



**ESTUDO COMPARATIVO DO GRAU DE FISSURAÇÃO DA ARGAMASSA
DE EMBOÇO COM ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA E ADITIVO
PLASTIFICANTE**

CURITIBA

2021



LUIZ HENRIQUE WILCZEK
MATHEUS LUIS ARNONI MENDES
MURILO MUSTAFA MARINO

**ESTUDO COMPARATIVO DO GRAU DE FISSURAÇÃO DA ARGAMASSA
DE EMBOÇO COM ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA E ADITIVO
PLASTIFICANTE**

Projeto de pesquisa desenvolvido para futuro desenvolvimento do Trabalho de Conclusão do Curso de Pós Graduação em Patologia nas Obras Civis para obtenção do grau de especialista.

Prof. Orientador: Luis César S. De Luca, M.Sc.

CURITIBA

2021

AGRADECIMENTOS

Ao nosso orientador, engenheiro civil professor De Luca, que nos deu dicas valiosas para a execução do nosso trabalho, e, com sua experiência e análise crítica colaborou extraordinariamente para a qualidade do trabalho.

Outro agradecimento a ser feito é ao professor Alexandre Tomazeli, que sem necessidade nenhuma, nos deu valiosas dicas para o trabalho.

Gratidão ao professor Mateus de Azevedo Barão que contribuiu profundamente para a fluidez do trabalho.

Gostaríamos de agradecer também ao nosso estimado amigo Felipe Jesus, tanto pelas dicas quanto pelo auxílio em relação aos ensaios laboratoriais.

Agradecemos também aos nossos pais por nos proporcionarem condições financeiras e psicológicas para nos graduarmos engenheiros civis, só por isso, agora, temos a oportunidade de estarmos concluindo uma pós graduação.

E, por fim, agradecemos a Deus que nos proporcionou saúde, sabedoria e força para realizarmos um trabalho colaborativo para a área de Patologia em Obras Civis.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é comparar o grau de fissuração de argamassas de emboço contendo cinco composições diferentes, sendo que algumas possuem aditivo plastificante, outras contêm cal hidratada CH-I, outras têm cal hidratada CH-III e uma argamassa possui somente aditivo plastificante e cimento CP II-F, sem adição de cal. O método utilizado para esse presente trabalho foi primeiramente pré determinar traços em massa para cada tipo de argamassa, sendo que a quantidade de água foi pesada dependendo da trabalhabilidade da argamassa, sabendo que aditivos plastificantes e o tipo de cal hidratada influenciam na quantidade da mesma. Na sequência aplicou-se essas argamassas em cinco painéis protótipos onde foi mensurado cada grau de fissuração. Para acompanhar o avanço nas fissuras, foram feitas medições periódicas a cada sete dias até completar vinte oito dias. A metodologia empregada para medir as fissuras foi através da cola de barbante contornando as fissuras, assim, podia-se medir seus comprimentos com maior precisão, e, para medir as espessuras, foi utilizado fissurômetro. Os resultados mostraram que as argamassas que contêm aditivo plastificante misturado com cal hidratada fissuram menos em relação as outras, e que as argamassas utilizando cal hidratada tipo CH-I fissuram menos quando comparadas a cal hidratada tipo CH-III. Conclui-se então que o emprego de aditivos plastificantes é significativo para a redução do grau de fissuração em argamassas de emboço e, conseqüentemente, o não surgimento de fissuras garante o conforto visual, a satisfação do cliente e a valorização do trabalho

Palavras chave: grau de fissuração, argamassas de emboço, cal hidratada CH-I, cal hidratada CH-III, aditivo plastificante, cimento CP II-F.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de revestimento (PARENTE, 2018)	17
Figura 2. Exigências químicas da cal hidratada (NBR 7175:2003)	26
Figura 3. Exigências físicas da cal hidratada (NBR 7175:2003)	26
Figura 4. Desempenho da argamassa de cimento com e sem aditivo (AILTCIN et al., 1994).....	29
Figura 5. Fluxograma (Autores, 2021).....	33
Figura 6. Delimitação painéis protótipos (Os Autores, 2021).....	35
Figura 7. Determinação do teor de umidade da areia (Os Autores, 2021).....	36
Figura 8. Materiais utilizados nas composições (Os Autores, 2021)	41
Figura 9. Pesagem dos materiais da composição (Os Autores, 2021).....	42
Figura 10. Rodagem das argamassas de emboço (Os Autores, 2021).....	42
Figura 11. Execução dos painéis protótipos (Os Autores, 2021)	42
Figura 12. Painéis protótipos concluídos (Os Autores, 2021).....	43
Figura 13. Consistência das argamassas (Os Autores, 2021).....	43
Figura 14. Destacamento das fissuras dos painéis protótipos 01 e 02 (Os Autores, 2021)	44
Figura 15. Destacamento das fissuras dos painéis protótipos 03 e 04 (Os Autores, 2021)	45
Figura 16. Medição do comprimento de cada uma das fissuras dos painéis protótipos (Os Autores, 2021).....	46
Figura 17. Medição da espessura de cada uma das fissuras dos painéis protótipos (Os Autores, 2021)	46
Figura 18. Teste do risco (Recomendações Técnicas HABITARE – Volume 1, 2005)	47
Figura 19. Teste da lixa (Recomendações Técnicas HABITARE – Volume 1, 2005)	47
Figura 20. Teste de percussão (Recomendações Técnicas HABITARE – Volume 1, 2005)	48

Figura 21. Execução das avaliações qualitativas complementares (Os Autores, 2021)	48
Figura 22. Gráfico do grau de fissuração progressivo dos painéis protótipos (Os Autores, 2021)	50
Figura 23. Gráfico do grau de fissuração acumulado dos painéis protótipos com 28 dias de idade (Os Autores, 2021)	51
Figura 24. Gráfico contendo a espessura média das fissuras dos painéis protótipos com 28 dias de idade (Os Autores, 2021).....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação das argamassas (COSTA, 2016. ADAPTADO DE CARASEK, 2007, pg. 865).....	20
Quadro 2. Classificação das argamassas quanto suas funções (COSTA, 2016. Adaptado de Carasek, pg. 865 (2007)	21
Quadro 3. Classificação das argamassas de revestimento em função do aglomerante (NBR 13530, 1995)	22
Quadro 4. Quadro de avaliações qualitativas do chapisco (Os Autores, 2021). 34	
Quadro 5. Traço da argamassa do painel protótipo 01 (Os Autores, 2021).....	37
Quadro 6. Avaliações qualitativas da argamassa do painel protótipo 01 (Os Autores, 2021).	38
Quadro 7. Traço da argamassa do painel protótipo 02 (Os Autores, 2021).....	38
Quadro 8. Avaliações qualitativas da argamassa do painel protótipo 02 (Os Autores, 2021)	38
Quadro 9. Traço da argamassa do painel protótipo 03 (Os Autores, 2021).....	39
Quadro 10. Avaliações qualitativas da argamassa do painel protótipo 03 (Os Autores, 2021)	39
Quadro 11. Traço da argamassa do painel protótipo 04 (Os Autores, 2021).....	40
Quadro 12. Avaliações qualitativas da argamassa do painel protótipo 04 (Os Autores, 2021)	40
Quadro 13. Traço da argamassa do painel protótipo 05 (Os Autores, 2021).....	41
Quadro 14. Avaliações qualitativas da argamassa do painel protótipo 05 (Os Autores, 2021)	41
Quadro 15. Quadro de avaliações qualitativas (Os Autores, 2021)	48
Quadro 16. Resultados do monitoramento dos painéis protótipos com 1 dia de idade (Os Autores, 2021)	49
Quadro 17. Resultados do monitoramento dos painéis protótipos com 7 dias de idade (Os Autores, 2021)	49
Quadro 18. Resultados do monitoramento dos painéis protótipos com 14 dias de idade (Os Autores, 2021)	50

Quadro 19. Resultados acumulados do monitoramento dos painéis protótipos com 28 dias de idade (Os Autores, 2021).....51

Quadro 20. Classificação das argamassas - Desempenho (Os Autores, 2021)..61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela de avaliações qualitativas (Os Autores, 2021).....	52
---	----

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	PROBLEMA DE PESQUISA.....	13
1.2.	OBJETIVOS.....	14
1.2.1.	OBJETIVO GERAL.....	14
1.2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.3.	HIPÓTESE	14
1.4.	JUSTIFICATIVAS	14
1.4.1.	TECNOLÓGICA E ECONÔMICA.....	14
1.4.2.	ECOLÓGICA.....	15
1.4.3.	SOCIAL	16
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1.	SISTEMAS DE REVESTIMENTO	17
2.1.1.	Substrato	18
2.1.2.	Chapisco.....	18
2.1.3.	Emboço	18
2.1.4.	Reboco	19
2.1.5.	Revestimento de Decoração.....	19
2.2.	ARGAMASSA	19
2.2.1.	Aglomerantes	22
2.2.2.	Adição de Água	23
2.2.3.	Cura.....	23
2.3.	TIPOS DE CAL	24
2.3.1.	CAL	24
2.3.2.	Cal Hidratada	25
2.3.3.	Anidrido carbônico.....	26

2.3.4.	Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado	27
2.3.5.	Óxidos totais.....	27
2.3.6.	Finura	27
2.3.7.	Retenção de Água.....	27
2.4.	ADITIVOS	27
2.4.1.	Aditivos Plastificantes	28
2.5.	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	29
2.5.1.	Fissuras	29
2.5.1.1.	Fissuras Mapeadas	31
2.5.1.2.	Fissuras Geométricas	32
2.5.1.3.	Pulverulência	32
2.6.	GRAU DE FISSURAÇÃO	32
3.	PROGRAMA EXPERIMENTAL	32
3.1.	DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO PROGRAMA.....	33
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	49
4.1.	MONITORAMENTO DOS PAINÉIS PROTÓTIPOS	49
4.2.	AVALIAÇÕES QUALITATIVAS COMPLEMENTARES.....	52
4.2.1.	Painel Protótipo 01	53
4.2.1.1.	Grau de Fissuração.....	53
4.2.1.2.	Aspectos Visuais.....	53
4.2.1.3.	Dureza Superficial	53
4.2.1.4.	Resistência a Abrasão	53
4.2.1.5.	Aderência.....	54
4.2.2.	Painel Protótipo 02	54
4.2.2.1.	Grau de Fissuração.....	54

4.2.2.2.	Aspectos Visuais.....	54
4.2.2.3.	Dureza Superficial	55
4.2.2.4.	Resistência a abrasão	55
4.2.2.5.	Aderência.....	55
4.2.3.	Painel Protótipo 03	55
4.2.3.1.	Grau de Fissuração.....	55
4.2.3.2.	Aspectos Visuais.....	56
4.2.3.3.	Dureza Superficial	56
4.2.3.4.	Resistência a Abrasão	56
4.2.3.5.	Aderência.....	56
4.2.4.	Painel Protótipo 04	57
4.2.4.1.	Grau de Fissuração.....	57
4.2.4.2.	Aspectos Visuais.....	57
4.2.4.3.	Dureza Superficial	57
4.2.4.4.	Resistência a Abrasão	57
4.2.4.5.	Aderência.....	58
4.2.5.	Painel Protótipo 05	58
4.2.5.1.	Grau de Fissuração.....	58
4.2.5.2.	Aspectos Visuais.....	58
4.2.5.3.	Dureza Superficial	59
4.2.5.4.	Resistência a Abrasão	59
4.2.5.5.	Aderência.....	59
4.3.	ANÁLISES GERAIS.....	59
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	62
5.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62

5.2. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	63
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
APÊNDICE A – GRANULOMETRIA DA AREIA	70
APÊNDICE B – ABSORÇÃO DE ÁGUA DA AREIA	74
APÊNDICE C – MASSA ESPECÍFICA DA AREIA	77
APÊNDICE D - MASSA UNITÁRIA E VAZIOS DA AREIA	80
APÊNDICE E – MATERIAL PULVERULENTO	85
APÊNDICE F – TEOR DE ARGILA E MATERIAIS FRIÁVEIS.....	87
APÊNDICE G – INCHAMENTO DO AGREGADO MIÚDO	89

1.INTRODUÇÃO

A temática principal deste trabalho é o estudo da fissuração entre argamassas de revestimento contendo em sua composição a cal hidratada e aditivos plastificantes.

O estudo da fissuração das argamassas de revestimento é de grande complexidade por conta das diversas variáveis que a envolve, que vão das propriedades dos materiais constituintes na argamassa, condição de exposição da mesma quando aplicada, qualidade da mão de obra no momento da aplicação e no momento da cura, que quando mal executada pode ser mais significativa no resultado final do que todas as outras variáveis influentes na fissuração (PEÑA, 2004).

Segundo o manual de revestimento da ABCP (2002), deve-se evitar a fissuração dos revestimentos, isto porque, além do perder sua capacidade de estanqueidade, pode prejudicar a capacidade de aderência em torno da região fissurada, possibilitando deslocamentos, comprometendo a integridade física e psicológica de usuários, bem como a durabilidade do material final previsto.

Dessa maneira fundamenta-se a utilização do programa experimental considerando a aplicação das argamassas com diferentes composições de cal hidratada e aditivo plastificante, a fim de comparar o comportamento final do revestimento.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

As diferentes classes de cal hidratada e a adição de aditivo plastificante na composição das argamassas de emboço influenciam no grau de fissuração das mesmas?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Comparar o grau de fissuração total entre argamassas de emboço compostas com cal hidratada I, cal hidratada III e com adição de aditivo plastificante.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Comparar o grau de fissuração progressivo entre argamassas de emboço compostas com cal hidratada I, cal hidratada III e com adição de aditivo plastificante.
- b) Avaliar visualmente a ocorrência de possíveis manifestações patológicas para as diferentes composições de argamassas de emboço.
- c) Avaliar a resistência superficial, a resistência a abrasão e a aderência para as diferentes composições de argamassas de emboço.

1.3. HIPÓTESE

Presume-se que o uso da cal hidratada I na composição da argamassa de emboço apresenta menor grau de fissuração quando comparado ao uso da cal hidratada III. Bem como a não utilização da cal hidratada resulta no baixo desempenho da argamassa de emboço.

1.4. JUSTIFICATIVAS

1.4.1. TECNOLÓGICA E ECONÔMICA

Segundo ADEMI (2018), a cal é um produto muito antigo, utilizado no mundo todo em vários setores, mas principalmente, na construção civil. A cal é uma

rocha sedimentar rica em minerais, extraída do calcário, e é usado para unir e revestir alvenarias, pelas suas características plásticas e de durabilidade que agrega às argamassas. Vale ressaltar, que mesmo depois de muito tempo usado, a cal continua sendo usada nas obras civis pois, não existe nenhuma comprovação de um componente, natural ou químico, que substitua a cal com a devida eficiência, ou seja, a cal é um material tecnológico e eficiente na engenharia, e influente no mercado da construção. Segundo o Gerente comercial da corporação gaúcha Dagoberto Barcellos S.A (Grupo DB), Carlos Cavalheiro destaca a versatilidade do produto:

“O que existe é uma ideia errônea de que se tornou possível produzir um substituto químico para a cal em laboratório. Na verdade, não há nenhuma comprovação de que qualquer produto possa substituí-la com a resistência e a qualidade nem sequer aproximadas”.

Já os aditivos alteram as propriedades da argamassa, de forma que, atuem para uma melhor trabalhabilidade, um poder maior de aglomerante, e consequentemente, contribuindo para uma melhor aderência entre a argamassa e o substrato. Além disso, a água é o componente fundamental para manter uma boa trabalhabilidade à argamassa, porém, com o uso do aditivo correto, não é necessário usar a quantidade de água para uma argamassa comum, e sim, uma quantidade bem menor da mesma. Portanto, presume-se que o aditivo possui um efeito de aperfeiçoar a eficácia da água na pasta de cimento, reduzindo o efeito de retração, oferecendo mais durabilidade e resistência à argamassa, consequentemente, *reduzindo o grau de fissuração*.

Enfim, observa-se uma praticidade na execução do serviço de revestimento, o que aumenta a produtividade do profissional que está executando o serviço, reduzindo tempo e custos extras.

1.4.2. ECOLÓGICA

Na prática encontrada no próprio canteiro de obras, é comprovado que a cal e o aditivo podem facilitar o uso e manuseio do material, e assim, evitar o desperdício e o retrabalho.

Além de atuar como *bactericida e fungicida*, a cal pode contribuir diretamente com a natureza, assim como os aditivos, que certamente, estimulam a racionalização da água e de produção do cimento, que estão ligadas diretamente a extração de recursos naturais.

A população sempre buscou na natureza as condições necessárias para seu desenvolvimento. Esse processo ocorreu de forma desequilibrada sem considerar as limitações impostas às áreas de maior fragilidade ambiental. Os padrões e efeitos referentes às pressões sobre o meio ambiente gerados pelo consumidor são preocupantes uma vez que estes não fazem uso priorizando apenas as suas necessidades básicas e individuais de alimentação, habitação e outras, mas sim, de um processo exploratório que vai além da capacidade de suporte do planeta (FELDMANN, 2007).

Porém, tratando-se das atividades para a cal de maneira correta, com um plano de gestão ambiental, preocupada com o impacto ambiental e com atividades norteadas pela responsabilidade, baseado na ISO 14001, pode-se ser muito eficaz a atividade desse material, seja economicamente, tecnologicamente, sustentavelmente e socialmente.

1.4.3. SOCIAL

Uma composição de argamassa comum adicionada a um produto químico poderá tornar a argamassa, um componente de propriedade autonivelante e de maior qualidade, valorizando a aplicação do material e facilitando para um bom acabamento à parede.

Além disso, pelo fato de os aditivos reduzirem as fissuras no emboço, conseqüentemente, o não surgimento de fissuras garante o conforto visual, a satisfação do cliente e a valorização do trabalho de quem faz o serviço, evitando eventuais desentendimentos entre prestadores de serviços e clientes.

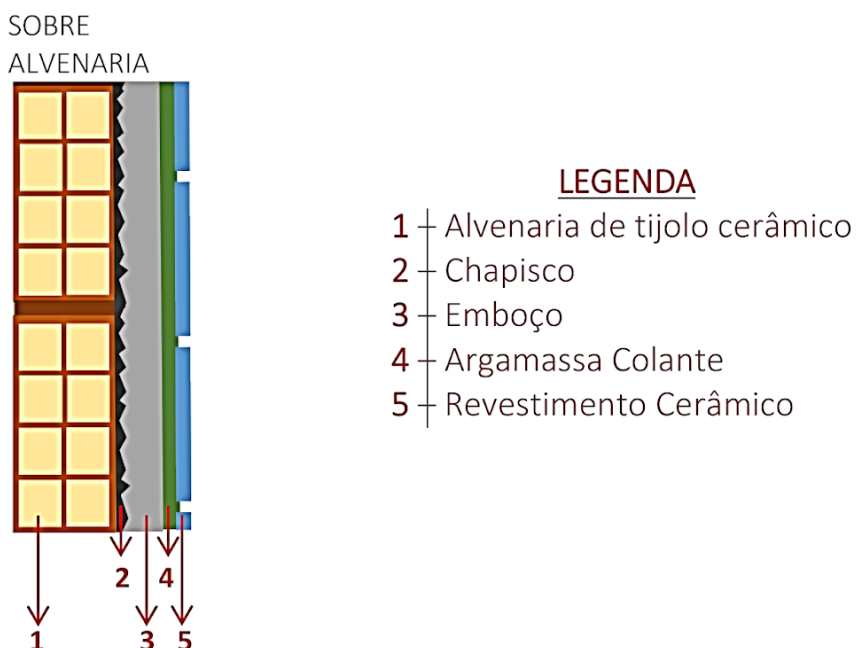
2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentado a base teórica dos temas abordados no trabalho, bem como, os principais conceitos e elementos utilizados para subsidiar esse estudo.

2.1. SISTEMAS DE REVESTIMENTO

O revestimento é um acabamento, que tem o objetivo de proteger contra agentes externos e dar uma boa aparência à construção. O revestimento é aplicado sobre a alvenaria, e possui alguns tipos, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1. Sistema de revestimento (PARENTE, 2018)
SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO



Na construção civil existem três tipos de revestimentos: revestimento de paredes, revestimento de pisos e revestimento de tetos ou forro, no qual, o caso do respectivo trabalho é o revestimento de paredes.

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), sistema de revestimento, em termos gerais, apresenta-se como o conjunto “formado por revestimento de argamassa e

acabamento decorativo, compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto”.

O Sistema de revestimento nas paredes é composto por: substrato, o emboço, a argamassa colante, cerâmica e argamassa de rejuntamento (AZEREDO, 2007).

2.1.1. Substrato

De acordo com a NBR 7200 (ABNT, 1998) as bases de revestimentos precisam ser planas. O substrato é essencial para se iniciar estes requisitos, pois, se começar desregular, possivelmente no final vai permanecer desregular.

2.1.2. Chapisco

Tozzi (2009) explica que chapisco se refere à primeira parte do preparo da base, utilizado para aumentar a resistência de aderência do revestimento e regularização da absorção da base. O autor cita que qualquer superfície a ser chapiscada precisa ser devidamente limpa antes da execução desta etapa.

2.1.3. Emboço

Segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998), compreende-se como emboço, a camada com função de regularização, cuja espessura deve ser entre 15 mm e 25 mm. Deve também ser aplicado sobre a base previamente preparada sempre garantindo o esquadro do ambiente. O emboço só poderá ser executado depois da pega do chapisco de base. Orienta-se que sejam obedecidos três dias de idade para o chapisco para a aplicação do emboço.

Nos dias atuais, devido ao uso das argamassas industrializadas, o emboço faz também o papel de reboco. Deste modo, o seu acabamento pode ser feito com desempenadeira de feltro. A espessura do emboço não deve ultrapassar 2,5 cm em áreas internas e 3 cm em áreas externas (SABATTINI, 2007).

2.1.4. Reboco

O reboco também é definido como sendo a última camada de preparo da base, aplicada sobre o emboço e deve ter no máximo 30 mm de espessura. Na maioria das vezes, a pintura é aplicada sobre o reboco, por isso ele não poderá apresentar fissuras (FIORITO, 2004).

2.1.5. Revestimento de Decoração

Após o preparo da base (chapisco, emboço e reboco) a superfície se encontra em condições para receber o revestimento decorativo final que poderá ser feito com cerâmica, pintura, azulejo, textura, entre outros. A referida etapa do revestimento tem como principal função a estética.

2.2. ARGAMASSA

A definição para o termo argamassa nada mais é que a mistura dos aglomerantes e agregados juntamente com água, gerando uma pasta com poder de aderência e endurecimento, deixando a estrutura rígida (FIORITO, 2009).

Segundo Manual do Revestimento da ABCP (2002), argamassa de revestimento é uma mistura homogênea de aglomerantes (cal e cimento), agregados (areia), água. Para conferir propriedades à argamassa podem ser utilizados aditivos.

O agregado é definido por Bauer (2005), como sendo o esqueleto das argamassas de revestimento. Os agregados têm influência direta nas propriedades das argamassas: retração, módulo de deformação, resistência mecânica entre outras.

Quadro 1. Classificação das argamassas (COSTA, 2016. ADAPTADO DE CARASEK, 2007, pg. 865)

Critério de classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	• Argamassa aérea • Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerante	• Argamassa de cal • Argamassa de cimento • Argamassa de cimento e cal • Argamassa de gesso • Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	• Argamassa simples • Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	• Argamassa seca • Argamassa plástica • Argamassa fluida
Quanto à plasticidade da argamassa	• Argamassa pobre ou magra • Argamassa média ou cheia • Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa da argamassa	• Argamassa leve • Argamassa normal • Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	• Argamassa preparada em obra • Argamassa industrializada • Argamassa dosada em central • Mistura semi pronta para argamassa

Quadro 2. Classificação das argamassas quanto suas funções (COSTA, 2016.
Adaptado de Carasek, pg. 865 (2007)

Função	Tipos
Para construção de alvenarias	• Argamassa de assentamento • Argamassa de fixação (ou encunhamento) - alvenaria de vedação
Para revestimento de paredes e tetos	• Argamassa de chapisco • Argamassa de emboço • Argamassa de reboco • Argamassa de camada única • Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de piso	• Argamassa de contra piso • Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos)	• Argamassa de assentamento de peças de cerâmica colante • Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	• Argamassa de reparo

A NBR 13530, 1995 apresenta uma classificação das argamassas de revestimento em função do aglomerante conforme o Quadro 3.

Quadro 3. Classificação das argamassas de revestimento em função do aglomerante (NBR 13530, 1995)

Natureza do aglomerante	Aglomerante Aéreo
	Aglomerante Hidráulico
Tipo de aglomerante	Argamassa de Cal
	Argamassa de Cimento
	Argamassa de cimento e cal
Número do aglomerante	Argamassa simples
	Argamassa mista

O ensaio de pega não é muito representativo para argamassa, mas para entender o mesmo e identificá-lo é fundamental para a execução dos trabalhos de revestimento, seja no preparo, transporte, aplicação, e principalmente, ao reaproveitamento de argamassa (BAUER, 2005 apud CÂNDIDO, 2011).

Cândido (2011) ressalta que a inspeção e o recebimento do revestimento se dão com base na NBR 13749 e nas especificações de projeto, devendo ser relatado as irregularidades ou eventuais fenômenos patológicos observados. Caso haja alguma intervenção, todo revestimento pré-executado deve novamente passar por inspeção de recebimento, e estar em conformidade com a NBR 13749.

2.2.1. Aglomerantes

Os aglomerantes são utilizados para fazer a ligação entre os grãos dos agregados nas argamassas. Os dois tipos de aglomerantes mais utilizados são cimento e cal, por causa de suas composições químicas, finura e capacidade de solidificar, além de conferir a argamassas propriedades como aderência e resistência (DUBAJ, 2000).

Segundo Dubaj (2000), a composição química do cimento é a maior responsável por seu comportamento, mas a finura do material também é importante. Quanto maior a finura do cimento maior sua capacidade aglutinante e com isso há um aumento de sua resistência, além de ajudar em uma melhor retenção de água. O cimento

ideal para argamassas deve apresentar o pega e ganho de resistência gradativo para não sofrer fissuras devido a retração hidráulica e a secagem.

Segundo Cândido (2011), o cimento é o principal responsável pelo desenvolvimento das propriedades mecânicas das argamassas de revestimento, sendo que o aumento na quantidade de cimento aumenta-se as propriedades mecânicas da argamassa.

2.2.2. Adição de Água

A água é o componente da argamassa que proporciona a reação entre os materiais. Embora seja utilizada para regular a consistência da mistura para se obter trabalhabilidade da argamassa, sua adição deve ser controlada e respeitar o teor pré-estabelecido no projeto (Manual de Revestimento da ABCP, 2002).

Segundo Cândido (2011), a adição de água à argamassa de revestimento no momento da aplicação, por exemplo, reduz a resistência mecânica e contribui para o surgimento de fissuras devido a retração. Além disso, cita possíveis causas que justificam a adição de água, que são:

- Baixa trabalhabilidade da argamassa;
- Produção de grandes volumes;
- Reaproveitamento de argamassa.

2.2.3. Cura

Segundo (SILVA; DINIZ; RIBEIRO; OLIVEIRA; GOMES, 2012), a cura é essencial para a hidratação do cimento. Entende-se por cura, seja do concreto ou da argamassa, um conjunto de medidas que têm por objetivo evitar a evaporação da água utilizada na mistura do composta (concreto ou argamassa), a qual deverá reagir com o cimento, hidratando-o (BAUER, 2001).

Segundo a dissertação de (Moura, 2007), existem inúmeras variáveis que podem influenciar no desempenho do revestimento, sendo elas a camada de preparo, o tratamento superficial do substrato, os materiais, a execução e as condições de cura. Para

esses casos, existe-se os casos controláveis, como os materiais, mas também, existem os casos não controláveis. A cura é influenciada pela temperatura e pela ação do vento, e não são devidamente controláveis.

2.3. TIPOS DE CAL

2.3.1. CAL

A cal é um aglomerante aéreo que tem seu endurecimento devido a secagem e a reação com o anidrido carbônico presente na atmosfera. A cal é empregada em argamassas, pois confere às argamassas a capacidade de absorver deformações além de garantir a estanqueidade do revestimento (DUBAJ, 2000).

A cal é importante peça nas argamassas, pois traz benefícios e gera economia na execução. Seu poder aglomerante auxilia na união dos grãos de areia que fazem parte da argamassa, trabalhando como uma espécie de cola, além de melhorar a trabalhabilidade da argamassa (COELHO, 2009).

Segundo Cândido (2011), a cal é uma aglomerante cujo princípio de ação é regido pela carbonatação, processo onde a cal adquire rigidez, onde a cal se torna carbonato de cálcio pela fixação do gás carbônico da atmosfera. Além disso, quando a cal virgem entra em contato com a água ocorre a hidratação da cal, sendo que esta reação é exotérmica e deve durar no mínimo 24 horas.

Segundo Paiva, nas argamassas, a cal forma com a água e os inertes que a encorpam, uma mistura pastosa que penetra nas reentrâncias e vazios dos blocos construtivos, cimentando-os, principalmente pela recristalização dos hidróxidos e de sua reação química com o anidrido carbônico do ar. Durante o endurecimento, as partículas muito finas de hidróxidos se aglomeram, formando cristais que aumentam em número e tamanho à medida que a água se evapora. Esses cristais se entrelaçam, formando uma malha resistente que retém os agregados. Do ponto de vista técnico, a cal pode proporcionar às argamassas qualidade de desempenho com relação à função de aglomerante, à melhora na trabalhabilidade, ao aumento da resistência à penetração e à

capacidade de retenção de água, além da contribuição na questão da deformabilidade e da resistência (GUIMARÃES, 1998).

O Manual de Revestimento da ABCP (2002) traz características de dois tipos de argamassa, uma somente com cal e outra mista, com cal e cimento. Na argamassa que possui apenas cal, o mesmo funciona como aglomerante da mistura conferindo boa trabalhabilidade e capacidade de absorver deformações a argamassa. Neste caso a aderência e a resistência mecânica são reduzidas. Já na argamassa mista a cal ajuda na retenção de água da argamassa, além de contribuir para a hidratação do cimento, trabalhabilidade e capacidade de absorver deformações.

2.3.2. Cal Hidratada

Segundo o Inmetro (2021) a cal hidratada é um pó seco, obtida pela hidratação adequada de cal virgem, constituída por hidróxido de cálcio ou da mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

A produção de cal virgem e de cal hidratada e o endurecimento da argamassa pertencem a um ciclo de reações que se inicia pela decomposição do constituinte principal da matéria-prima, o carbonato, terminando pela sua regeneração no endurecimento da argamassa, como resultado da ação do anidrido carbônico do ar. Além disso, a cura recomendada da mesma pode ser claramente demonstrada em um período de 63 dias.

Conforme a NBR 7175 (ABNT, 2003), a cal hidratada deve ter as mesmas exigências físicas e químicas estabelecidas nas Figuras 2 e 3, sendo que existem três tipos: CH-I, CH-II e CH-III.

Figura 2. Exigências químicas da cal hidratada (NBR 7175:2003)

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Anidrido carbônico (CO ₂)	Na fábrica	≤ 5 %	≤ 5 %	≤ 13 %
	No depósito	≤ 7 %	≤ 7 %	≤ 15 %
Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado (CaO+MgO) ¹⁾		≤ 10 %	≤ 15 %	≤ 15 %
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO _t + MgO _t) ²⁾		≥ 90 %	≥ 88 %	≥ 88 %

Figura 3. Exigências físicas da cal hidratada (NBR 7175:2003)

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Finura (% retida acumulada)	Peneira 0,600 mm	≤ 0,5 %	≤ 0,5 %	≤ 0,5 %
	Peneira 0,075 mm	≤ 10 %	≤ 15 %	≤ 15 %
Retenção de água		≥ 75 %	≥ 75 %	≥ 70 %
Incorporação de areia		≥ 3,0	≥ 2,5	≥ 2,2
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		≥ 110	≥ 110	≥ 110

As definições dos compostos estabelecidos nas Figuras 2 e 3 se encontram a seguir.

2.3.3. Anidrido carbônico

Conforme Inmetro (2021), o anidrido carbônico representa o gás carbônico (CO₂), relacionado com o tempo de queima da rocha que forma a cal virgem. Se tiver

excesso desse gás, a capacidade da argamassa feita com cal de aderir na parede diminui, assim como a união de outros constituintes da argamassa é prejudicada.

2.3.4. Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado

Segundo Inmetro (2021), esses óxidos são aqueles que não estão hidratados, e, quanto maior sua quantidade, menor é a parcela de cal hidratada efetiva e menor o poder da argamassa feita com essa cal hidratada de aderir a parede.

2.3.5. Óxidos totais

São óxidos relacionados com a pureza da cal hidratada, sendo que quanto maior suas quantidades, menos impura é a cal (INMETRO, 2021).

2.3.6. Finura

A finura da cal está relacionado em quanto a cal hidratada foi moída, e diz respeito ao rendimento final e a trabalhabilidade da argamassa no estado fresco (ABPC, 2006).

2.3.7. Retenção de Água

Conforme Inmetro (2021), a retenção de água diz respeito a quantidade de água que a cal hidratada pode absorver sem perdê-la na aplicação da argamassa, e, quanto maior a perda, maior a probabilidade de ocorrer fissuras na argamassa.

2.4. ADITIVOS

Segundo a NBR 11768 (ABNT, 2011), aditivos são aqueles que alteram características de concretos e argamassas na condição fresca e/ou endurecida. Esses são

adicionados a mistura em até 5% da composição total no meio do processo de elaboração da argamassa.

Existem diversos tipos de aditivos, os que são estudados nesse presente trabalho são os aditivos plastificantes.

2.4.1. Aditivos Plastificantes

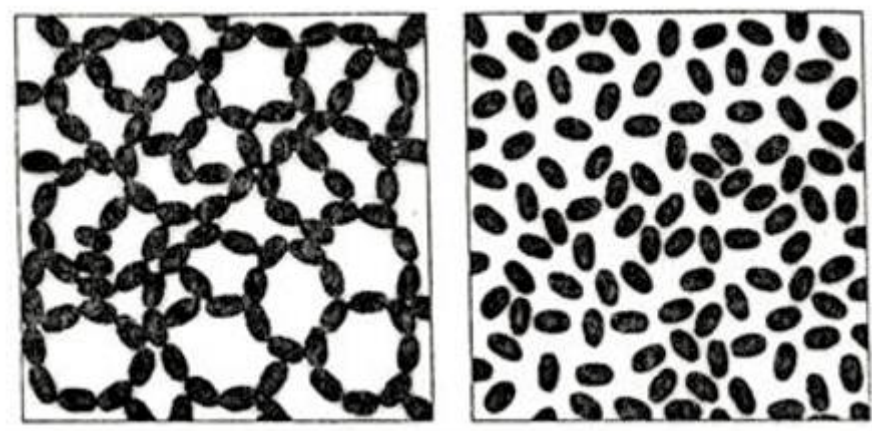
Segundo a NBR 11768 (ABNT, 2011), os aditivos plastificantes são aqueles que dão maior trabalhabilidade na mistura de argamassas e concretos, sem precisar modificar a relação água cimento da mistura. Esses aditivos, se utilizados dentro dos limites estipulados pelos fabricantes, não alteram no tempo de pega do composto.

Os aditivos plastificantes agem basicamente no afastamento das partículas de cimento, evitando a formação de torrões e aumentando a eficácia na lubrificação dos grãos de cimento através da água (MELO; MARTINS; REPETTE, 2008). Conforme Jolicoeur et al. (1998), esse fenômeno é denominado “repulsão eletrostática”, que ocorre porque as moléculas dos aditivos plastificantes, quando em meio aquoso, têm em suas superfícies a predominância de íons negativos. Sendo assim, essas moléculas são adsorvidas por fragmentos de cimento que se repelem entre eles por terem sinais iguais, conforme a Figura 4.

Segundo (Peña, 2004) os aditivos plastificantes mais comumente usados são compostos de lignossulfonatos, e, podem reduzir em, no máximo, 15 % da quantidade de água utilizada no composto, sem interferir na fluidez das argamassas e concretos. Esses polímeros derivados da lignina são de preço acessível, sendo resíduos que sobram da produção de papel e celulose. Contudo, conforme Aitcin et al. (1994), os aditivos plastificantes são constituídos de açúcares, sendo assim, não devem ultrapassar uma certa dosagem, para não alterar o tempo de pega e contribuir com o aumento da porosidade da argamassa após a pega (AİTCIN; JOLICOEUR; MACGREGOR, 1994).

Conforme Hartmann et al. (2011), o emprego de aditivo plastificante contribui com a redução dos efeitos de retração, fluência e tensões térmicas.

Figura 4. Desempenho da argamassa de cimento com e sem aditivo (AILTCIN et al., 1994)



2.5. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

2.5.1. Fissuras

A retração tem sido apontada como uma das propriedades mais significativas na fissuração da argamassa de revestimento, tendo dois fatores que influem diretamente. A composição da mistura, tendo como principal variável a relação água / cimento. E a condição da exposição, onde tem-se o período de cura, a umidade relativa do ambiente, a temperatura e vento (PEÑA, 2004).

A retração basicamente é o processo de redução de volume que ocorre na argamassa devido à perda de água excedente pelo processo de evaporação. A retração pode ser do tipo plástico, que é causada pela perda de água da argamassa por exsudação ainda em seu estado plástico. Pode ser por secagem, que se dá pela mesma forma do que a retração plástica, com a diferença que a argamassa está em seu estado endurecido. Pode ser química, pois os elementos gerados na reação desde o início da hidratação têm volumes menores do que aqueles que os originaram, resultando numa redução do volume da argamassa. Pode ser autógena, que é a saída de água da argamassa por seus polos capilares, reduzindo assim seu volume. Por fim, a retração também pode ser térmica, que ocorre devido ao calor liberado na reação de hidratação. Esse calor gera a expansão da argamassa, que ao se resfriar, reduz seu volume (PEÑA, 2004).

O uso excessivo de água na preparação de produtos a base de cimento é comum nos canteiros de obra a fim de aumentar a trabalhabilidade da pasta, facilitando o seu lançamento e aperto. Entretanto, este acréscimo pode reduzir as resistências mecânicas do revestimento, contribuindo para a ocorrência de fissuração por retração (SANTOS, C. C. N. et al.).

O mesmo acontece com o aumento significativo no teor de cimento, que faz com que o módulo de elasticidade da argamassa aumente, tornando-a mais rígida, ou seja, têm menor capacidade de se deformar sem se romper (fissurar). Por sua vez, a aderência ao substrato aumenta com um maior consumo de cimento na argamassa, o que gera uma situação de conflito, pois ao se buscar aumentar a aderência, aumenta-se também o risco de fissuração. Por isso as características de deformabilidade do sistema de revestimento são muito importantes no desempenho final do conjunto (SANTOS, C. C. N. et al.).

Uma das regiões revestidas com argamassa mais susceptível a ocorrência de fissuração é aquela localizada na interface da estrutura de concreto com a alvenaria de vedação, pois ocorre movimentação diferencial entre os dois materiais quando submetidos a variações térmicas e a sobrecargas. Além da movimentação diferencial, pode-se ter fissuração nesta região devido a desuniformidade da absorção de água entre a alvenaria e a estrutura de concreto. Como o concreto é menos absorvente que a alvenaria, a argamassa aplicada sobre ele demora mais tempo para ficar adequada para o sarrafeamento, do que a argamassa aplicada sobre a alvenaria, com isso, em um mesmo pano de argamassa, regiões sobre a alvenaria já estarão aptas a receber os serviços de sarrafeamento e desempenho, enquanto regiões sobre a estrutura de concreto não estará apta para a execução desses serviços. Nesta situação, se o sarrafeamento for realizado quando a argamassa aplicada sobre a alvenaria já estiver adequada, pode-se ter fissuração na argamassa aplicada sobre a estrutura de concreto, que ainda não estará rígida o suficiente, para resistir aos esforços gerados pelo sarrafeamento e desempenho. Já, se o sarrafeamento for executado apenas quando a argamassa aplicada sobre a estrutura de concreto estiver adequada, dificuldades serão encontradas para regularizar a argamassa aplicada sobre a alvenaria, pois esta já estará rígida (SANTOS, C. C. N. et al.).

Alguns métodos podem ser aplicados a fim de controlar a fissuração, como por exemplo, o desenvolvimento da argamassa com adição de cal hidratada, aditivos plastificantes ou aditivos estabilizadores. Estes melhoram a trabalhabilidade da argamassa com menor relação água / cimento. Trabalhar com disposição de juntas de dilatação a fim de aliviar os esforços no sistema de revestimento. A junta normalmente é caracterizada por ser executada na forma de frisos ou sulcos, ainda no estado fresco da argamassa. Também pode-se empregar um sistema de tela fina, que tem a função de dissipar a fissuração, ou seja, transformar as grandes fissuras em pequenas ou microfissuras, que sejam esteticamente identificáveis e não causem prejuízos significativos ao desempenho do revestimento (falhas de estanqueidade à água de chuva, por exemplo). Neste sentido, a tela fina deve ser posicionada internamente à camada de argamassa, ou seja, não deve estar em contato com o substrato. Os locais de uso deste tipo de tela seriam regiões potencialmente fissuráveis como: encontro pilar-alvenaria, região de encunhamento da alvenaria, região de verga e contraverga de janelas (SANTOS, C. C. N. et al.).

Segundo Cândido (2011), em argamassas com limites de resistência menores, as tensões podem surgir na forma de microfissuras nas interfaces microscópicas dos grãos do agregado e a pasta aglomerante. Nas argamassas com um limite de resistência maior, as tensões se acumulam e a ruptura ocorre na forma de fissuras macroscópicas. E ainda, ressalta que a fissuração deve ser sempre evitada pois, a aderência se torna comprometida no entorno da região fissurada.

2.5.1.1. Fissuras Mapeadas

Segundo Cândido (2011), como já diz o nome apresenta-se em forma de mapa e podem surgir por excesso de finos no traço, seja aglomerante ou finos de agregado, por excesso de desempenho ou por retração da argamassa.

2.5.1.2. Fissuras Geométricas

Segundo Cândido (2011), essas fissuras quando acompanham o contorno do componente da base, podem ser causadas devido a retração da argamassa de assentamento. Já no caso de fissuras na vertical, pode-se ser devido a retração higrotérmica do componente, interface da base constituída de materiais diferentes, locais onde deveriam ter sido previstas juntas de dilatação.

2.5.1.3. Pulverulência

Segundo Cândido (2011), a pulverulência pode surgir por causa de excesso de finos no agregado, pelo traço pobre em aglomerante, ou também, pela carbonatação insuficiente da cal, em argamassas de cal, dificultada assim pela alta temperatura e clima seco, ou até pela ação do vento.

2.6. GRAU DE FISSURAÇÃO

O índice de fissuração das argamassas de revestimentos está relacionado com diversas variáveis, como, materiais constituintes na argamassa, condição de exposição da mesma quando aplicada, qualidade da mão de obra no momento da preparação, da aplicação e da cura, que quando mal executada pode ser mais significativa no resultado final do que todas as outras variáveis influentes na fissuração (PEÑA, 2004).

3.PROGRAMA EXPERIMENTAL

O procedimento metodológico adotado será o bibliográfico descritivo baseado em livros, artigos e manuais técnicos, além da apresentação de um programa experimental.

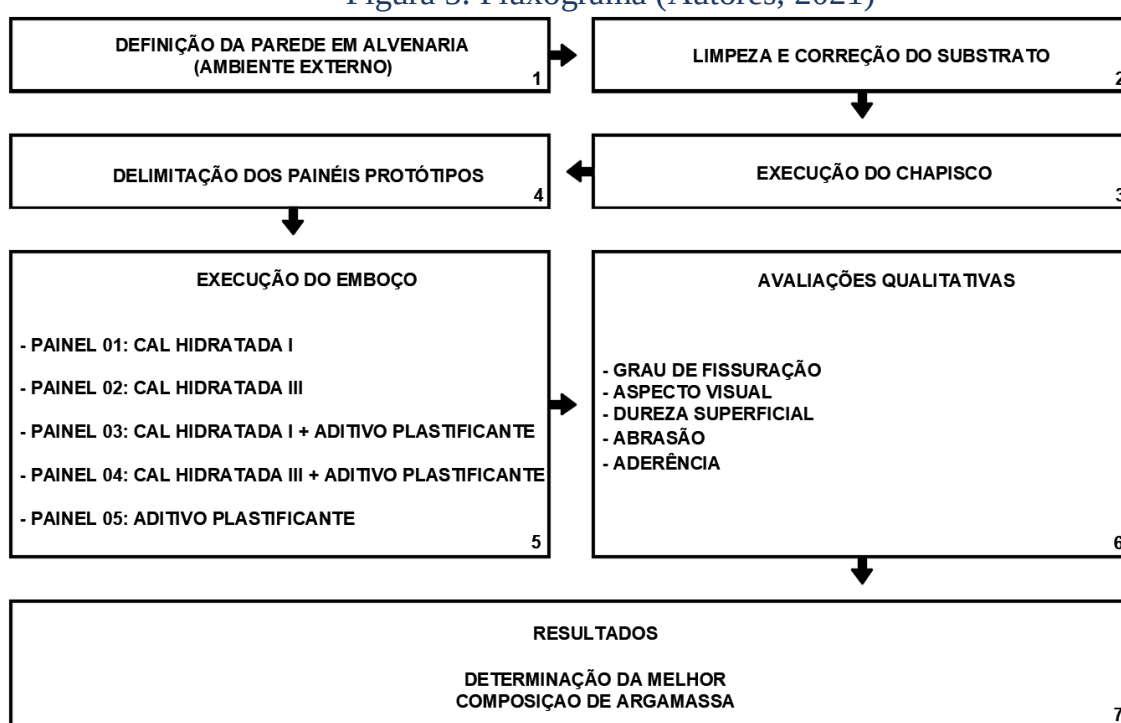
O presente programa experimental visa comparar o grau de fissuração entre cinco composições de argamassas de emboço aplicadas sobre cinco painéis protótipos

distintos, e avaliar o desempenho desses painéis em condições reais de obra quando aplicadas em alvenaria de tijolos cerâmicos em ambiente externo.

Vale salientar que para as condições reais de obra, não estão sendo levados em consideração condições ambientais tais como insolação, regime de chuvas, umidade relativa do ar, temperatura ambiente e de reação dos componentes das argamassas, ventos predominantes, poluentes na atmosfera e outros.

O fluxograma a seguir ilustra as etapas do programa experimental:

Figura 5. Fluxograma (Autores, 2021)



3.1. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO PROGRAMA

1. Definiu-se uma parede em tijolos cerâmicos em ambiente externo no ponto mais desfavorável possível em termos de ventilação e insolação.

2. Após definição da parede objeto, realizou-se a avaliação do substrato, considerando o estado de limpeza e integridade da mesma, o qual não apresentou sinais de contaminação, impregnação, buracos e rebarbas em sua superfície. Com isso, o chapisco pôde ser executado com boas chances de correta absorção e aderência.

3. A parede de alvenaria recebeu chapisco convencional, aplicado com colher de pedreiro, no traço 1:3, conforme recomendação do folheto “Mãos à Obra” desenvolvido pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, o qual contém em sua composição uma unidade de cimento CP II-Z-32 para três unidades de areia média-grossa. O chapisco recebeu cura úmida mediante aspersão de névoa de água pelo período de três dias, que conforme recomendação da NBR 7200/1998 é o tempo mínimo de cura antes da aplicação do emboço.

Antes da aplicação do emboço, fatores que pudessem comprometer as condições de aderência do revestimento foram avaliados, tais como, pulverulência, aderência, textura e espessura do chapisco, os quais estão expostos no quadro a seguir:

Quadro 4. Quadro de avaliações qualitativas do chapisco (Os Autores, 2021).

	Pulverulência	Aderência	Textura	Espessura
Ótimo	X	X		
Bom			X	X
Regular				
Ruim				

Considerando que o chapisco apresentou boas condições, pôde-se dar início a delimitação para a execução dos painéis protótipos.

4. Para a execução dos painéis protótipos, delimitou-se com ripas de 2,5 cm x 5,0 cm, cinco quadros com área de 2,00 m², sendo 1,00 m de base, 2,00 m de altura e 2,50 cm de espessura, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6. Delimitação painéis protótipos (Os Autores, 2021)



5. Após o chapisco devidamente curado e os painéis delimitados, deu-se início a rodagem das argamassas que formaram cada um dos cinco painéis protótipos. Estas argamassas de revestimento possuem traço em massa de 1:1:6, contendo em sua composição uma unidade de cimento, uma unidade de cal hidratada e seis unidades de areia, conforme recomendação do folheto “Mãos à Obra” desenvolvido pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, para revestimentos de argamassa externa. Três dos painéis ainda receberam na composição da argamassa aditivo plastificante.

Antes de se fazer qualquer mistura, o teor de umidade da areia utilizada precisou ser conhecido, a fim de se obter a quantidade total de água contida no traço e, conseqüentemente a relação água/cimento para cada composição.

Para a determinação do teor de umidade da areia no dia da execução dos painéis protótipos, executou-se no canteiro de obras o seguinte procedimento:

1. Em uma frigideira, colocou-se e pesou-se uma porção da areia em estado úmido, obtendo-se seu peso úmido.
2. Esta mesma porção de areia em estado úmido, ainda na frigideira, foi levada ao fogo até que toda a água contida nesta fosse totalmente evaporada, permanecendo somente a areia seca.
3. Após isso, a areia seca dentro da frigideira foi pesada novamente, obtendo-se seu peso seco.

Figura 7. Determinação do teor de umidade da areia (Os Autores, 2021)



Para a determinação de teor de umidade da areia utilizou-se a seguinte equação:

$$U = \frac{\text{peso umido} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100$$

Sendo:

U: Teor de umidade, expresso em porcentagem (%);

Peso úmido: Peso da areia úmida, expresso em quilograma (kg);

Peso seco: Peso da areia seca, expresso em quilograma (kg).

Cálculo do teor de umidade da areia utilizada:

$$U = \frac{0,528 - 0,452}{0,452} \times 100 = \mathbf{16,81\%}$$

Teor de umidade = 16,81%.

Conhecido o teor de umidade da areia, finalmente pôde-se executar as argamassas de revestimento que compõe os painéis protótipos, em cinco composições distintas, as quais tiveram aspectos de mistura, trabalhabilidade, tempo de puxamento e aderência inicial avaliados no seu estado fresco, conforme apresentado nos seus respectivos quadros.

A relação água / cimento das misturas foram definidas em função da trabalhabilidade da argamassa, de modo a proporcionar suficiente manuseio, otimizar a produção e minimizar a perda de material. Leia-se trabalhabilidade como poder de liga, coesão, exsudação e plasticidade.

A relação A/C obtida para o traço da argamassa do painel protótipo 01 foi repetida para o traço da argamassa do painel protótipo 02, onde ambos são compostos pela mesma composição, alterando somente a classe da cal hidratada.

Para a argamassa do painel protótipo 03, onde além da cal hidratada, ainda possui na composição o aditivo plastificante, foi definido uma nova relação A/C, em função da boa trabalhabilidade da mesma, e esta relação foi repetida para o traço do painel protótipo 04, que é composta pela mesma composição do painel 03, alterando somente a classe da cal hidratada.

Para a argamassa do painel protótipo 05, que não contém cal hidratada em sua composição, foi definido uma nova relação A/C em função da boa trabalhabilidade da mesma.

As argamassas de revestimento receberam cura úmida mediante aspersão constante de água pelo período de vinte e quatro horas após execução do acabamento, conforme recomendação da NBR 7200/1998.

5.1 O painel protótipo 01 recebeu a argamassa de revestimento com traço em massa de 1:1:6, contendo em sua composição uma unidade de cimento Votoran CP II-Z-32, uma unidade de **cal hidratada I** da marca Hidra e seis unidades de areia seca com módulo de finura 2 (caracterizada em laboratório, conforme APÊNDICES A ao G).

Quadro 5. Traço da argamassa do painel protótipo 01 (Os Autores, 2021)

PAINEL PROTÓTIPO 01						
TRAÇO 1 : 1 : 6 - CIMENTO : CAL HIDRATADA I : AREIA						
CIMENTO (Kg)	CAL HIDRATADA I (Kg)	AREIA UMIDA (Kg)	AREIA SECA (Kg)	ÁGUA RETIDA NA AREIA (Kg)	ÁGUA EXTRA (Kg)	ÁGUA TOTAL (Kg)
8,756	5,418	21,944	18,786	-	6,536	-
7,920	5,348	22,022	18,853	-	6,705	-
-	5,520	21,770	18,637	-	-	-
-	0,390	21,796	18,659	-	-	-
-	-	21,394	18,315	-	-	-
-	-	7,949	6,805	-	-	-
16,676	16,676	116,875	100,056	16,819	13,241	30,060
* Teor de umidade da areia:		16,81%	* Relação A/C:		1,80	

Quadro 6. Avaliações qualitativas da argamassa do painel protótipo 01 (Os Autores, 2021).

	Mistura	Trabalhabilidade	Tempo de puxamento	Aderência inicial
Ótimo	X			X
Bom		X	X	
Regular				
Ruim				

5.2 O painel protótipo 02 recebeu a argamassa de revestimento com traço em massa de 1:1:6, contendo em sua composição uma unidade de cimento Votoran CP II-Z-32, uma unidade de **cal hidratada III** da marca Hidra e seis unidades de areia seca com módulo de finura 2 (caracterizada em laboratório, conforme APÊNDICES A ao G).

Quadro 7. Traço da argamassa do painel protótipo 02 (Os Autores, 2021)

PAINEL PROTÓTIPO 02						
TRAÇO 1 : 1 : 6 - CIMENTO : CAL HIDRATADA III : AREIA						
CIMENTO (Kg)	CAL HIDRATADA III (Kg)	AREIA UMIDA (Kg)	AREIA SECA (Kg)	ÁGUA RETIDA NA AREIA (Kg)	ÁGUA EXTRA (Kg)	ÁGUA TOTAL (Kg)
9,034	4,586	20,470	17,524	-	6,904	-
8,000	4,702	21,396	18,317	-	6,624	-
-	5,148	21,522	18,425	-	-	-
-	2,598	21,172	18,125	-	-	-
-	-	20,960	17,944	-	-	-
-	-	13,864	11,869	-	-	-
17,034	17,034	119,384	102,204	17,180	13,528	30,708
* Teor de umidade da areia:		16,81%	* Relação A/C:		1,80	

Quadro 8. Avaliações qualitativas da argamassa do painel protótipo 02 (Os Autores, 2021)

	Mistura	Trabalhabilidade	Tempo de puxamento	Aderência inicial
Ótimo	X			X
Bom		X	X	
Regular				
Ruim				

5.3 O painel protótipo 03 recebeu a argamassa de revestimento com traço em massa de 1:1:6 mais aditivo plastificante, contendo em sua composição uma unidade de cimento Votoran CP II-Z-32, uma unidade de **cal hidratada I** da marca Hidra, seis unidades de areia seca com módulo de finura 2 (caracterizada em laboratório, conforme APÊNDICES A ao G) e 100 ml de aditivo plastificante Quartzolit para cada 50 kg de cimento utilizado, conforme recomendação descrita na ficha técnica do produto.

Quadro 9. Traço da argamassa do painel protótipo 03 (Os Autores, 2021).

PAINEL PROTÓTIPO 03							
TRAÇO 1 : 1 : 6 - CIMENTO : CAL HIDRATADA I : AREIA + ADITIVO PLASTIFICANTE							
CIMENTO (Kg)	CAL HIDRATADA I (Kg)	AREIA UMIDA (Kg)	AREIA SECA (Kg)	ÁGUA RETIDA NA AREIA (Kg)	ÁGUA EXTRA (Kg)	ÁGUA TOTAL (Kg)	ADITIVO PLASTIFICANTE (ml)
9,618	4,648	21,120	18,081	-	5,266	-	-
9,570	4,846	19,962	17,089	-	2,728	-	-
-	4,928	20,500	17,550	-	-	-	-
-	4,472	21,654	18,538	-	-	-	-
-	0,294	20,876	17,872	-	-	-	-
-	-	21,444	18,358	-	-	-	-
-	-	8,925	7,641	-	-	-	-
19,188	19,188	134,481	115,128	19,353	7,994	27,347	38,000
* Teor de umidade da areia:		16,81%	* Relação A/C:		1,43		

Quadro 10. Avaliações qualitativas da argamassa do painel protótipo 03 (Os Autores, 2021)

	Mistura	Trabalhabilidade	Tempo de puxamento	Aderência inicial
Ótimo	X	X		X
Bom			X	
Regular				
Ruim				

5.4 O painel protótipo 04 recebeu a argamassa de revestimento com traço em massa de 1:1:6 mais aditivo plastificante, contendo em sua composição uma unidade de cimento Votoran CP II-Z-32, uma unidade de **cal hidratada III** da marca Hidra, seis unidades de areia seca com módulo de finura 2 (caracterizada em laboratório, conforme APÊNDICES A ao G) e 100 ml de aditivo plastificante Quartzolit para cada 50 kg de cimento utilizado, conforme recomendação descrita na ficha técnica do produto.

Quadro 11. Traço da argamassa do painel protótipo 04 (Os Autores, 2021)

PAINEL PROTÓTIPO 04							
TRAÇO 1 : 1 : 6 - CIMENTO : CAL HIDRATADA III : AREIA + ADITIVO PLASTIFICANTE							
CIMENTO (Kg)	CAL HIDRATADA III (Kg)	AREIA UMIDA (Kg)	AREIA SECA (Kg)	ÁGUA RETIDA NA AREIA (Kg)	ÁGUA EXTRA (Kg)	ÁGUA TOTAL (Kg)	ADITIVO PLASTIFICANTE (ml)
8,320	5,422	20,354	17,425	-	6,480	-	-
8,904	5,100	21,592	18,485	-	2,921	-	-
5,085	5,010	21,198	18,147	-	-	-	-
-	4,938	20,800	17,807	-	-	-	-
-	1,839	12,666	10,843	-	-	-	-
-	-	19,790	16,942	-	-	-	-
-	-	21,020	17,995	-	-	-	-
-	-	18,935	16,210	-	-	-	-
22,309	22,309	156,355	133,854	22,501	9,401	31,902	44,600
* Teor de umidade da areia:		16,81%	* Relação A/C:		1,43		

Quadro 12. Avaliações qualitativas da argamassa do painel protótipo 04 (Os Autores, 2021)

	Mistura	Trabalhabilidade	Tempo de puxamento	Aderência inicial
Ótimo	X	X		X
Bom			X	
Regular				
Ruim				

5.5 O painel protótipo 05 recebeu a argamassa de revestimento com traço em massa de 1:0:6 mais aditivo plastificante, contendo em sua composição uma unidade de cimento Votoran CP II-Z-32, zero unidade de cal hidratada, seis unidades de areia seca com módulo de finura 2 (caracterizada em laboratório, conforme APÊNDICES A ao G) e 100 ml de aditivo plastificante Quartzolit para cada 50 kg de cimento utilizado, conforme recomendação descrita na ficha técnica do produto.

Quadro 13. Traço da argamassa do painel protótipo 05 (Os Autores, 2021)

PAINEL PROTÓTIPO 05							
TRAÇO 1 : 0 : 6 - CIMENTO : AREIA + ADITIVO PLASTIFICANTE							
CIMENTO (Kg)	CAL HIDRATADA (Kg)	AREIA UMIDA (Kg)	AREIA SECA (Kg)	ÁGUA RETIDA NA AREIA (Kg)	ÁGUA EXTRA (Kg)	ÁGUA TOTAL (Kg)	ADITIVO PLASTIFICANTE (ml)
10,066	-	20,310	17,387	-	6,734	-	-
9,238	-	20,328	17,403	-	1,980	-	-
4,628	-	21,774	18,641	-	-	-	-
-	-	21,962	18,801	-	-	-	-
-	-	21,410	18,329	-	-	-	-
-	-	20,564	17,605	-	-	-	-
-	-	11,304	9,677	-	-	-	-
-	-	14,438	12,360	-	-	-	-
-	-	15,640	13,389	-	-	-	-
23,932	0,000	167,730	143,592	24,138	8,714	32,852	44,600
* Teor de umidade da areia:		16,81%	* Relação A/C:		1,37		

Quadro 14. Avaliações qualitativas da argamassa do painel protótipo 05 (Os Autores, 2021)

	Mistura	Trabalhabilidade	Tempo de puxamento	Aderência inicial
Ótimo				
Bom	X		X	
Regular				
Ruim		X		X

As Figuras 8 até 13 ilustram a execução das argamassas e painéis protótipos.

Figura 8. Materiais utilizados nas composições (Os Autores, 2021)



Figura 9. Pesagem dos materiais da composição (Os Autores, 2021)



Figura 10. Rodagem das argamassas de emboço (Os Autores, 2021)



Figura 11. Execução dos painéis protótipos (Os Autores, 2021)



Figura 12. Painéis protótipos concluídos (Os Autores, 2021)



Figura 13. Consistência das argamassas (Os Autores, 2021)



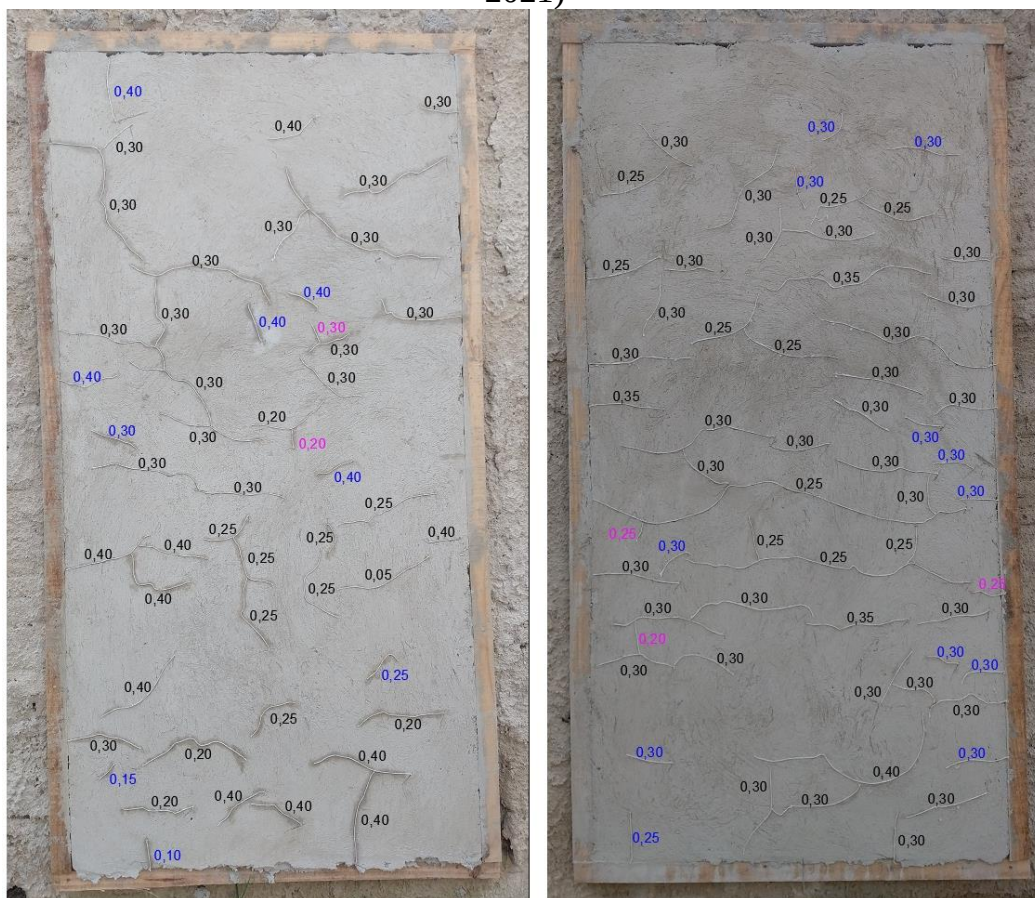
Conforme observado na Figura 13, a imagem da esquerda apresenta uma argamassa mais coesa, resultado dos traços aplicados nos painéis protótipos 01; 02; 03 e 04, ou seja, onde foi utilizado na composição da argamassa a cal hidratada, tanto do tipo I quanto do tipo III. Já a imagem da direita, que apresenta o aspecto de uma argamassa “farofa”, é resultado do traço aplicado no painel protótipo 05, onde utilizou-se na composição somente aditivo plastificante na proporção recomendada na ficha técnica do produto, sem adição de cal hidratada.

6. Executado os revestimentos nos painéis protótipos, estes foram monitorados semanalmente até a idade de 28 dias, a fim de avaliar a evolução no grau de fissuração para cada composição de argamassa utilizada, contabilizando a

quantidade, espessura e comprimento de cada fissura. Passado a idade de cura, foi realizado o mapeamento das fissuras mediante a identificação visual e marcação destas com barbante colado para destacar suas trajetórias e facilitar a contagem da quantidade de fissuras no painel. Por sua vez, as espessuras das fissuras foram medidas através de um fissurômetro. E por fim, o comprimento das fissuras foi medido através dos barbantes colados nas trajetórias das fissuras com auxílio de uma régua graduada, podendo-se obter o grau de fissuração por meio da soma dos comprimentos delas em todas as direções ocorridas dividida pela área do painel, com resultado expresso em metro por metro quadrado.

A seguir podem ser observadas as fissuras destacadas com barbantes, a fim de facilitar a visualização e contagem, bem como a espessura média de cada fissura expressa em milímetros.

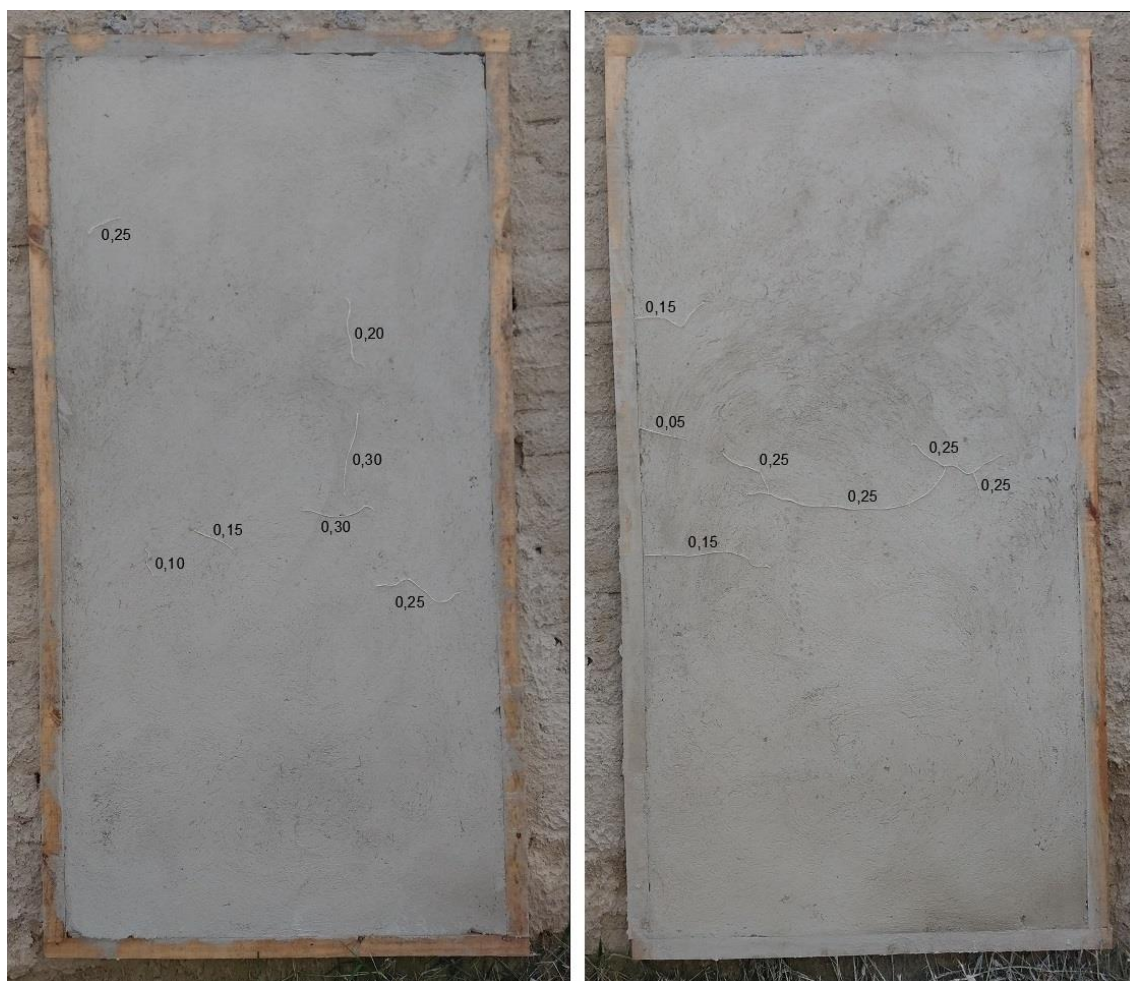
Figura 14. Destacamento das fissuras dos painéis protótipos 01 e 02 (Os Autores, 2021)



PAINÉL PROTÓTIPO 01

PAINÉL PROTÓTIPO 02

Figura 15. Destacamento das fissuras dos painéis protótipos 03 e 04 (Os Autores, 2021)



PAINEL PROTÓTIPO 03

PAINEL PROTÓTIPO 04

Legenda:

Texto em **PRETO**: Fissuras após 24 horas.

Texto em **AZUL**: Fissuras após 7 dias.

Texto em **MAGENTA**: Fissuras após 14 dias.

As Figuras 16 e 17 ilustram o método utilizado para a medição do comprimento e da espessura de cada fissura respectivamente.

Figura 16. Medição do comprimento de cada uma das fissuras dos painéis protótipos (Os Autores, 2021)



Figura 17. Medição da espessura de cada uma das fissuras dos painéis protótipos (Os Autores, 2021)

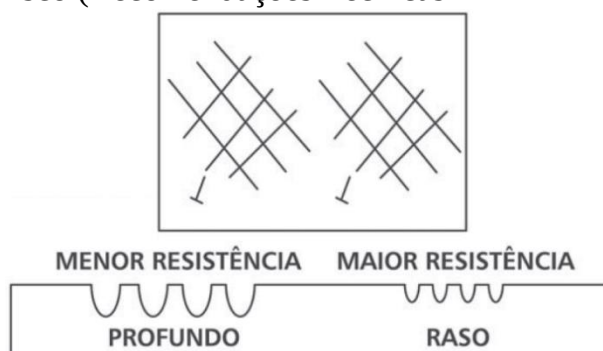


Com objetivo de reforçar a aceitação ou rejeição das argamassas ensaiadas, outras avaliações qualitativas foram realizadas nos revestimentos após 28 dias de idade, as quais são abordadas no livro *Recomendações Técnicas HABITARE Volume 1*, tendo seus resultados anotados em tabela específica, tais como:

Aspectos visuais: Avaliação visual da textura e homogeneidade dos revestimentos. Além da verificação da ocorrência de fissuras mapeadas ou geométricas, foram também verificados a ocorrência de manchas, eflorescências e deposições.

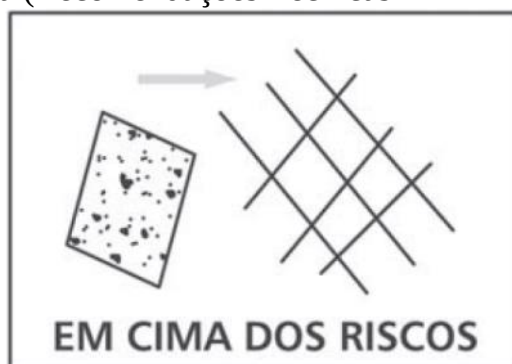
Dureza superficial: Utilizando-se um prego de aço, foram executados riscos cruzados na superfície dos revestimentos a fim de observar a profundidade do sulco produzido. Quanto mais profundo for o sulco, menor é a dureza e resistência superficial da argamassa, e consequentemente, quanto mais difícil de se executar o risco, maior é a dureza e resistência superficial do revestimento.

Figura 18. Teste do risco (Recomendações Técnicas HABITARE – Volume 1, 2005)



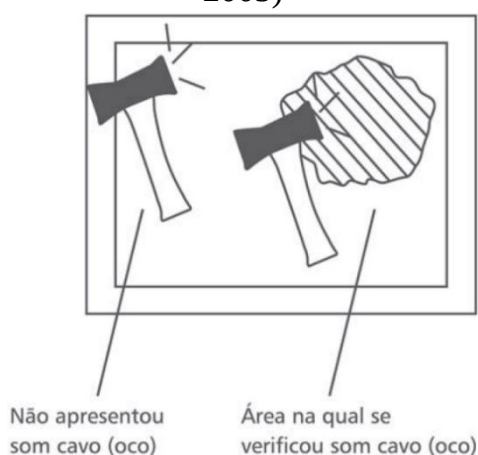
Resistencia à abrasão: Este ensaio tem o objetivo confirmar ou não os resultados obtidos na avaliação anterior. Com uma lixa nº 120, executou-se um lixamento sobre a superfície riscada, aplicando-se movimentos de vai-e-vem por 10 vezes, provocando um desgaste superficial do revestimento. Quando este apresenta baixa resistência a abrasão, o desgaste é tamanho que os riscos são “apagados”. Encontrando esta condição, a avaliação deve ter continuidade, repetindo os riscos e o lixamento em camadas mais profundas.

Figura 19. Teste da lixa (Recomendações Técnicas HABITARE – Volume 1, 2005)



Aderência: Por meio de percussão realizada por impactos leves de martelo na área total do painel, foi verificado a ocorrência ou não de sons cavos, os quais remetem a má aderência do revestimento. Caso isso seja verificado, as áreas mal aderidas deverão ser delimitadas e removidas, a fim de identificar em qual interface ocorreu o deslocamento, se entre o emboço e o chapisco, ou se entre o chapisco e a base.

Figura 20. Teste de percussão (Recomendações Técnicas HABITARE – Volume 1, 2005)



Quadro 15. Quadro de avaliações qualitativas (Os Autores, 2021)

TABELA DE AVALIAÇÕES QUALITATIVAS									
Obra:									
Painel	Aspectos Visuais			Resistência				Aderência	
	Fissuras		Outros	Risco		Lixamento		Som Cavo (oco)	
	Geométricas	Mapeadas		Fácil	Difícil	Fácil	Difícil	Sim	Não
1									
2									
3									
4									
5									

Figura 21. Execução das avaliações qualitativas complementares (Os Autores, 2021)



4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no programa experimental para cada composição de argamassa utilizada, tais como: grau de fissuração, aspectos visuais, dureza superficial, resistência a abrasão e aderência.

4.1. MONITORAMENTO DOS PAINÉIS PROTÓTIPOS

Com os revestimentos dos painéis protótipos concluídos, deu-se início aos trabalhos de monitoramento do comportamento das argamassas aplicadas. Este monitoramento teve início 24 horas após a conclusão dos revestimentos e se repetiu nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias, a fim de avaliar a evolução no grau de fissuração para cada composição de argamassa utilizada, contabilizando a quantidade, comprimento e espessura média de cada fissura.

Quadro 16. Resultados do monitoramento dos painéis protótipos com 1 dia de idade
(Os Autores, 2021)

MONITORAMENTO DAS FISSURAS DOS PAINÉIS PROTÓTIPOS - DIA 1				
ITENS AVALIADOS	PAINEL 01	PAINEL 02	PAINEL 03	PAINEL 04
QUANTIDADE (ud)	39,00	45,00	7,00	7,00
COMPRIMENTO TOTAL (m)	8,50	11,29	1,01	1,53
ESPESSURA MÉDIA (mm)	0,30	0,29	0,22	0,19
GRAU DE FISSURAÇÃO (m/m ²)	4,25	5,65	0,51	0,77

Quadro 17. Resultados do monitoramento dos painéis protótipos com 7 dias de idade
(Os Autores, 2021)

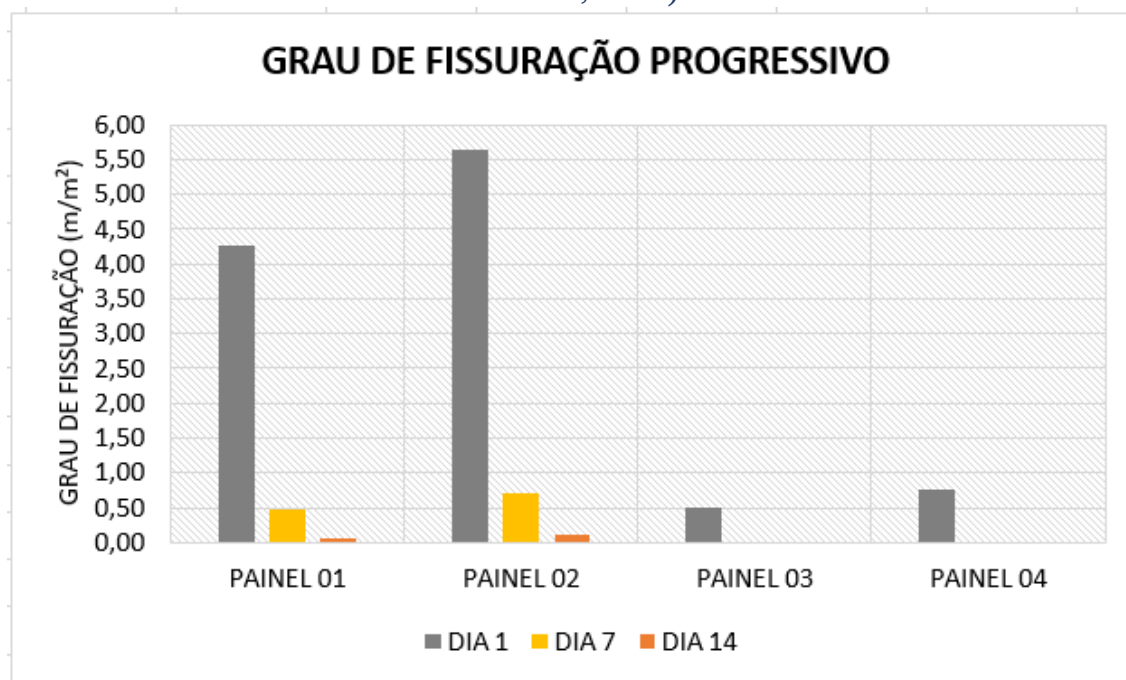
MONITORAMENTO DAS FISSURAS DOS PAINÉIS PROTÓTIPOS - DIA 7				
ITENS AVALIADOS	PAINEL 01	PAINEL 02	PAINEL 03	PAINEL 04
QUANTIDADE (ud)	9,00	12,00	-	-
COMPRIMENTO TOTAL (m)	0,95	1,41	-	-
ESPESSURA MÉDIA (mm)	0,31	0,30	-	-
GRAU DE FISSURAÇÃO (m/m ²)	0,48	0,70	-	-

Quadro 18. Resultados do monitoramento dos painéis protótipos com 14 dias de idade (Os Autores, 2021)

MONITORAMENTO DAS FISSURAS DOS PAINÉIS PROTÓTIPOS - DIA 14				
ITENS AVALIADOS	PAINEL 01	PAINEL 02	PAINEL 03	PAINEL 04
QUANTIDADE (ud)	2,00	3,00	-	-
COMPRIMENTO TOTAL (m)	0,10	0,21	-	-
ESPESSURA MÉDIA (mm)	0,25	0,23	-	-
GRAU DE FISSURAÇÃO (m/m ²)	0,05	0,10	-	-

Na idade de 7 dias, as argamassas de revestimento dos painéis protótipos 03 e 04 não apresentaram mais evolução no grau de fissuração quando comparado a idade de 1 dia, mantendo-se assim até a idade de 28 dias.

Figura 22. Gráfico do grau de fissuração progressivo dos painéis protótipos (Os Autores, 2021)

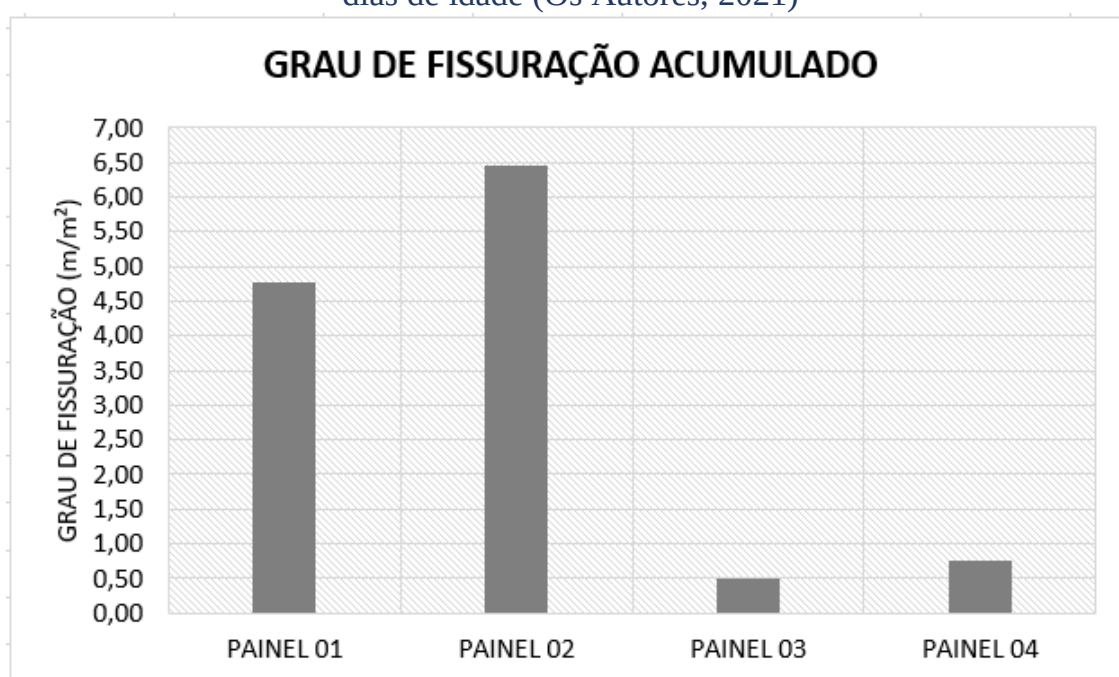


Para os painéis 01 e 02, a evolução do grau de fissuração das argamassas de revestimento se deu até a idade de 14 dias, estabilizando-se a partir disto, não sendo mais verificado surgimento de novas fissuras até a idade de 28 dias. O gráfico da Figura 22 ilustra a evolução progressiva do grau de fissuração dos painéis protótipos.

Quadro 19. Resultados acumulados do monitoramento dos painéis protótipos com 28 dias de idade (Os Autores, 2021)

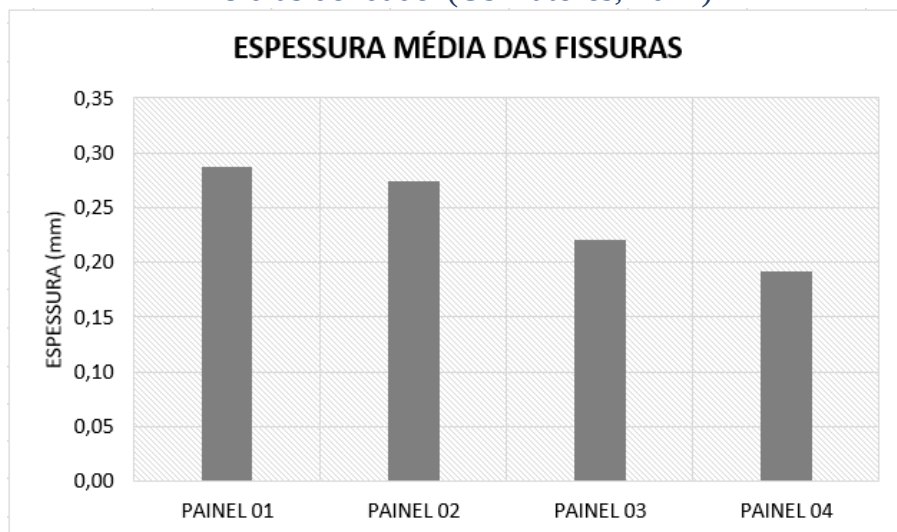
MONITORAMENTO DAS FISSURAS DOS PAINÉIS PROTÓTIPOS - RESULTADO FINAL				
ITENS AVALIADOS	PAINEL 01	PAINEL 02	PAINEL 03	PAINEL 04
QUANTIDADE (ud)	50,00	60,00	7,00	7,00
COMPRIMENTO TOTAL (m)	9,55	12,90	1,01	1,53
ESPESSURA MÉDIA (mm)	0,29	0,27	0,22	0,19
GRAU DE FISSURAÇÃO (m/m ²)	4,78	6,45	0,51	0,77

Figura 23. Gráfico do grau de fissuração acumulado dos painéis protótipos com 28 dias de idade (Os Autores, 2021)



No gráfico a seguir pode-se observar a espessura média final das fissuras dos painéis protótipos na idade de 28 dias.

Figura 24. Gráfico contendo a espessura média das fissuras dos painéis protótipos com 28 dias de idade (Os Autores, 2021)



4.2. AVALIAÇÕES QUALITATIVAS COMPLEMENTARES

A fim de reforçar a aceitação ou rejeição das argamassas ensaiadas, além das fissuras ainda foram verificados na idade de 28 dias, a ocorrência de manchas, eflorescências e deposições, bem como a realização de testes complementares para a verificação da dureza superficial, resistência a abrasão e aderência, conforme procedimentos especificados no item 3.1, os quais tiveram os resultados anotados na tabela a seguir.

Tabela 1. Tabela de avaliações qualitativas (Os Autores, 2021)

TABELA DE AVALIAÇÕES QUALITATIVAS									
Obra:									
Painel	Aspectos Visuais			Resistência				Aderência	
	Fissuras		Outros	Risco		Lixamento		Som Cavo (oco)	
	Geométricas	Mapeadas		Fácil	Difícil	Fácil	Difícil	Sim	Não
1	X				X		X		X
2	X				X		X		X
3	X				X		X		X
4	X				X		X		X
5	-			X		X		X	

4.2.1. Painei Protótipo 01

4.2.1.1. Grau de Fissuração

Passadas 24 horas após a conclusão do painei protótipo 01 verificou-se a ocorrência de fissuras do tipo geométrica em toda sua área, totalizando 39 fissuras, com comprimento total de 8,50 m e com espessuras médias na ordem de 0,3 mm, resultando num grau de fissuração de 4,25 m / m².

Após 7 dias da conclusão do painei, houve um acréscimo de 11,3 % no grau de fissuração, seguido de 1 % de evolução para a idade de 14 dias, onde houve a estabilização do revestimento, não sendo mais verificado surgimento de novas fissuras até a idade de 28 dias, totalizando 50 fissuras, com comprimento total de 9,55 m e com espessuras médias na ordem de 0,29 mm, resultando num grau de fissuração final de 4,78 m / m².

4.2.1.2. Aspectos Visuais

Não verificou-se a ocorrência de manchas, eflorescências e deposições no presente painei protótipo em nenhum momento até os 28 dias de idade.

4.2.1.3. Dureza Superficial

Com a realização do ensaio dos riscos cruzados na superfície do revestimento com a utilização de um prego, pôde-se verificar que este é de grande dureza e resistência superficial pois a dificuldade de executar foi grande, não havendo sequer a formação de sulco na superfície da argamassa.

4.2.1.4. Resistência a Abrasão

O ensaio realizado com o lixamento sobre a superfície riscada confirmou os resultados obtidos no teste do prego pois foi de difícil execução e não houve

desprendimento de material da camada superficial, mantendo os riscos visíveis e caracterizando alta resistência a abrasão para a argamassa aplicada no painel protótipo 01.

4.2.1.5. Aderência

A execução do ensaio de percussão realizado sobre toda a área do painel protótipo 01 não apresentou a ocorrência de sons cavos em nenhum ponto, remetendo a boa aderência da argamassa de revestimento aplicada ao substrato.

4.2.2. Painel Protótipo 02

4.2.2.1. Grau de Fissuração

Passadas 24 horas após a conclusão do painel protótipo 02 verificou-se a ocorrência de fissuras do tipo geométrica em toda sua área, totalizando 45 fissuras, com comprimento total de 11,29 m e com espessuras médias na ordem de 0,29 mm, resultando num grau de fissuração de 5,65 m / m².

Após 7 dias da conclusão do painel, houve um acréscimo de 12,4 % no grau de fissuração, seguido de 1,57 % de evolução para a idade de 14 dias, onde houve a estabilização do revestimento, não sendo mais verificado surgimento de novas fissuras até a idade de 28 dias, totalizando 60 fissuras, com comprimento total de 12,90 m e com espessuras médias na ordem de 0,27 mm, resultando num grau de fissuração final de 6,45 m / m².

4.2.2.2. Aspectos Visuais

Não foram verificados a ocorrência de manchas, eflorescências e deposições no presente painel protótipo em nenhum momento até os 28 dias de idade.

4.2.2.3. Dureza Superficial

Com a realização do ensaio dos riscos cruzados na superfície do revestimento com a utilização de um prego, pôde-se verificar que este é de grande dureza e resistência superficial pois a dificuldade de executar foi grande, não havendo sequer a formação de sulco na superfície da argamassa.

4.2.2.4. Resistência a abrasão

O ensaio realizado com o lixamento sobre a superfície riscada confirmou os resultados obtidos no teste do prego pois foi de difícil execução e não houve desprendimento de material da camada superficial, mantendo os riscos visíveis e caracterizando alta resistência a abrasão para a argamassa aplicada no painel protótipo 02.

4.2.2.5. Aderência

A execução do ensaio de percussão realizado sobre toda a área do painel protótipo 02 não apresentou a ocorrência de sons cavos em nenhum ponto, remetendo a boa aderência da argamassa de revestimento aplicada ao substrato.

4.2.3. Painel Protótipo 03

4.2.3.1. Grau de Fissuração

Passadas 24 horas após a conclusão do painel protótipo 03 verificou-se a ocorrência de fissuras do tipo geométrica em toda sua área, totalizando 7 fissuras, com comprimento total de 1,01 m e com espessuras médias na ordem de 0,22 mm, resultando num grau de fissuração de 0,51 m / m².

Após 7 dias da conclusão do painel não foi verificado surgimento de novas fissuras até a idade de 28 dias, tendo como resultado final os dados coletados na idade de 1 dia da argamassa.

4.2.3.2. Aspectos Visuais

Não verificou-se a ocorrência de manchas, eflorescências e deposições no presente painel protótipo em nenhum momento até os 28 dias de idade.

4.2.3.3. Dureza Superficial

Com a realização do ensaio dos riscos cruzados na superfície do revestimento com a utilização de um prego, pôde-se verificar que este é de grande dureza e resistência superficial pois a dificuldade de executar foi grande, não havendo sequer a formação de sulco na superfície da argamassa.

4.2.3.4. Resistência a Abrasão

O ensaio realizado com o lixamento sobre a superfície riscada confirmou os resultados obtidos no teste do prego pois foi de difícil execução e não houve desprendimento de material da camada superficial, mantendo os riscos visíveis e caracterizando alta resistência a abrasão para a argamassa aplicada no painel protótipo 03.

4.2.3.5. Aderência

A execução do ensaio de percussão realizado sobre toda a área do painel protótipo 03 não apresentou a ocorrência de sons cavos em nenhum ponto, remetendo a boa aderência da argamassa de revestimento aplicada ao substrato.

4.2.4. Painel Protótipo 04

4.2.4.1. Grau de Fissuração

Passadas 24 horas após a conclusão do painel protótipo 04 verificou-se a ocorrência de fissuras do tipo geométrica em toda sua área, totalizando 7 fissuras, com comprimento total de 1,53 m e com espessuras médias na ordem de 0,19 mm, resultando num grau de fissuração de 0,77 m/m².

Após 7 dias da conclusão do painel não foi verificado surgimento de novas fissuras até a idade de 28 dias, tendo como resultado final os dados coletados na idade de 1 dia da argamassa.

4.2.4.2. Aspectos Visuais

Não verificou-se a ocorrência de manchas, eflorescências e deposições no presente painel protótipo em nenhum momento até os 28 dias de idade.

4.2.4.3. Dureza Superficial

Com a realização do ensaio dos riscos cruzados na superfície do revestimento com a utilização de um prego, pôde-se verificar que este é de grande dureza e resistência superficial pois a dificuldade de executar foi grande, não havendo sequer a formação de sulco na superfície da argamassa.

4.2.4.4. Resistência a Abrasão

O ensaio realizado com o lixamento sobre a superfície riscada confirmou os resultados obtidos no teste do prego pois foi de difícil execução e não houve desprendimento de material da camada superficial, mantendo os riscos visíveis e caracterizando alta resistência a abrasão para a argamassa aplicada no painel protótipo 04.

4.2.4.5. Aderência

A execução do ensaio de percussão realizado sobre toda a área do painel protótipo 04 não apresentou a ocorrência de sons cavos em nenhum ponto, remetendo a boa aderência da argamassa de revestimento aplicada ao substrato.

4.2.5. Painel Protótipo 05

O painel protótipo 05 foi reprovado de imediato no presente estudo pois a argamassa não apresentou capacidade suficiente de sustentar seu peso próprio para o traço utilizado. Mesmo diante desta situação, a título de curiosidade, os testes qualitativos foram realizados nas partes em que a argamassa permaneceu aderida ao substrato.

4.2.5.1. Grau de Fissuração

Considerando o grau de fissuração, não se verificou em nenhum momento do período de monitoramento do painel a formação de fissuras nas partes ainda aderidas ao substrato.

4.2.5.2. Aspectos Visuais

Não verificou-se a ocorrência de manchas, eflorescências e deposições nas partes ainda aderidas do revestimento do presente painel protótipo em nenhum momento até os 28 dias de idade.

4.2.5.3. Dureza Superficial

Com a realização do ensaio dos riscos cruzados na superfície das partes ainda aderidas do revestimento com a utilização de um prego, pôde-se verificar que este é de baixa dureza e resistência superficial pois a facilidade de executar o ensaio foi extremamente grande, formando sulcos profundos na superfície da argamassa.

4.2.5.4. Resistência a Abrasão

O ensaio de lixamento realizado sobre a superfície das partes ainda aderidas do revestimento riscado confirmou os resultados obtidos no teste do prego pois foi de fácil execução e causou grande desprendimento de material da camada superficial, mantendo os riscos visíveis por conta dos sulcos profundos, caracterizando assim, baixa resistência a abrasão para a argamassa aplicada no painel protótipo 05.

4.2.5.5. Aderência

A execução do ensaio de percussão foi dispensada para o presente painel pelo fato da argamassa de revestimento utilizada não ter capacidade de aderência ao substrato e ter se desprendido ainda no seu estado fresco, reprovando o traço da mesma de imediato.

4.3. ANÁLISES GERAIS

Com os resultados obtidos pôde-se confirmar a hipótese inicial, pois a argamassa que continha a cal hidratada I na sua composição apresentou um grau de fissuração 25,9 % menor quando comparado a argamassa que continha cal hidratada III em sua composição.

Quando comparado as argamassas que continham somente cal hidratada na sua composição com as argamassas que tiveram adição de aditivo plastificante, observa-se que a redução no grau de fissuração foi extremamente significativa, resultando numa

diminuição de 89,3 % quando o traço é composto por cal hidratada tipo I mais aditivo plastificante quando comparado ao traço composto somente por cal hidratada tipo I.

Comparando a argamassa composta por cal hidratada III mais aditivo plastificante com a argamassa composta somente por cal hidratada III, a primeira composição apresentou um grau de fissuração de 88 % menor quando comparada a segunda composição.

A fim de ter um parâmetro comparativo entre ambas as argamassas que continham na composição cal hidratada mais aditivo plastificante, a argamassa do painel 03, composta por cal hidratada I mais aditivo, apresentou um grau de fissuração de 33,7% menor quando comparado ao painel 04, composto por cal hidratada III mais aditivo.

Nota-se certo padrão na ordem de grandeza na diminuição do grau de fissuração das argamassas, sendo: 25,9 % quando comparado os dois traços compostos somente por cales; 33,7 % quando comparado os dois traços compostos pelas cales mais aditivo plastificante; 88 % quando comparado o traço composto por CH-III mais aditivo plastificante ao traço composto somente por CH-III; e 89,3 % quando comparado o traço composto por CH-I mais aditivo plastificantes ao traço composto somente por CH-I.

Ainda pode-se observar que a quantidade e o comprimento das fissuras de cada painel protótipo são diretamente proporcionais ao grau de fissuração dos mesmos, ou seja, os painéis que apresentaram maior quantidade de fissuras, apresentaram também as fissuras mais compridas.

Outro fator que se pode observar é a espessura média das fissuras dos painéis protótipos, que apresentam resultados inversos quando comparados ao grau de fissuração. Enquanto as argamassas compostas com cal hidratada tipo I tiveram um grau de fissuração menor quando comparadas as argamassas compostas com cal hidratada tipo III, as argamassas compostas com cal hidratada tipo I apresentaram maiores espessuras médias das fissuras quando comparadas as argamassas compostas com cal hidratada tipo III.

No painel protótipo 01, onde foi utilizado cal hidratada tipo I na composição da argamassa, obteve-se um grau de fissuração de 25,9 % menor quando comparado ao painel protótipo 02, onde foi utilizado cal hidratada tipo III na composição. Porém o

painel 01 apresentou um índice de espessura média das fissuras de 7,4 % maior quando comparada a espessura média das fissuras do painel protótipo 02.

Já no painel protótipo 03, onde foi utilizado cal hidratada tipo I mais aditivo plastificante na composição da argamassa, obteve-se um grau de fissuração de 33, 7% menor quando comparado ao painel protótipo 04, onde foi utilizado cal hidratada tipo III mais aditivo plastificante na composição. Porém o painel 03 apresentou um índice de espessura média das fissuras de 15,8 % maior quando comparada a espessura média das fissuras do painel protótipo 04.

Os painéis protótipos 03 e 04, que tiveram adição de aditivo plastificante na composição da argamassa, apresentaram grande desempenho nos aspectos de quantidade de fissuras, comprimento, espessura média e grau de fissuração quando comparado aos painéis 01 e 02, os quais não possuem aditivo plastificante na composição da argamassa.

O Quadro 20 apresenta a classificação das argamassas de acordo com o desempenho, na ordem de melhor para a pior.

Quadro 20. Classificação das argamassas - Desempenho (Os Autores, 2021)

CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ACORDO COM O DESEMPENHO		
POSIÇÃO	ARGAMASSA	COMPOSIÇÃO
1º	Painel 03	Cimento : CH-I + Aditivo Plastificante : Areia
2º	Painel 04	Cimento : CH-III + Aditivo Plastificante : Areia
3º	Painel 01	Cimento : CH-I : Areia
4º	Painel 02	Cimento : CH-III : Areia

Por fim, observou-se que as composições compostas por cal hidratada mais aditivo plastificante apresentaram desempenho melhor que as composições compostas somente por cal hidratada. Bem como pode-se observar que as composições compostas por cal hidratada I apresentam desempenho melhor quando comparada as composições compostas por cal hidratada III.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos através dos estudos realizados nas argamassas de revestimento aplicadas nos painéis protótipos, pôde-se confirmar a hipótese de que a cal hidratada tipo I apresentaria um menor grau de fissuração quando comparada a cal hidratada tipo III, sendo esta de 25,9 % para as condições aplicadas no presente programa experimental.

Pôde-se confirmar também que a não utilização de cal hidratada resulta no baixo desempenho do material nos quesitos de trabalhabilidade, aderência ao substrato, dureza superficial e resistência a abrasão.

Diante disto, conclui-se que a utilização da cal hidratada é de fundamental importância para garantir a boa trabalhabilidade, retenção de água, aderência ao substrato, dureza superficial e resistência a abrasão da argamassa de revestimento. Porém a adição de aditivo plastificante juntamente com a cal hidratada na composição eleva significativamente o desempenho da mesma, reduzindo em torno de 89,3 % o grau de fissuração para argamassas compostas por CH-I mais aditivo quando comparado ao traço composto somente por CH-I, e um grau de fissuração 88 % menor para argamassas compostas por CH-III mais aditivo quando comparado ao traço composto somente por CH-III. Com isso, pode-se classificar as composições de argamassas adotadas no presente estudo sendo, em primeiro lugar, a composição composta por CH-I mais aditivo plastificante, seguido de CH-III mais aditivo plastificante em segundo lugar, CH-I em terceiro lugar e CH-III em quarto e último lugar no quesito desempenho.

Outro fator determinante para o bom desempenho dos revestimentos de argamassa está na importância da sua cura logo após a conclusão dos acabamentos, pois como pôde-se observar, o maior grau de fissuração se dá nas primeiras horas de idade, independente se a argamassa tenha ou não a combinação de cal hidratada mais aditivo plastificante na sua composição.

Considerando os resultados alcançados e as análises realizadas neste trabalho, pode-se destacar a relevância no desenvolvimento de traços de argamassas de revestimento e testes das mesmas antes da sua aplicação definitiva, possibilitando a calibragem da dosagem dos componentes, visando o melhor desempenho possível com economia e segurança.

5.2. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

As recomendações para trabalhos futuros são:

- Executar o mesmo programa experimental estendendo o tempo de cura da argamassa de revestimento, a fim de comparar o grau de fissuração entre os estudos.
- Verificar a ocorrência de fissuras na área de superfície dos painéis através de imagens em infravermelho, a fim de se obter resultados mais precisos com relação ao comprimento e espessura das fissuras.

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. Manual de revestimentos de argamassa. 2002. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>. Acesso em: 14 julho. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

NBR 6467: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. ABNT, 2009.

NBR 7200. Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. ABNT, 1998.

NBR 7211. Agregados para concreto – Especificação. ABNT, 2009.

NBR 7218: Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. ABNT, 2010.

NBR 9290: Cal hidratada para argamassas - Determinação de retenção de água - Método de ensaio. ABNT, 1996.

NBR 11768: Aditivos para Concreto de Cimento Portland. Rio de Janeiro. 2011.

NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. ABNT, 2016.

NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. ABNT, 2005.

NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. ABNT, 2005.

NBR 13528: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência a tração. 2 ed. Rio de Janeiro, 2010. 11 p.

NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. ABNT, 2013.

NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2013. 8 p.

NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. ABNT, 2016.

NBR NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. ABNT, 2001.

NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. ABNT, 2006.

NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. ABNT, 2003.

NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. ABNT, 2009.

NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. ABNT, 2003.

ABPC. Associação Brasileira dos Produtores de Cal. Negócios da Cal. publicação n. 81, São Paulo, 2006.

AITCIN, P. C., JOLICOEUR, C., MACGREGOR, J. G. (1994) **Superplasticizers: How They Work and Why They Occasionally Don't**. Concrete International. 1994.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O Edifício e Seu Acabamento**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. 192p.

ADEMI. **Cal não possui substitutos naturais**. Salvador, 2018. Disponível em: <<https://ademi-ba.com.br/Site/Noticia/material-fundamental-para-construcao-civil-cal-nao-possui-substitutos-naturais>>. Acesso em 30 dez. 2020.

BAUER, Elton. **Revestimento de argamassa – características e peculiaridades**. 1ª edição, LEMUnb – SINDUSCON/DF, Brasília/DF, 2005.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 471 p.

CÂNDIDO, Rogério L. Monografia: **Proposta para manual de execução de revestimento em argamassas convencionais e industrializadas**. Belo Horizonte. Escola de Engenharia da UFMG. Fevereiro/2011.

CARASEK, H. Argamassas: **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007.

COELHO Ana Zulmira Gomes; Torgal F.P.; JALALI S. **A Cal na Construção**. TecMinho. Lisboa: Publidisa, 2009.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Revestimento de Argamassa**. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/4/caracteristicas/o-sistema/61/caracteristicas.html>>. Acesso em 15 abr. 2020.

COSTA, Ivandro da. **Estudo comparativo entre as argamassas de revestimento externo: preparada em obra, industrializada fornecida em sacos, e estabilizada**

dosada em central. Univates. Disponível em:
<<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1412/1/2016IvandrodaCosta.pdf>>,
2016.

DUBAJ, Eduardo. **Estudo comparativo entre traços de argamassas utilizadas em Porto Alegre** - Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2000.

FELDMANN, Fábio Apud MILARÉ, Edis. **Direito do Ambiente: a Gestão Ambiental em Foco** -doutrina, jurisprudência, glossário. 5. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2007.

FIORITO, Antônio J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: Estudo e procedimentos de execução.** 2ª ed. São Paulo: Pini, 2009.

Forti, Eduardo Zambiasi. **Influência da cal hidratada nas características da argamassa de revestimento realizada em obra.** Univates. Disponível em:
<<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1645/1/2017EduardoZambiasiForti.PDF>>, 2017.

GUIMARÃES, J. E. P.; A cal – Fundamentos e aplicações na engenharia civil. São Paulo: PINI. 1998.

HARTMANN, C. et al. Aditivos Químicos para Concretos e Cimentos. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto: Ciência e Tecnologia. 1. Ed. São Paulo, IBRACON, 2011. 1v. Cap. 10. p. 347 – 380

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. **Informação ao Consumidor: Cal Hidratada.** Rio de Janeiro. 2021. Disponível em:
<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/calhidratada.asp#:~:text=Anidrido%2>

0Carb%C3%B4nico%20(CO2)%3A,os%20outros%20constituintes%20da%20argamassa.

JOLICOEUR, C.; SIMARD, M. A. Chemical Admixture-Cement Interactions: **phenomenology and physico-chemical concepts**. Cement and Concrete Composites, v. 20, n. 2/2, p. 87-101, 1998.

MELO, K. A.; MARTINS, V. C.; REPETTE, W. L. **Estudo e compatibilidade entre cimento e aditivo redutor de água**. Florianópolis: UFSC, 2008.

MIRANDA, L. M. C. C. **Estudo comparativo entre argamassa de revestimento à base de cimento com adição da cal hidráulica e da cal hidratada**. 88 f. 2009. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2009.

MOURA, Cristiane Borges. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: Influência das condições de temperatura e ventilação da cura do chapisco** - Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre RS, 2007.

PAIVA, Sérgio Carvalho; GOMES, Eduardo Alves de Oliveira; OLIVEIRA, Romilde Almeida de. **Controle de qualidade da cal para argamassas - metodologias alternativas**. Revista Ciências e tecnologia. Disponível em: <http://www.unicap.br/revistas/revista_e/artigo8.pdf>, 2007.

PARENTE, Lawton. **Sistema de Revestimento Cerâmico Aderido** - Interfaces e Rupturas. Disponível em: < <http://lawtonparente.blogspot.com/2018/03/sistema-de-revestimento-ceramico.html>>, 2018. Acesso em 14 de julho de 2019.

PENÃ, M. R. G. **Estudo da Fissuração Associada a Retração em Argamassas para Reparo em Estruturas de Concreto** - Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo SP, 2004.

SABBATINI, Fernando H. **Tecnologia de Produção de Revestimentos**. São Paulo, 2007.

SANTOS, C. C. N. et al. **Revestimentos de Argamassa: Características e Peculiaridades**

SILVA, Andressa Varela da Rocha; DINIZ, Alessandro Almeida; RIBEIRO, Janiele A. Eugênio; OLIVEIRA, Samuel S. de; GOMES, Valtencir L. de Lima. **Influência do processo de cura em concreto convencional em seis idades**. VII CONNEPI. IFRN, 2012.

Santos, Leandro Damião dos; Amaral, Fernanda Ferreira; Sommerfeld, Karin Cristina. **SISTEMA DE REVESTIMENTO COM ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA: um estudo de caso em Belo Horizonte, Minas Gerais..** Revista Pensar Engenharia – Volume 2, n.2. Disponível em: <http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a132.pdf>, 2014.

TÉCHNE. **Análise de Resistência a tração de revestimento externo de argamassa inorgânica**. 2018. Disponível em : <<https://techne.pini.com.br/2018/03/analise-de-resistencia-a-tracao-de-revestimento-externo-de-argamassa-inorganica-um-estudo-de-caso/>>. Acesso em 24 out. 2020.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenções e recuperação**. IPT/EPUSP/PINI: São Paulo, 1º edição, 16º, 2014.

TOZZI, Adriana Regina; CURI, Carlos Eduardo; GALLEGOS, Rafael Fernando Tozzi. **Sistemas Construtivos Nos Empreendimentos Imobiliários**. Curitiba: IESDE BRASIL AS, 2009.

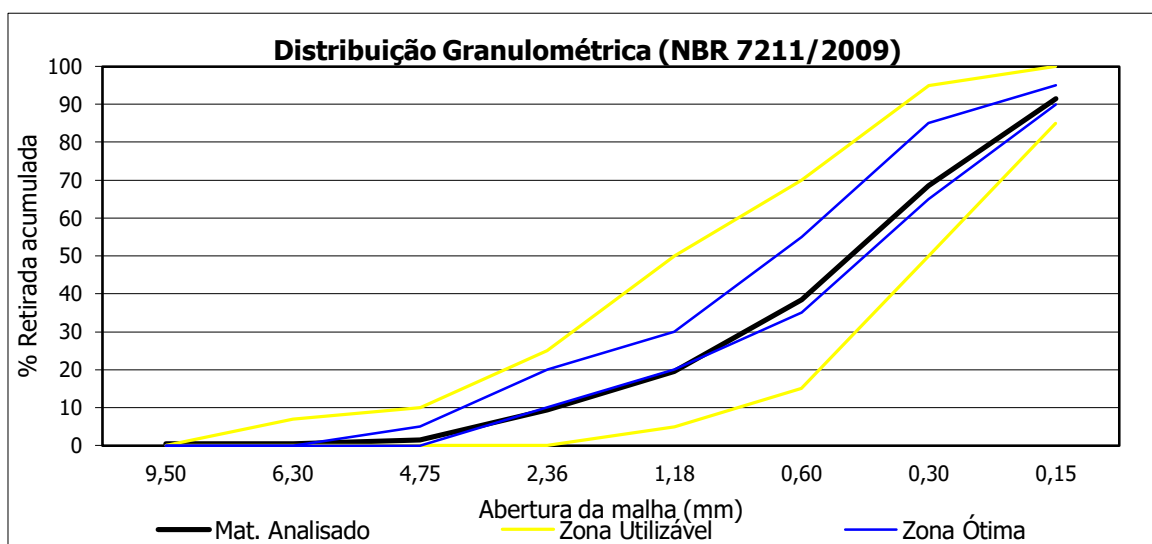
APÊNDICE A – GRANULOMETRIA DA AREIA

Ensaio de laboratório feito seguindo as recomendações da NBR NM 248: 2003. A seguir, estão os resultados do que foi feito em laboratório.

	m₁ = 1057,34 g	m₂ = 1062,85 g		
Malha da peneira (mm)	Massa reclusa (g)		% média retida	% média acumulada
9,50	0,00	6,35	0,00%	0,00%
6,30	2,54	3,78	0,00%	0,00%
4,75	12,87	15,47	1,00%	1,00%
2,36	81,35	93,94	8,00%	9,00%
1,18	97,31	106,52	10,00%	19,00%
0,60	209,23	203,26	19,00%	38,00%
0,30	328,83	303,43	30,00%	68,00%
0,15	247,38	244,56	23,00%	91,00%
Fundo	77,40	84,09	8,00%	99,00%
Total	1056,91	1061,40	99,00%	-
Diferença m1 (máximo 0,3%)	0,04%	0,14%	Módulo de Finura	2,26
			Dimensão Máxima	4,75mm

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 μ m	15	35	55	70
300 μ m	50	65	85	95
150 μ m	85	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
 NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
 NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.



A NBR NM 248 é uma Norma MERCOSUL que prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto.

A granulometria segue um padrão, e responde de certa forma, no qual, será demonstrado nos resultados. E assim, para o ensaio é necessário um conjunto de peneiras sucessivas, que atendam às normas NM-ISO 3310-1 ou 2, com as aberturas de malha estabelecidas no quadro abaixo:

Serie Normal / <i>Série Normal</i>	Serie Intermedia / <i>Série Intermediária</i>
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
--	31,5 mm
--	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Dimensión máxima nominal del agregado / <i>Dimensão máxima nominal do agregado</i> mm	Masa mínima de la muestra de ensayo / <i>Massa mínima da amostra de ensaio</i> kg
< 4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

(*) Después del secado. / *Após secagem.*

Abertura de malla / <i>Abertura da malha</i> mm	Máxima cantidad de material sobre la tela* (tamices con marcos redondos, de 203 mm de diámetro) / <i>Máxima quantidade de material sobre a tela* (peneiras com caixilhos redondos, de 203 mm de diámetro)</i> kg
50	3,6
37,5	2,7
25,0	1,8
19,0	1,4
12,5	0,89
9,5	0,67
4,75	0,33
< 4,75	0,20

E assim, para o relatório de ensaio deve-se conter tais informações:

- a) Porcentagem média retida em cada peneira;
- b) Porcentagem média retida acumulada em cada peneira;
- c) Dimensão máxima característica e o módulo de finura.

A seguir, seguem figuras desse ensaio feito pela equipe deste presente trabalho.



APÊNDICE B – ABSORÇÃO DE ÁGUA DA AREIA

Ensaio de laboratório feito seguindo as recomendações da NBR NM 30: 2001. A seguir, estão os resultados do que foi feito em laboratório.

ABNT NBR NM 30 - ABSORÇÃO DE ÁGUA DA AREIA		
Descrição	Amostra 1	Amostra 2
m_s (g)	1094,50	1096,41
m (g)	1086,89	1089,13
Absorção Individualizada	0,70%	0,67%
Diferença entre resultados <0,05%	0,03%	
Absorção	0,69%	

ABNT NBR NM 30 – Agregado miúdo – Determinação da absorção de água.

Objetivo

Esta norma determina o procedimento para especificação da absorção de água de agregados miúdos, no estado saturado superfície seca.

Definições

absorção

é quando um líquido é conduzido e se situa nos poros permeáveis do agregado poroso.

agregados saturados superfície seca

é quando o agregado retém a quantidade limite de água para que sua superfície permaneça seca.

Procedimento

1. Primeiramente a amostra deve ser submetida a quarteamento prévio.
2. Dispor a amostra em um recipiente e secar a uma temperatura de (105 ± 5) °C por vinte e quatro horas.
3. Cobrir a amostra com água e deixar em repouso por vinte e quatro horas. Na sequência, estender a amostra sobre uma superfície plana e submetê-la à uma leve corrente de ar quente de forma uniforme à amostra.
4. Percebendo que os grãos não estão mais aderindo entre si, colocá-los em um molde e aplicar suavemente vinte e cinco golpes em sua superfície, levantando-o verticalmente na sequência. Se o cone desmoronar no momento de retirar o molde, a massa deve ser determinada com aproximação de 0,1 g (m_s). Caso contrário, a secagem deve continuar em intervalos frequentes até que o cone desmorone na retirada do molde.
5. Se o cone desabar na primeira tentativa, alguns mililitros de água devem ser adicionados à amostra e ficar em repouso por trinta minutos em um recipiente fechado, e o ensaio repetido.

Cálculos

A absorção de água é calculada conforme a forma a seguir:

$$A = \frac{m_s - m}{m} \cdot 100$$

onde:

A é a absorção de água, em porcentagem;

m_s é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m é a massa da amostra seca em estufa, em gramas.

Concordância de resultados e relatório

Os resultados de mesma amostra não devem distinguir-se acima de 0,05% em porcentagem de absorção e o valor definitivo da absorção é a média dos valores com aproximação de 0,1 %.



APÊNDICE C – MASSA ESPECÍFICA DA AREIA

Ensaio de laboratório feito seguindo as recomendações da **NBR NM 52:2009**. A seguir, estão os resultados do que foi feito em laboratório.

ABNT NBR NM 52:2009 - MASSA ESPECÍFICA		
Descrição	Amostra 1	Amostra 2
m_s (g)	510,48	500,82
m_1 (g)	667,38	673,29
m_2 (g)	1024,96	1041,39
m (g)	506,96	497,36
$T_{\text{água}}$ (°C)	22,00	22,00
ρ_a (g/cm ³)	0,99777	0,99777
V_a (cm ³)	358,38	368,92
d_1 (g/cm ³)	2,63	2,63
$\neq_{\text{RESULTADOS}} < 0,02 \text{ g/cm}^3$	0	
d_2 (g/cm ³)	2,64	2,64
$\neq_{\text{RESULTADOS}} < 0,02 \text{ g/cm}^3$	0	
d_3 (g/cm ³)	2,68	2,68
$\neq_{\text{RESULTADOS}} < 0,02 \text{ g/cm}^3$	0	
V (cm ³)	551,39	558,28
massa específica aparente	2,63	
massa específica real	2,64	

ABNT NBR NM 52:2009 - Determinação da massa específica e massa específica aparente de agregado miúdo

Definições:

massa específica

é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis.

massa específica aparente

é a relação entre a massa do agregado e seu volume, incluindo os poros permeáveis.

Preparação da Amostra

Para preparação da amostra, inicialmente pesa-se um quilograma de agregado miúdo, na sequência, deixa-se esse agregado em um recipiente totalmente coberto de água e faz-se a secagem uniformemente por meio de um soprador térmico.

Para saber se o agregado já está saturado superfície seca, coloca-se o mesmo em molde padronizado, socando vinte e cinco golpes, na sequência, ergue-se o molde de forma vertical, sabendo-se que quando o mesmo desmorona parcialmente, já está pronto, caso contrário repete-se o processo até cumprir esse requisito.

Procedimento

Pesa-se ($500 \pm 0,1$) gramas da amostra (**m_s**), e, na sequência, coloca-se em um frasco, registrando assim a massa do conjunto (**m₁**).

Na sequência, enche-se o frasco com água, próximo da marca de 500 ml, movendo-o até retirar as bolhas de ar, e deixa o frasco em um banho na temperatura constante de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Após aproximadamente uma hora completa-se o recipiente novamente com 500 ml e determina-se a massa com precisão de 0,1 gramas (**m₂**).

Em seguida, seca-se o agregado em estufa e o mesmo é resfriado a temperatura ambiente, sendo pesado com precisão de 0,1 gramas (**m**).

Sendo assim, pode-se calcular o volume total de água inserido na areia (**V_a**) saturada superfície seca pela seguinte fórmula, sendo o **p_a** a massa específica da água:

$$Va = \frac{m_2 - m_1}{p_a}$$

Posteriormente pode-se calcular a massa específica do agregado seco por essa formulação:

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a}$$

Para calcular a massa específica do agregado saturado superfície seca utiliza-se desse cálculo:

$$d_2 = \frac{m_s}{V - V_a}$$

O último cálculo a se fazer é o da massa específica do agregado, pela fórmula:

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}}$$

Onde:

V, é o volume do frasco com água e areia.

Resultado

Os resultados do ensaio não podem se diferenciar em mais de 0,02 g/cm³, e o resultado é a média dos dois ensaios feitos.

APÊNDICE D - MASSA UNITÁRIA E VAZIOS DA AREIA

Ensaio de laboratório feito seguindo as recomendações da **NBR NM 45:2006**. A seguir, estão os resultados do que foi feito em laboratório.

ABNT NBR NM 45:2006 - MASSA UNITÁRIA E VOLUME DE VAZIOS DA AREIA			
Descrição	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
m_{ar} (kg)	21,150	21,050	20,980
m_r (kg)	6,514		
V (m ³)	0,0101		
$T_{água}$ (°C)	21,1000		
ρ_w (Kg/m ³)	997,99		
ρ_{ap} (Kg/m ³)	1449,11	1439,21	1432,28
$\rho_{apmédio}$ (Kg/m³)	<u>1440,20</u>		
$\neq < 1\%$	0,62%	-0,07%	-0,55%
A (%)	0,69000		
ρ_{as} (Kg/m ³)	1459,11	1449,14	1442,16
$\rho_{asmédio}$ (Kg/m³)	<u>1450,14</u>		
$\neq < 1\%$	0,62%	-0,07%	0,62%
d_1 (Kg/m ³)	2,63		
E_v (%)	44,79%	45,17%	45,43%
$E_{vmédio}$ (%)	<u>45,13%</u>		
$\neq < 1\%$	-0,75%	0,08%	-0,75%

A NBR NM 45 é uma norma MERCOSUL que estabelece o método para a determinação da densidade a granel e do volume de vazios de agregados miúdos, graúdos ou de mistura dos dois, em estado compactado ou solto. Este método se aplica a agregados com dimensão máxima característica igual ou menor que 75 mm.

A tabela abaixo define a capacidade mínima, o diâmetro interior e a altura que o recipiente deve ter:

Dimensión máxima característica del agregado / Dimensão máxima característica do agregado (NM-ISO 3310-1)	Recipiente		
	Capacidad mínima / Capacidade mínima	Diámetro interior / Diâmetro interior	Altura interior
mm	dm ³	mm	mm
$d \leq 37,5$	10	220	268
$37,5 < d \leq 50$	15	260	282
$50 < d \leq 75$	30	360	294

E assim, para calibração do recipiente deve-se determinar a temperatura da água e obter sua massa específica, de acordo com a tabela abaixo, cabendo interpolação em casos necessários:

Temperatura °C	Densidad / Massa específica kg/m ³
15,6	999,01
18,3	998,54
21,1	997,97
23,0	997,54
23,9	997,32
26,7	996,59
29,4	995,83

Existem três métodos a serem executados, são eles:

- O “método A” deve ser empregado para determinar a massa unitária de material compactado, quando os agregados têm dimensão máxima característica de 37,5 mm ou menor.

- O “método B” deve ser empregado para determinar a massa unitária de material compactado, quando os agregados têm dimensão máxima característica superior a 37,5 mm e inferior a 75 mm.

- O “método C” deve ser empregado para determinar a massa unitária de material no estado solto.

Assim, a massa unitária determinada pelos métodos A, B, e C deve ser calculada pelas fórmulas seguintes:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad \text{ó / ou} \quad \rho_{ap} = (m_{ar} - m_r) \cdot F$$

onde:

ρ_{ap}	é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;
m_{ar}	é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;
m_r	é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;
V	é o volume do recipiente, em metros cúbicos;
F	é o fator para o recipiente (ver 7.4), em 1/metro cúbico.

Sabe-se que F calcula-se pela massa de água necessária para preencher o recipiente dividido por sua massa específica.

A massa unitária determinada por este ensaio se aplica a agregados secos em estufa, até constância de massa. Caso se deseje conhecer a massa unitária de agregados na condição saturado e superfície seca (SSS), deve ser empregado um dos três métodos estabelecidos nesta Norma, porém no cálculo deve ser utilizada a fórmula seguinte:

$$\rho_{as} = \rho_{ap} \left[1 + \frac{A}{100} \right]$$

onde:

ρ_{as}	é a massa unitária na condição SSS, em quilogramas por metro cúbico;
ρ_{ap}	é a massa unitária do agregado (9.1), em quilogramas por metro cúbico;
A	é a absorção, determinada de acordo com a NM 30 ou a NM 53.

E para o cálculo do índice do volume de vazios nos agregados, segue-se com a mesma massa unitária, e com a seguinte fórmula:

$$E_v = \frac{100[(d_1 \rho_w) - \rho_{ap}]}{d_1 \rho_w}$$

onde:

E_v	é o índice de volume de vazios nos agregados, em percentagem;
d_1	é a massa específica relativa do agregado seco, determinada conforme as NM 52 e NM 53;
ρ_w	é a massa específica de água, em quilogramas por metro cúbico;
ρ_{ap}	é a massa unitária média do agregado, em quilogramas por metro cúbico.

Conclui-se que a massa unitária do agregado solto ou compactado é a média dos resultados individuais obtidos em pelo menos três determinações, dividindo-se a massa do agregado pelo volume do recipiente utilizado, expressa em quilogramas por metro cúbico. O resultado individual de cada ensaio não deve apresentar desvio maior que 1 % em relação à média.

Sendo assim, para o relatório deve-se informar os resultados de massa unitária com aproximação de 10 kg / m³, de acordo com o método "A", "B" ou "C", conforme o ensaio tenha sido realizado. E também, informar os resultados de conteúdo de volume de vazios com aproximação de 1%, de acordo com o método "A", "B" ou "C", conforme o ensaio tenha sido realizado.

A seguir, seguem figuras desse ensaio feito pela equipe deste presente trabalho.



APÊNDICE E – MATERIAL PULVERULENTO

Ensaio de laboratório feito seguindo as recomendações da **NBR NM 46:2003**. A seguir, estão os resultados do que foi feito em laboratório.

ABNT NBR NM 46:2003 - MATERIAL FINO QUE PASSA POR PENEIRA 75µm POR LAVAGEM		
Descrição	Amostra 1	Amostra 2
m _i (g)	118,620	118,770
m _f (g)	113,780	114,650
m	4,0803%	3,4689%
m _{média}	3,7746%	
≠<1%	0,3057%	-0,3057%

A NBR NM 46 é uma norma MERCOSIL que tem como objetivo estabelecer o método para determinação por lavagem, em agregados, da quantidade de material mais fino que a abertura da malha da peneira de 75 µm. No qual, as partículas de outros materiais, mas principalmente argila, se dispersam por lavagem, e materiais solúveis em água são removidos.

Dois procedimentos são incluídos nessa norma, um usando apenas água, e, outro, inclui um agente umectante para facilitar a liberação do material mais fino que 75 µm.

onde:

m é a porcentagem de material mais fino que a peneira de 75 μm por lavagem;

m_i é a massa original da amostra seca; em gramas;

m_f é a massa da amostra seca após a lavagem, em gramas.

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Este é o cálculo feito para quantidade de material que passa pela peneira 75 μm por lavagem, e o resultado deve ser a média aritmética das duas determinações e a diferença entre cada resultado e a média não deve ultrapassar 1 %.

A seguir, seguem figuras desse ensaio feito pela equipe deste presente trabalho.



APÊNDICE F – TEOR DE ARGILA E MATERIAIS FRIÁVEIS

Ensaio de laboratório feito seguindo as recomendações da **NBR 7218:2010**.

A seguir, estão os resultados do que foi feito em laboratório.

ABNT NBR 7218:2010 - TEOR DE ARGILA EM TORRÕES E	
Descrição	Amostra
m_i (g)	206,48
m_f (g)	204,62
m_t	<u>0,90%</u>

ABNT NBR 7218/2010 – Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.

Preparação da amostra

Primeiramente a amostra deve ser seca em estufa pela temperatura $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Execução do ensaio

Primeiramente, a composição granulométrica deve ser feita, seguindo as recomendações da ABNT NBR NM 248.

Tendo a composição granulométrica, sabe-se que os intervalos que conterem menos de 5% da amostra total são dispensados de ensaio.

Em seguida, distribui-se a massa da amostra dos intervalos granulométricos (m_i) em bandejas apropriadas, deixando uma camada fina. Envolve-se então a amostra com água e deixa em repouso durante (24 ± 4) horas.

Após esse tempo, ver as partículas que aparentam torrões de argila ou materiais friáveis e comprimir entre os dedos de modo a desfazê-las, levando a massa de amostra de cada intervalo granulométrico para as peneiras indicadas a seguir.

Intervalos granulométricos ensaiados mm	Abertura das peneiras
$\geq 1,18$ e $< 4,75$	600 μm
$\geq 4,75$ e $< 9,5$	2,36 mm
$\geq 9,5$ e $< 19,0$	4,75 mm
≥ 19 e $< 37,5$	4,75 mm
$\geq 37,5$	4,75 mm

Na sequência, continua o peneiramento com água, chacoalhando a peneira levemente com a mão durante o fluxo de água, para a remoção da argila e materiais friáveis.

Em seguida, seca-se a amostra de cada peneira individualmente, a temperatura de (105 ± 5) °C. Feito o resfriamento, determina-se a massa do material retido individualmente (m_f).

Resultados

Calcular o teor de argila em torrões e materiais friáveis (m_t) de cada intervalo granulométrico, em porcentagem, pela expressão:

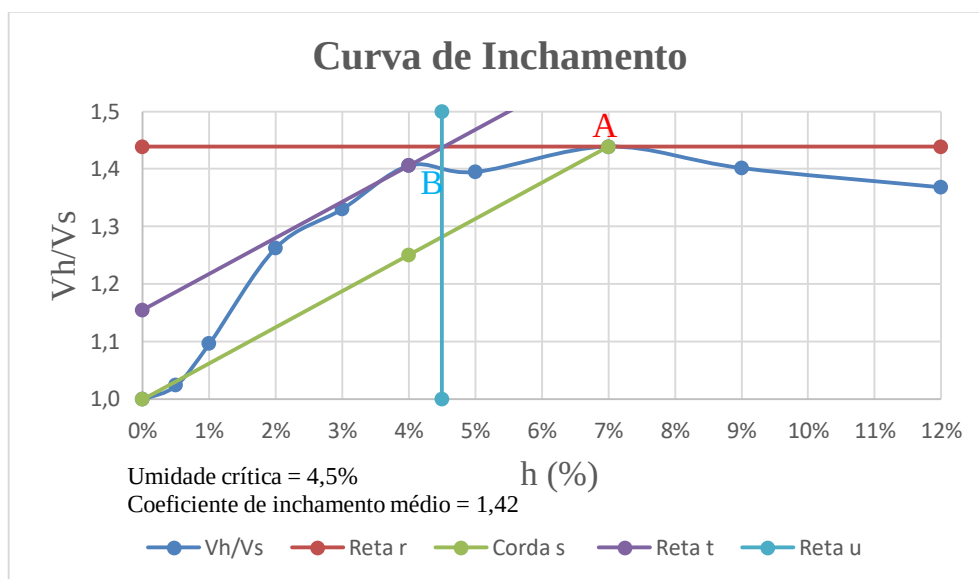
$$m_t = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100$$

APÊNDICE G – INCHAMENTO DO AGREGADO MIÚDO

Ensaio de laboratório feito seguindo as recomendações da **NBR 6467:2009**.

A seguir, estão os resultados do que foi feito em laboratório.

ABNT NBR NBR 6467:2009 - DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO DO AGREGADO MIÚDO							
Volume do recipiente		377,6	cm ³				
h(%)	m _{i1} (g)	m _{i2} (g)	m _{i3} (g)	m _{imédio} (g)	X _h (g/cm ³)	X _s (g/cm ³)	V _h /V _s
0,00%	553,09	553,15	564,92	557,05	1,48	1,4752472	1,0000
0,50%	536,2	552,5	551,4	546,70	1,45		<u>1,0240</u>
1,00%	519,7	505	514,6	513,10	1,36		<u>1,0965</u>
2,00%	448,3	449,1	452,3	449,90	1,19		<u>1,2629</u>
3,00%	433,8	428,8	431,2	431,27	1,14		<u>1,3304</u>
4,00%	410,10	414,10	412,30	412,17	1,09		<u>1,4056</u>
5,00%	418,20	420,60	419,30	419,37	1,11		<u>1,3947</u>
7,00%	417,00	413,20	412,70	414,30	1,10		<u>1,4387</u>
9,00%	433,00	431,60	435,20	433,27	1,15		<u>1,4014</u>
12,00%	453,60	458,20	456,40	456,07	1,21		<u>1,3680</u>



ABNT NBR 6467:2009 – Determinação do inchamento do agregado miúdo – Método de ensaio

Objetivo

Esta norma padroniza o procedimento para caracterização do inchamento de agregados miúdos para concreto.

Definições

inchamento do agregado miúdo: efeito referente à mudança do volume aparente, ocasionado pela absorvência de água livre pelos grãos do agregado, que modifica sua massa unitária.

coeficiente de inchamento (V_h/V_s): coeficiente que representa a relação entre o volume úmido e o seco de uma mesma massa de agregado.

umidade crítica: taxa de umidade na qual, se for maior, o coeficiente de inchamento pode ser considerado constante e igual ao coeficiente de inchamento médio.

coeficiente de inchamento médio: valor médio entre o coeficiente de inchamento máximo e o correspondente à umidade crítica.

Amostragem

Secar a amostra de agregado por vinte e quatro horas, em estufa, a temperatura $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

Procedimento de ensaio

1. Determinar a massa unitária conforme a NM 45.
2. Colocar a água em quantidades consecutivas de maneira a obter níveis de umidade perto dos seguintes valores: 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 7%, 9 % e 12%. Sendo que a cada adicional de água deve-se realizar as seguintes recomendações:
 - a) homogeneizar cada amostra após adição de água.
 - b) coleta de uma porção da amostra homogeneizada para determinar a massa unitária.
 - c) remoção de outra parte da amostra para preenchimento de cápsula padronizada.
3. Após esses procedimentos, deve ser determinada a massa de cada cápsula com agregado (m_i).
4. As cápsulas devem ser secas em estufa
5. Após esfriamento, a massa de cada cápsula deve ser medida (m_f).

Cálculo

O teor de umidade do agregado contido em cada uma das cápsulas se dá pela seguinte fórmula, sendo m_c a massa da cápsula:

$$h = \frac{m_i - m_f}{m_f - m_c}$$

Para cada teor de umidade, calcula-se o coeficiente de inchamento V_h/V_s , conforme a equação a seguir:

$$\frac{V_h}{V_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \cdot \frac{100 + h}{100}$$

onde:

V_h é o volume do agregado com um determinado teor de umidade (h).

V_s é o volume do agregado seco em estufa.

γ_h é a massa unitária do agregado com um determinado teor de umidade (h).

γ_s é a massa unitária do agregado seco em estufa.

Para traçar o gráfico, colocam-se os pares de valores (h ; V_h/V_s) e traça-se a curva de inchamento conforme o exemplo na figura a seguir.

A umidade crítica é determinada pela seguinte construção gráfica:

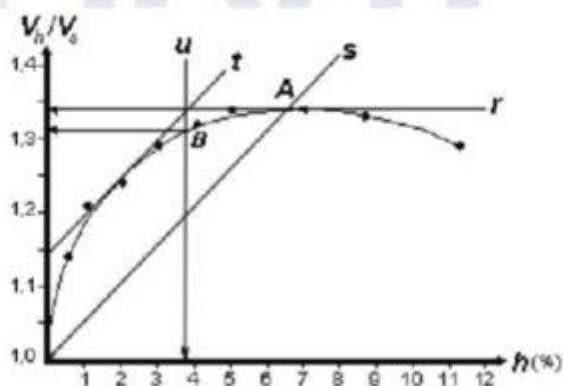
- a) Projetar a reta (r) paralela a abscissa das umidades, que seja tangente à curva (ponto A).

- b) Delinear a corda (s) que une a interseção da ordenada e abscissa ao ponto A.
- c) Traçar uma tangente à curva (t), sendo paralela à corda (s).
- d) Traçar a reta (u) paralela ao eixo de ordenada, que cruza também com a interseção entre (r) e (t). A interseção da reta (u) com a curva diz respeito à umidade crítica (ponto B).

O coeficiente de inchamento se dá pela média aritmética dos pontos A e B.

Exemplo de gráfico da curva de inchamento

Umidade (h) %	Coeficiente de inchamento (V_h/V_s)
0,0	1,00
0,6	1,14
1,1	1,21
2,0	1,24
3,0	1,29
4,0	1,32
5,0	1,34
7,0	1,34
8,7	1,33
11,3	1,29



Umidade crítica = 3,7%

Coeficiente de inchamento médio = 1,33