a regular a perda de água após a aplicação do material argamassado cimentício. Como os canteiros de obra apresentam soluções insatisfatórias de controle da cura, dependentes única e exclusivamente de decisão da construtora responsável e do engenheiro ou responsável técnico, esse vértice seria o mais apropriado e mais viável de ser combatido, visto que a

adoção ou não de uma solução mais adequada de cura se trata de uma questão apenas gerencial de obra.

A escolha desse terceiro vértice confirma o resultado obtido na análise da árvore de causas e efeitos. A representação resumida do tripé pode ser observada na Figura 13.

Figura 13 – Tripé da fissura do revestimento argamassado



Fonte: Elaboração do autor.

Levando em consideração o procedimento de cura realizado pelos trabalhadores encarregados da cura, foi debatido em aula com o professor e os demais colegas com relação às experiências de cada um em seus respectivos estágios em obras por Porto Alegre e regiões adjacentes, sobre como era conduzido o processo de cura para fachadas externas. Chegou-se a um consenso de que gestores das obras lidam de maneira negligente com esse serviço, por representar maiores custos, necessidade de prazos maiores ou até por desconhecimento da relevância do serviço. Na maioria das vezes, esse serviço é totalmente ignorado e, nos raros casos em que é feito, se limitam a aspersões relativamente intensas e não frequentes, o que configura problema à argamassa já mencionado anteriormente.

Nesse contexto, ficou decidido que a melhor solução seria aquela que diminuísse ao máximo ou eliminasse o papel humano no serviço de cura, além do fato de o método simplista de cura por meio de mangueiras não ser eficiente nem ser possível em grandes obras em altura.

Somado a isso, há alguns fatores que reforçam a necessidade de uma inovação nesse quesito, mais especificamente com relação às vantagens e desvantagens do método tradicional.

Quanto às vantagens, podemos citar o baixo custo da molhagem eventual dos revestimentos. Entretanto, as desvantagens se sobressaem, visto que essa técnica pode gerar gastos significativos com futuras manutenções corretivas oriundas da má execução e possíveis riscos de queda de materiais, o que poderia causar acidentes. Além disso, a própria estética da edificação fica prejudicada pelas quase inevitáveis fissuras, e, ainda, os retrabalhos em altura gerados.

Frente a todas essas variáveis e hipóteses compiladas, havia a necessidade de se solucionar o problema da cura desde pequenas edificações e casas até grandes fachadas de edifícios de vários pavimentos, o que configura o caso mais crítico.

A adoção de uma nova solução foi pensada visando a uma maior rapidez, eficiência do processo, segurança, redução de custos a médio e longo prazo e garantia de qualidade.

Para trabalhos em altura e poder vencer grandes edifícios durante a execução de revestimentos em fachadas, normalmente são adotados sistemas como balancins (Figura 14) – (também chamados de andaimes suspensos – ou andaimes fachadeiros (Figura 15). O primeiro pode ser instalado na versão manual ou elétrica, e consiste em uma estrutura suspensa por cabos de aço que serve para o funcionário trabalhar em segurança em quaisquer serviços relacionados à fachada de um prédio, proporcionando maior velocidade, agilidade e segurança¹. Esse sistema opera de maneira móvel, com movimentos verticais de subida e descida para percorrer toda a dimensão da edificação.

Figura 14 – Balancim manual



Fonte: Andaimos Jirau².

¹ Disponível em: <https://www.andaimosjirau.com.br/?page_id=714>. Acesso em: 21 out. 2021.

² Ibidem.

Já o andaime fachadeiro trata-se de uma estrutura fixa, composta por diversos andaimes encaixados, formando uma estrutura rígida que permite a circulação de pessoas por toda a fachada a qualquer momento.

Figura 15 – Andaime fachadeiro



Fonte: Andaimos Jirau³.

Sabendo da necessidade de utilização de um desses sistemas para acessar as áreas que deveriam ser curadas, foi definida inicialmente uma alternativa que se valesse do balancim já instalado, porém isso exigiria que o sistema fizesse diversas subidas e descidas pela fachada para que fosse proveitoso seu uso conjunto. Um exemplo dessa dificuldade poderia ser observado na cura úmida de uma camada de emboço, (que deve durar pelo menos 7 dias), caso o sistema fosse fixo ao balancim utilizado para execução de revestimento de argamassa, o balancim já estaria em pavimentos abaixo ou acima aplicando revestimento ao final do terceiro dia, e isso demandaria que o equipamento se deslocasse algumas vezes, inviabilizando a logística.

Em andaimes fachadeiros, poderia ser utilizada a mesma solução da cura de revestimentos internos, por meio de aspersão contínua de água com pulverizadores, de maneira manual por um operário, como mostra a Figura 16. Porém, isso ainda dependeria fundamentalmente da diligência do trabalhador.

³ Ibidem.

Figura 16 – Operador realizando cura de parede de concreto com uso de pulverizador



Fonte: Núcleo Parede de Concreto⁴.

Dentro desta perspectiva, foi proposta uma alternativa que busca a independência de outros sistemas ou de necessidade de operação manual.

6.2 DELINEAMENTO DO CONJUNTO DE COMPONENTES DA SOLUÇÃO PROPOSTA

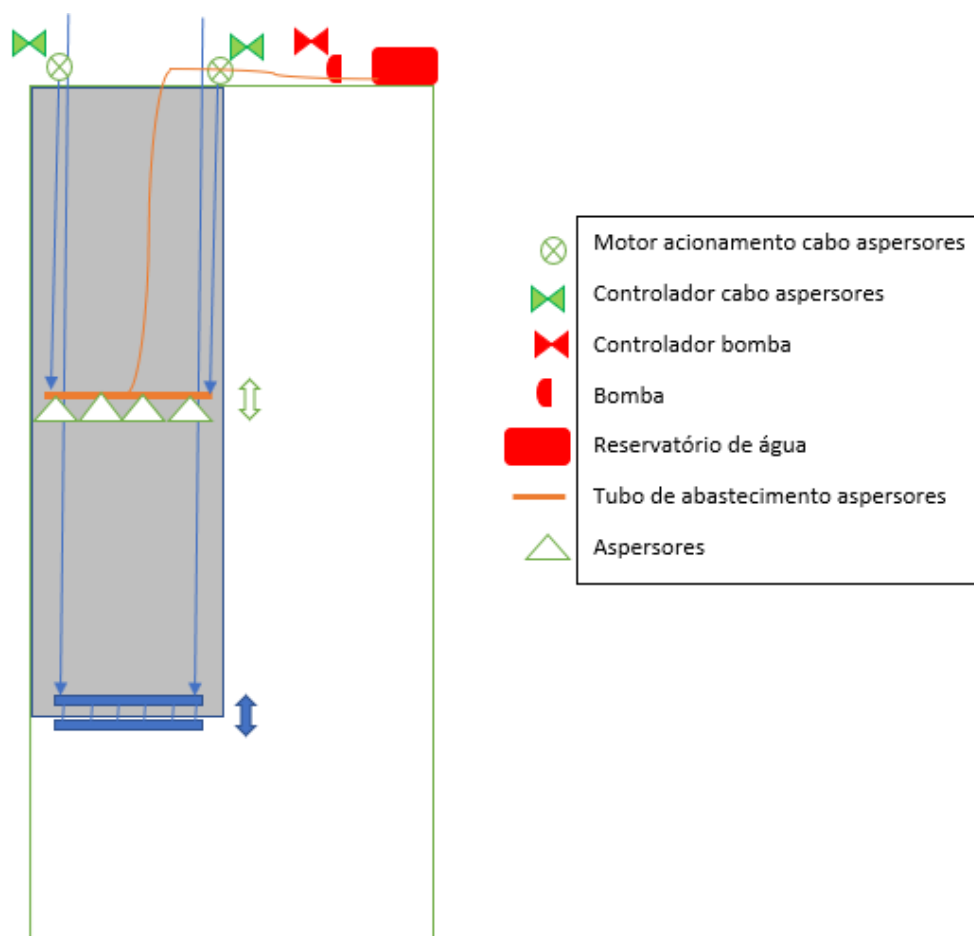
Foi inicialmente proposto um protótipo, o qual está esquematizado na Figura 17.

Nesse protótipo, está representado o balancim em azul, se deslocando verticalmente de acordo com o andamento da execução do revestimento, enquanto um tubo horizontal condutor de água está conectado aos aspersores, que vão umedecendo a fachada também verticalmente conforme o avanço do procedimento, porém operando independentemente do balancim. Esse sistema é acionado por um motor para os cabos descenderem ou subirem.

Acima do prédio, está indicado também um reservatório de água para abastecer os aspersores, e isso ocorre por meio do funcionamento de uma bomba acionada por um temporizador programável, conforme exemplo na Figura 18.

⁴ Disponível em: <<https://nucleoparededeconcreto.com.br/fissuracao-em-paredes-de-concreto/>>. Acesso em: 21 out. 2021.

Figura 17 – Protótipo de cura de revestimento de argamassa em fachadas



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 18 – Exemplo de temporizador comercializado no mercado



Fonte: Amazon⁵.

⁵ Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/heyaa-Temporizador-temporizador-program%C3%A1vel-gotejamento/dp/B0953JPXLX>>. Acesso em: 21 out. 2021.

Seria necessário apenas um operador ou o próprio gestor da obra para acionar o temporizador (além de fiscalizar o andamento do serviço para eventuais problemas), o qual seria programado com base em dados climáticos de umidade relativa do ar, temperatura, velocidade do vento, insolação, definindo automaticamente intervalo entre aspersões, o tempo de cada aspersão, com o intuito de manter a superfície constantemente saturada.

Para o transporte de água, seriam utilizados tubos de PEX (Figura 19), os quais são materiais flexíveis e maleáveis, para que fossem enrolados ou desenrolados de acordo com a necessidade de altura da fachada ou para percorrer com facilidade a estrutura modular do andaime fachadeiro.

Figura 19 – Tubos de PEX para água



Fonte: Amanco⁶.

Esses tubos de PEX levariam a água direto para um componente capaz de distribuí-la pela superfície. Entretanto, conforme visto anteriormente, gotas de água podem ser danosas à superfície da argamassa, o que exigiria algo menos agressivo à argamassa. Então, o umedecimento não poderia ser executado com jatos fortes, visto que esta ação desagrega os minerais do revestimento, prejudicando o desempenho do sistema.

Independentemente do tipo de tubulação, o seu diâmetro deve ser grande o suficiente para que haja pressão contínua ao longo da linha. Porém, a sua magnitude ainda não havia sido pensada durante o estudo.

Chegou-se à conclusão de que o equipamento utilizado para o umedecimento do revestimento argamassado deveria ser um bico aspersor que fizesse a aplicação por névoa d'água. Os aspersores de névoa foram escolhidos por causa da superfície muito extensa

⁶ Disponível em: <<https://amancowavin.com.br/produtos/predial/agua-quente/amanco-plex/tubo-5b007519-967b-41a8-9e8c-59b997e3254e>>. Acesso em: 21 out. 2021.

que deveria ser coberta de água e pela pequena espessura de revestimento argamassado que deveria ser umedecida. Foi escolhido o modelo de bico aspersor da Spraying Systems do tipo cone retangular, conforme Figura 20.

Figura 20 – Aspersores de névoa d'água



Fonte: Spraying Systems⁷.

Ficava apenas a ressalva quanto ao tamanho da gotícula da névoa, pois esta não deveria ser muito leve a ponto de ser levada pelo vento nem muito pesada para não agredir a superfície.

Porém, para que a água fosse borrifada de maneira adequada e sem danos aos bicos, juntamente com alguns professores de hidráulica, debatemos que deveria haver algum dispositivo para reduzir a pressão gerada em cada um dos aspersores que constituíssem o mecanismo devido à significativa coluna de água que surgiria para as grandes alturas.

Foi levantada a ideia de que uma válvula redutora de pressão (um registro) a jusante para regular a pressão nos aspersores seria uma alternativa. Essa válvula está representada na Figura 21.

Em situações normais, seria ideal, ainda, instalar um manômetro em cada aspersor para controle da pressão. Porém, no caso do aspersor Spraying Systems, isso não se faria necessário, pois ele oferece a mesma pressão em todos os aspersores.

⁷ Disponível em: <<https://www.spray.com.br/sistemas-pulverizacao/sistemas-pulverizacao.aspx>>. Acesso em: 21 out. 2021.

Figura 21 – Válvula redutora de pressão de água



Fonte: Casa Mimosa Hidráulica⁸.

Para abastecer o sistema como um todo, seria necessário dispor de uma bomba de recalque, como apresentado na Figura 22 (normalmente os canteiros já possuem uma para os diversos serviços em que se precise de água), com pressão maior do que a da válvula de pressão, além de uma caixa d'água (também comum de ser encontrar em canteiros) para reservar a água necessária para o serviço de cura.

Figura 22 – Exemplo de bomba de recalque



Fonte: Secob Bombas⁹.

6.3 DEFINIÇÕES DE PROJETO DA SOLUÇÃO

Quanto à quantidade de aspersores que seriam utilizados, isso dependeria primordialmente da largura do prédio em que fosse executado o serviço, bem como da área de abrangência de cada aspersor. Para tal, uma opção seria que esse sistema fosse fabricado de forma modular, onde os módulos fossem independentes entre si e pudessem ser encaixados.

⁸ Disponível em: <<https://www.casamimosa.com.br/valvula-redutora-de-pressao-eco-3-4-m-emmeti>>. Acesso em: 21 out. 2021.

⁹ Disponível em: <<https://www.secobombas.com.br/saiba-para-que-serve-a-bomba-de-recalque/>>. Acesso em: 21 out. 2021.

Há detalhes do projeto que ainda devem ser pensados. Entre eles, deve ser avaliado como serão dispostos os aspersores ao longo da fachada. Existe a opção de dispor um conjunto de aspersores suspensos por cabos acionados por motores programados que percorreriam toda a fachada ou a possibilidade de se utilizar um trilho vertical com um único aspersor móvel.

Seria necessário prever, também, a utilização de algum espaçador que garantisse um distanciamento dos aspersores em relação ao revestimento de argamassa e facilitasse o deslocamento vertical do conjunto de aspersores, como, por exemplo, a fixação dos aspersores a um eixo com 2 rodas, as quais serviriam para propiciar essa distância do revestimento de argamassa.

Essa solução para cura de revestimentos argamassados cimentícios foi proposta na disciplina de Inovação na Construção da graduação, em 2019, sujeita a um processo de melhoria contínua que deveria ser realizado para detalhar as características de um protótipo do equipamento para esse trabalho de conclusão de curso. Entretanto, por conta da pandemia da COVID-19, o acesso aos laboratórios da universidade foi restrito, o que impossibilitou de serem feitos os testes necessários para confirmar a viabilidade tecnológica do sistema, o dimensionamento de seus componentes e a definição dos parâmetros envolvidos na sua operabilidade.

Deve-se atentar ainda que, de acordo com a NBR 7200 (1998), sob determinadas condições de exposição ambiental, a superfície a ser revestida deve ser umedecida previamente à execução do revestimento. Para isso, esse sistema de cura também poderia ser aproveitado para molhar a base antes da aplicação do revestimento de argamassa. A viabilidade dessa segunda funcionalidade e a discussão acerca de parâmetros adequados para o seu funcionamento umedecendo o edifício de acordo com o avanço da execução é um tema que precisa ser melhor detalhado em outro estudo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após serem brevemente comentados os diferentes tipos de cura, constatou-se que a cura úmida por aspersão de névoa d'água era a mais indicada para o caso de fachadas abordado neste estudo, visto que ela fornece as condições necessárias para a hidratação do cimento Portland presente na argamassa de revestimento. Verificou-se também que a cura deveria ser de, pelo menos, 3 dias para a camada de chapisco e 7 dias para a camada de emboço para que ambas as camadas possam desenvolver de maneira completa suas propriedades principais: resistência de aderência e resistência à fissuração.

Pode-se apontar que a redução da permeabilidade na argamassa está diretamente ligada ao aumento do tempo de cura a que ela é submetida.

A adoção de processos de cura úmida é responsável por um aumento na resistência de aderência à tração e à compressão, mas também que curas mais prolongadas incrementam ainda mais o valor dessas variáveis.

Há, ainda, um benefício importante que se refere à redução da retração da matriz cimentícia e, conseqüentemente, da fissuração do revestimento a partir do preenchimento dos vazios capilares por meio da hidratação ocasionada pela cura.

No que diz respeito à temperatura, ficou constatado que temperaturas muito altas ou muito baixas também comprometeriam essa aderência. Entretanto, temperaturas elevadas tendem a ser mais prejudiciais à resistência à compressão em comparação às mais baixas. Portanto, descobrir e definir uma temperatura ótima para a cura seria um desafio para estudos futuros.

A insolação se mostrou perante o cimento Portland ser uma variável que, em grande intensidade, exige uma maior quantidade de água para a sua hidratação.

Com relação à umidade relativa do ar, pode se dizer que altas umidades relativas se mostraram mais benéficas para o desempenho dos revestimentos de argamassa.

Foi destacada também a ventilação como um fator fundamental e que se assemelha aos resultados gerados pelas altas temperaturas, isto é, atuando na secagem do material e reduzindo sua resistência à aderência.

Além disso, temos a base que, se muito absorvente, pode prejudicar a hidratação durante a cura.

A definição do intervalo de molhagem é outra variável que poderá ser estudada se valendo de mais experimentos.

Por fim, apesar de a pandemia da COVID-19 ter impossibilitado a execução de testes de todas essas variáveis, foi possível, de maneira preliminar, dar andamento ao estudo que se iniciou durante a disciplina de Inovação na Construção para a obtenção de uma solução automatizada de cura de revestimentos de argamassa que dispensasse o controle desses parâmetros por parte dos gestores de obra e eliminasse o papel de um operário para executar a cura. Tudo isso poderia ser controlado em tese por esse sistema proposto neste trabalho totalmente independente e que garantisse um rígido controle das condições mais adequadas de cura, a fim de proporcionar os melhores resultados de resistências e demais propriedades essenciais para que os revestimentos de fachadas possam cumprir seu papel com eficiência.

REFERÊNCIAS

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS — ABNT. **NBR 7200**: execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1998

_____. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 16055**: parede de concreto moldada no local para a construção de edificações: requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 15575**: edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 13529**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland: preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015

BASTOS, P. K. X. Módulo de deformação de argamassas: conceitos e métodos de determinação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 2003. p. 27-40

BRASIL. Lei nº. 8.078, de 11 de setembro de 1990. Código de Defesa do Consumidor. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências.

CARDOSO, Daniel Batista. **Argamassas de cais e metacaulim sujeitas a diferentes condições de cura**: evolução das características e dos compostos mineralógicos formados com a idade. 2013. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)— Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova, Lisboa, 2013.

CEMENT CONCRETE & AGGREGATES. **Curing of concrete**. [s.l.]: Data Sheet, 2006.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento**: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995.

DIAS, Luisa Gabrielle Morás. **Avaliação do tempo de desempenho da argamassa estabilizada para revestimento submetida a diferentes condições climáticas**. 2021. 121 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

GRAUPMANN, Olaf et al. (Org.). **Anais da V Semana de Engenharia Civil**. Mafra> UnC, 2018.

ISERHARD, J. L. R. F. Contribuição ao estudo da viabilidade da cura do concreto por energia solar. 2000. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)— Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

KJELLEN, K. O.; DETWILER, R. J. Pore structure of plain cement pastes hydrated at different temperatures. **Cement and Concrete Research**, v. 20, n. 6, Nov. 1990.

LION, M. et al. Experimental study on a mortar: temperature effects on porosity and permeability. Residual properties or direct measurements under temperature. **Cement and Concrete Research**, n. 35, p. 1937-1942, Feb. 2005.

LONGHI, Márlon Augusto; MASUERO, Ângela Borges. Influência do Tempo de aplicação da argamassa após a realização do chapisco na resistência de revestimentos aplicados em substratos de concreto. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2011, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2011.

LORENZETTI, U. V.; FREDEL, M. C.; GLEISE, P. Avaliação da eficiência dos procedimentos de cura na durabilidade do concreto: resistência à compressão, perda de massa e absorção de água por capilaridade. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 2., 2002, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: [s.n.], 2002. v. 2, p. 115-127.

LOTHENBACH, B. Effect of temperature on the pore solution, microstructure and hydration products of Portland cement pastes. **Cement and Concrete Composites**, v. 37, p. 483-491, 2007.

MELO, Fernanda Domingues. **Estudo da influência da cura em argamassa estabilizada para revestimento**. 2018. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1 ed. São Paulo: PINI, 1994. 581 p.

MOREIRA, E. B. **Influência do índice de absorção de água de blocos cerâmicos e da temperatura de cura no desempenho mecânico das argamassas de revestimento**. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)— Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MOURA, Cristiane Borges. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto**: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco. 2007. 234 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NEVILLE, Adan M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

OBEID, W.; MOUNAJED, G; ABDENOUR, A. Etude du couplage termo-hygro-mécanique em milieux poreux non saturés. **Cathiers du CSTB**, n. 3200, 2000.

ORTEGA, J. M. Influence of curing conditions on the mechanical properties and durability of cement mortars. **Transactions of Engineering Sciences**, v. 64, n. 2009.

PEREIRA, A.P.C.; CARASEK, H.; FRANCINETE, P. Influência da cura no desempenho de revestimentos com argamassas inorgânicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CETA/ANTAC, 2005.

SCARTEZINI, L. M. **Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa**: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca. 2002. 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.

SCARTEZINI, L. M.; CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 2003. p. 251-264

SILVA, Vanessa Silveira; GOMES, Adailton de Oliveira; SANTOS, Suzan Adriana. Influência do processo de cura no desempenho das argamassas de chapisco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: [s.n.], 2009.

SOUZA, M. H. O. et al. Influência do tipo de cura no comportamento mecânico de argamassas confeccionadas com areia de scheelita. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 14, n. 2, p. 91-94, 2019.

UNGERICHT, A. J.; PIOVESAN, A. Z. Influência da cura da argamassa em relação às propriedades mecânicas e absorção de água. **Unoesc & Ciência – ACSA**, v. 2, p. 75-86, 2011.

VALIN JUNIOR, M. O.; LIMA, S. M. Influência do clima tropical na cura do concreto. In: Jornada da Produção científica da educação profissional e tecnológica da região centro oeste, 2., 2008, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: [s.n.], 2008.

VARGAS, Duarte d’Eça Leal Ferreira de. **Argamassas de cal aérea e metacaulino**: a influência do traço e da cura. 2013. 2017 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova, Lisboa, 2013.