

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA HÍDRICA

Influência de cristalizantes em argamassas estabilizadas feitas em usinas.

Luís Gustavo de Castro Trafani

Itajubá, Junho de 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
HÍDRICA

Luís Gustavo de Castro Trafani

Influência de cristalizantes em argamassas estabilizadas feitas em usinas.

**Dissertação submetida ao Programa de Pós- Graduação
em Engenharia Hídrica como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Mestre em Ciências em
Engenharia Hídrica.**

Área de Concentração: Geração Hidroelétrica

Orientador: Valquíria Claret dos Santos

Coorientador: Maria Auxiliadora de Barros Martins

Junho de 2025

Itajubá

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus pais, Luís Arnaldo Bogon Trafani e Claudia Maria de Castro Trafani, pelo apoio incondicional ao longo desses mais de dois anos de mestrado. Seu incentivo foi fundamental para que eu continuasse firme até alcançar a reta final.

Agradeço também à minha orientadora, Dra. Valquíria Claret dos Santos, e à minha coorientadora, Dra. Maria Auxiliadora de Barros Martins, que caminharam ao meu lado durante toda a trajetória. Sou grato pela compreensão e apoio em cada etapa, especialmente nos momentos em que precisei conciliar vida acadêmica, pessoal e profissional. Sua orientação e presença constante foram essenciais para a realização deste trabalho.

Minha gratidão se estende à Universidade Federal de Itajubá, onde me formei em Engenharia Civil e onde agora concluo o mestrado, reafirmando meu orgulho em fazer parte desta instituição.

É importante também reconhecer aqueles que me acompanharam desde o início desta jornada. Em especial, agradeço ao Eng. André Tavares, que, em 2022, me motivou a prestar o exame para o mestrado e iniciar o curso em 2023. Seu apoio, quando estive como meu gestor profissional, foi essencial para que eu pudesse conciliar o trabalho e o estudo.

Sou imensamente grato aos meus colegas e apoiadores da Supremo Cimentos, especialmente ao Eng. Igor Gois e ao Eng. Marcos Cristofolletti, que sempre me incentivaram e proporcionaram o uso da estrutura da empresa para o desenvolvimento da pesquisa apresentada, além de todos os demais colaboradores da Supremo Cimentos que contribuíram de forma direta e indireta.

Por fim, agradeço ao M.Sc. Luiz Trevisol, que abriu as portas da Hobimix para que eu pudesse realizar a parte prática da pesquisa. Agradeço também à M.Sc. Elizamary Otto, que me auxiliou durante todo o processo da parte prática deste trabalho, sempre com dedicação

Resumo

A argamassa estabilizada surge como um produto no mercado na década de 90, sendo considerada uma argamassa industrializada, logo que é produzida em uma planta industrial e entregue pronta para as construções, sendo a alternativa do setor para o aumento da produtividade. Mesmo com início de produção e utilização no Brasil, o produto não possuía normativas para garantir requisitos necessários, porém com a necessidade de padronização e garantia de qualidade da argamassa estabilizada a primeira norma é publicada em 2005, sendo revisada no ano de 2023. No cenário da argamassa estabilizada este trabalho investiga como é o comportamento desse produto quando produzido em usinas de concreto com aditivos cristalizantes. A argamassa estabilizada, sendo constituída de areia, cimento e aditivos pode ser utilizada em 36 h ou 72 h, sendo considerada uma alternativa promissora na construção, logo que é entregue pronta para a obra. Contudo, essa inovação compartilha espaço com o concreto usinado no momento da sua produção e enfrenta desafios técnicos, em especial sobre o comportamento das adições já usadas no concreto e como se comportam na argamassa estabilizada. Um desses desafios atuais é a influência dos aditivos cristalizantes a argamassa. Desta forma, nesta pesquisa dois cristalizantes, Tipo 1 e Tipo 2, foram utilizados para avaliar seus efeitos nas propriedades de argamassas estabilizadas. Para tanto, os percentuais utilizados em relação a massa do cimento de ambos foram 0,35%; 0,70% e 1% respeitando as dosagens estipuladas pelos fabricantes. Para avaliar esse aditivo, foram ensaiadas sete amostras, sendo uma amostra sem a presença do cristalizante e outras 6 amostras com adição de cristalizantes, sendo todas submetidas à ensaios no estado fresco, como mesa de consistência, retenção de água e teor de ar incorporado, além de ensaios no estado endurecido, como resistência à aderência, módulo de elasticidade, compressão e flexão na tração.

Palavras-chave:

Argamassa Estabilizada, Propriedades, Adição, Cristalização, Permeabilidade

Abstract

Stabilized mortar emerged in the market during the 1990s as an industrialized product, produced in industrial plants and delivered ready for use on construction sites, representing the sector's response to the need for increased productivity. Although its production and use began in Brazil around that time, the product initially lacked regulatory standards to ensure necessary quality requirements. Due to the growing demand for standardization and quality assurance, the first official standard was published in 2005 and later revised in 2023. Within this context, the present study investigates the behavior of stabilized mortar when produced in concrete plants using crystallizing additives. Composed of sand, cement, and additives, stabilized mortar can be used within 36 or 72 hours, making it a promising alternative for construction since it arrives ready to apply. However, this innovation shares production infrastructure with ready-mix concrete and faces technical challenges—particularly regarding how additives traditionally used in concrete behave when applied to stabilized mortar. One of the current challenges is understanding the influence of crystallizing additives on mortar performance.

This research evaluates two crystallizing additives, Type 1 and Type 2, to assess their effects on the properties of stabilized mortars. The dosages applied were 0.35%, 0.70%, and 1.00% by cement mass, in accordance with the manufacturers' recommendations. A total of seven samples were tested—one without the crystallizing additive and six with varying doses of the two additives. All samples were subjected to tests in the fresh state, including flow table consistency, water retention, and air content, as well as hardened-state tests such as bond strength, modulus of elasticity, compressive strength, and flexural tensile strength.

The crystallizing additives improved the workability of the stabilized mortar, showing similar behavior to conventional stabilizing additives. Type 1 reduced workability over time but improved its suitability for use as non-structural masonry mortar due to reduced air incorporation. In contrast, Type 2 maintained better workability over time, but the increased air content may negatively impact its application. While all mixtures complied with fresh-state requirements, not all met the criteria in the hardened state, with bond strength to the standard substrate being the primary reason for disqualification.

Keywords:

Stabilized mortar; Rheological properties; Crystallizing admixtures; Crystallization; Permeability.

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1: Retenção de água	32
Equação 2: Cálculo fator água/argamassa	32
Equação 3: Cálculo densidade no estado fresco	33
Equação 4: Cálculo de ar incorporado	33
Equação 5: Cálculo densidade teórica argamassa.....	34
Equação 6: Equação para cálculo de arrancamento	37
Equação 7: Cálculo volume de prismas	38
Equação 8: Cálculo densidade no estado endurecido	38
Equação 9: Velocidade de propagação	39
Equação 10: Cálculo módulo de elasticidade dinâmico	39
Equação 11: Cálculo de resistência à tração na flexão	40
Equação 12: Cálculo de resistência à compressão	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolução Publicação	17
Figura 2: Ranking países	18
Figura 3: Ocorrência de palavras	18
Figura 4: Fluxo da metodologia.....	25
Figura 5: Fluxo cálculo de traço	28
Figura 6: Fluxo mistura dos materiais	28
Figura 7: Esquema de colagem pastilha e substrato.	36
Figura 8: Maneiras de ruptura entre argamassa e substrato.....	36
Figura 9: Forma prismática 4x4x16 cm.....	37
Figura 10: Aparelho de ultrassom.....	38
Figura 11: Dispositivo para ruptura de prismas 4x4x16 cm.....	40
Figura 12: Equipamento E4 ENDEAVOR marca Bruker - Propriedade Supremo Secil Cimentos.....	41
Figura 13: Equipamento Centaurus marca Fl Smidth - Propriedade Supremo Secil Cimentos.....	42
Figura 14: Equipamento S8 TIGER marca Bruker - Propriedade Supremo Secil Cimentos.....	42
Figura 15: Variação de resistência a compressão – Fonte: Polesello (2020)	44
Figura 16: Curva granulométrica areia utilizada	45
Figura 17: Teor de Ar Incorporado.....	47
Figura 18: Densidade no Estado Fresco	48
Figura 19: Consumo final de água por traço	49
Figura 20: Mesa de Consistência	50
Figura 21: Mesa de consistência – Traço Referência	50
Figura 22: Mesa de consistência – Traço 0,35% Tipo 1.....	51
Figura 23: Mesa de consistência – Traço 0,70% Tipo 1.....	51
Figura 24: Mesa de consistência – Traço 1,00% Tipo 1.....	51
Figura 25: Mesa de consistência – Traço 0,35% Tipo 2.....	52
Figura 26: Mesa de consistência – Traço 0,70% Tipo 2.....	52
Figura 27: Mesa de consistência – Traço 1,00% Tipo 2.....	52
Figura 28: Retenção de Água	53

Figura 29: Comparativo Resistência potencial de aderência à tração ao substrato padrão x Ar incorporado 36 h.....	55
--	----

Figura 30: Comparativo Densidade no estado endurecido x Ar incorporado 36 h	56
---	----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Análise de String – outubro/ 2023	16
Tabela 2: Características Químicas Cimento CP II F 40	26
Tabela 3: Características Físicas e Mecânicas Cimento CP II F 40	26
Tabela 4: Informações sobre adições – Fonte: Fabricantes	27
Tabela 5: Requisitos classificatórios e informativos – Fonte: ABNT NBR 13281-1:2023.....	29
Tabela 6: Traço Referência.....	43
Tabela 7: Variações de aditivo cristalizante para composição do traço.	43
Tabela 8: Informações sobre aditivos	44
Tabela 9: Distribuição Granulométrica Areia.....	45
Tabela 10: Resultados Teor de ar incorporado	46
Tabela 11: Resultados Densidade no estado fresco	48
Tabela 12: Resultados Mesa de Consistência	49
Tabela 13: Resultados Retenção de água.....	53
Tabela 14: Resultados Tempo de uso	54
Tabela 15: Resultados Resistência potencial de aderência à tração ao substrato padrão	54
Tabela 16: Resultados Densidade no estado endurecido	56
Tabela 17: Resultados Módulo de elasticidade dinâmico.....	57
Tabela 18: Resultados Resistência à tração na flexão	58
Tabela 19: Resultados Resistência à compressão	59
Tabela 20: Resultados Difrátômetro de Raio X (DRX) – Parte 1	60
Tabela 21: Resultados Difrátômetro de Raio X (DRX) – Parte 2	60
Tabela 22: Resultados Difrátômetro de Raio X (DRX) – Parte 3	60
Tabela 23: Resultados Difrátômetro de Raio X (DRX) – Parte 4	61
Tabela 24: Resultados Difrátômetro de Raio X (DRX) – Parte 5	61
Tabela 25: Resultados Difrátômetro de Raio X (DRX) – Parte 6	61
Tabela 26: Resultados Fluorescência de Raio X (FRX) – Parte 1	62
Tabela 27: Resultados Fluorescência de Raio X (FRX) – Parte 2.....	63
Tabela 28: Resultados Fluorescência de Raio X (FRX) – Parte 3.....	63
Tabela 29: Retenção de água	72

Tabela 30: Densidade de massa no estado fresco	72
Tabela 31: Módulo de elasticidade dinâmico	73
Tabela 32: Resistência potencial de aderência à tração ao substrato.....	73
Tabela 33: Critérios para os requisitos de módulo de elasticidade dinâmico e de variação dimensional	74
Tabela 34: Requisitos e respectivos critérios para argamassas inorgânicas para assentamento e fixação	74
Tabela 35: Requisitos e respectivos critérios para argamassas inorgânicas para assentamento e fixação	75

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA	15
2.2 TIPOS DE ARGAMASSA	20
2.3 PROCESSO PRODUTIVO PARA ARGAMASSA ESTABILIZADA	21
2.4 PROCESSO DE ADIÇÃO DE CRISTALIZANTE	22
2.5 ENSAIOS NORMATIVOS ABNT NBR 13281:2023	23
3. METODOLOGIA	25
3.1 CARACTERIZAÇÃO	25
3.1.1 Cimento	25
3.1.2 Areia	26
3.1.3 Aditivos	26
3.1.4 Cristalizantes	27
3.2 TRAÇO	27
3.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	28
3.4 ENSAIOS ESTADO FRESCO E ENDURECIDO	29
3.4.1 Ensaios estado fresco	30
3.4.1.1 Mesa de consistência	30
3.4.1.2 Retenção de água	31
3.4.1.3 Densidade de massa no estado fresco	33
3.4.1.4 Teor ar incorporado	33
3.4.1.5 Tempo de uso	34
3.4.2 Ensaios estado endurecido	34
3.4.2.1 Resistência potencial de aderência à tração ao substrato padrão	35
3.4.2.2 Densidade de massa no estado endurecido	37
3.4.2.3 Módulo de elasticidade dinâmico	38
3.4.2.4 Resistência à tração na flexão	39
3.4.2.6 Análise Mineralógica - Difratorômetro de raio (DRX)	41
3.4.2.7 Análise Química – Fluorescência de raio (FRX)	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1 DIMENSIONAMENTO DE TRAÇOS	43
4.2 ENSAIO GRANULOMÉTRICO AREIA	45

4.3 ESTADO FRESCO	46
4.4 ESTADO ENDURECIDO	54
5. CONCLUSÃO	64
6. REFERÊNCIAS	65
ANEXO A	72

1. INTRODUÇÃO

A construção civil está em constante evolução, tanto em técnicas construtivas quanto em materiais empregados. Com o avanço tecnológico, a busca por novas formas de industrialização na construção deu origem a uma série de inovações, incluindo o desenvolvimento da argamassa industrializada, sendo uma alternativa para as tradicionais argamassas produzidas em obra (COUTINHO et al. 2013).

Na década de 1950, surgiu a argamassa industrializada, com a argamassa ensacada sendo seu primeiro produto. Esse material era fornecido em sacos e exigia apenas a adição de água para preparo antes da aplicação. Já na década de 1990, o mercado brasileiro avançou na produção de argamassas industrializadas, introduzindo a argamassa estabilizada. Diferente da ensacada, essa solução já chega pronta para uso na obra, mantendo sua estabilidade por até 72 horas, sem a necessidade de adicionar água antes da aplicação (MATOS, citado por JEZIORSKI, 2018).

Com a diversificação das demandas do mercado por diferentes formas de argamassa (ensacada e industrializada), houve a necessidade de estudar adições para aprimorar o desempenho do produto durante a aplicação, além de estabelecer normas de ensaio que garantam sua qualidade.

A principal norma que estabelece parâmetros de qualidade para argamassas é a ABNT NBR 13281:2005, inicialmente intitulada "Argamassa para assentamento e revestimento de parede", porém, dada a crescente demanda e a complexidade do processo de produção de argamassa industrializada, em especial a argamassa estabilizada, em 15 de fevereiro de 2023, a norma passou por uma revisão abrangente, resultando em novos parâmetros e uma alteração em seu nome para "Argamassas inorgânicas – requisitos e métodos de ensaios". Isso expandiu o número de ensaios exigidos e definiu os parâmetros de desempenho que as argamassas devem atender.

A adição de cristalizantes ao concreto é utilizada para reduzir a porosidade e a permeabilidade da matriz cimentícia, sendo especialmente eficaz em obras com presença constante de água, como barragens, túneis e piscinas. Embora a argamassa compartilhe o mesmo aglomerante — o cimento — e seja aplicada em áreas sujeitas à umidade, sua função nas estruturas é distinta, atuando principalmente no assentamento de elementos e na fixação de revestimentos. Ainda assim, os efeitos dos cristalizantes nas argamassas não são plenamente

compreendidos, especialmente no que se refere à sua interação com traços mais simples, sem agregados graúdos, e com diferentes condições de aplicação e tempo de uso.

Neste contexto, este estudo propõe discutir como dois tipos de aditivos cristalizantes disponíveis no mercado influenciam o desempenho da argamassa estabilizada, avaliando sua conformidade com os critérios da ABNT NBR 13281:2023. Apesar de recente a revisão, a norma ainda apresenta lacunas quanto à especificidade de argamassas industrializadas e estabilizadas com adições diferenciadas, como os cristalizantes, o que reforça a importância de estudos complementares que apoiem sua evolução.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O propósito desta pesquisa consiste em compreender o impacto no estado fresco e no estado endurecido da incorporação de cristalizantes, tipo 1 e tipo 2, na qualidade da argamassa estabilizada, especificamente aquela produzida em usinas de concreto. Para alcançar tal objetivo, serão investigadas argamassas estabilizadas com diferentes proporções desses aditivos cristalizantes, sendo as proporções de 0,35%, 0,70% e 1,00%, comparando o comportamento em relação a amostra de argamassa sem a adição de cristalizante.

1.1.2 Objetivos Específicos

O trabalho analisa os seguintes objetivos específicos:

→ Analisar o potencial de melhoria da argamassa com a incorporação de dois tipos de cristalizantes em proporções distintas, em comparação uma amostra de referência sem adição, a fim de verificar sua conformidade com os parâmetros classificatórios estabelecidos na ABNT NBR 13281:2023.

→ Verificar o comportamento das argamassas através do ensaio no estado fresco, sendo eles: mesa de consistência, retenção de água, densidade no estado fresco, teor de ar incorporado e tempo de uso, os ensaios são embasados na ABNT NBR 13281:2023

→ Verificar o a diferença de comportamento das argamassas estabilizadas através dos ensaios de estado endurecido, como resistência à aderência, módulo de elasticidade, compressão e flexão na tração, também utilizando a ABNT NBR 13281:2023, e junto com a análise mineralógica pelo difratômetro de raio X (DRX) e análise química através da fluorescência de raio x (FRX).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Revisão Bibliométrica

A revisão bibliométrica é um método de análise quantitativa da produção científica que mapeia o desenvolvimento de um tema ao longo do tempo, examinando publicações, citações e redes de coautoria. Aliada à análise bibliométrica, que avalia padrões e tendências em publicações científicas, essa abordagem permite identificar influências na literatura, áreas emergentes e lacunas de pesquisa, contribuindo para a construção do conhecimento e a definição de direções estratégicas para estudos futuros.

As bases de dados como Scopus e Web of Science (WOS) permitem a busca de artigos utilizando "strings" para filtrar resultados de acordo com a linha de pesquisa em questão. As "strings" são criadas através da combinação de palavras-chave usando operadores booleanos. Na Tabela 1, são apresentadas as "strings" pesquisadas e o número de artigos encontrados nas duas bases de dados utilizadas neste trabalho, sendo considerados como revisões bibliométricas.

Tabela 1: Análise de String – outubro/ 2023

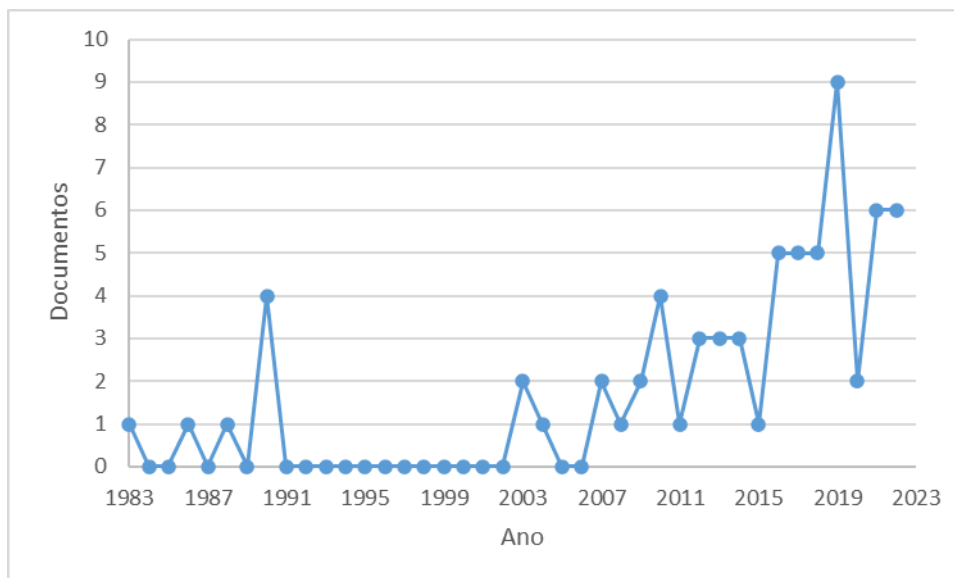
Nº String	Pesquisa Strings (Palavra-chave)	Número de artigos	
		Scopus	WOS
1	"Ready to use Mortar" OR "Stabilized Mortar" OR "Self-Consolidating Mortar" OR "Ready mix mortar Properties" AND Addition* AND Crystallization* AND permeability*	0	5
2	"Ready to use Mortar" OR "Stabilized Mortar" OR "Self-Consolidating Mortar" OR "Ready mix mortar Properties" AND addition*	20	5
3	"Ready to use Mortar" OR "Stabilized Mortar" OR "Self-Consolidating Mortar" OR "Ready mix mortar Properties" AND crystallization*	0	5
4	"Ready to use Mortar" OR "Stabilized Mortar" OR "Self-Consolidating Mortar" OR "Ready mix mortar Properties" AND permeability*	3	5
5	("ready to use mortar")	6	1
6	((("ready to use mortar") OR crystallizing) AND admixtures)	32	1
7	("self consolidating mortar")	41	1
8	"Ready to use Mortar" OR "Stabilized Mortar" OR "Self-Consolidating Mortar" OR "Ready mix mortar Properties"	58	5
9	"Ready to use Mortar" OR "Stabilized Mortar" OR "Self-Consolidating Mortar" OR "Ready mix mortar"	74	9
10	((("self-consolidating mortar") AND crystallizing) OR admixtures)	8	300

Devido às diversas traduções associadas ao tema da argamassa estabilizada, será utilizada a "string" composta por "Ready to use Mortar" OR "Stabilized Mortar" OR "Self Consolidating Mortar" OR "Ready mix mortar", exposta como string número 8 da Tabela 1. Essa escolha abrange uma ampla gama de traduções relacionadas à argamassa estabilizada, tornando-se necessária para uma busca abrangente e específica sobre o tema.

A abrangência do tema é evidenciada pela diferenciação no uso dos termos técnicos, cada um designado para situações específicas. O termo "Ready to use Mortar" refere-se a argamassas prontas para consumo imediato. "Stabilized Mortar" é utilizado para argamassas que apresentam estabilidade, indicando materiais que podem ser empregados dentro de um período previamente definido. Já "Self-Consolidating Mortar" está associado a argamassas com propriedades de auto-adensamento e maior resistência mecânica. Por fim, "Ready Mix Mortar" descreve argamassas fabricadas em usinas dosadoras, sendo também empregado comercialmente para identificar produtos provenientes de produção industrial em larga escala.

Utilizando os gráficos gerados pela Scopus é possível inferir sobre o tema. Na primeira análise é demonstrada a evolução das publicações ao longo dos anos, conforme apresentado na Figura 1

Figura 1: Evolução Publicação

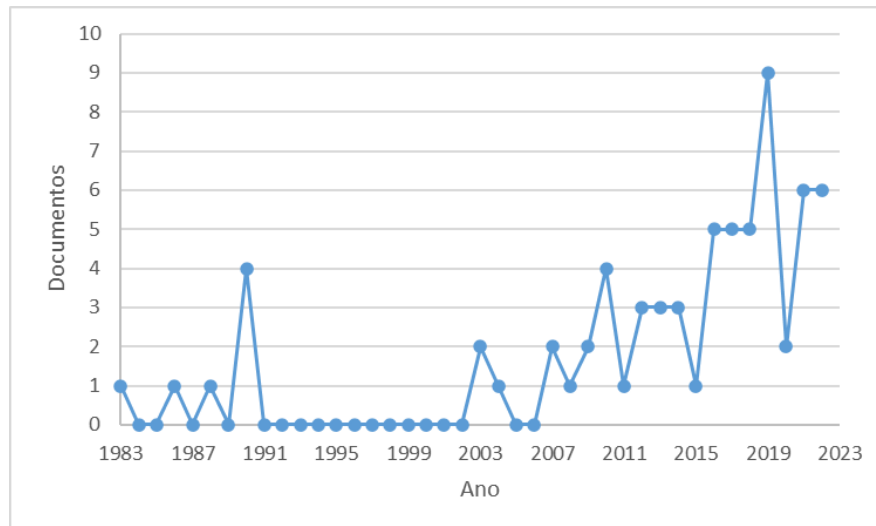


Fonte: Scopus

O maior número de publicações ocorreu em 2020 com destaque para o Irã, porém, no Brasil, o tema da argamassa estabilizada começou a ser explorado apenas nos anos de 2022 e 2023. Estes anos foram marcantes para a pesquisa sobre argamassa estabilizada no país, devido à mudança na norma ABNT NBR 13281:2023. No entanto, é importante observar que, mesmo

com essa mudança normativa, as publicações sobre o tema ainda permaneceram em um número limitado, como evidenciado na Figura 2: Ranking países.

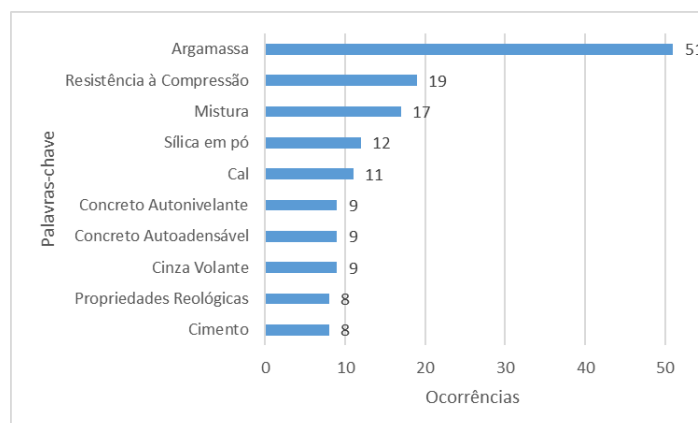
Figura 2: Ranking países



Fonte: Scopus

Outra maneira de analisar as bases de dados Scopus é utilizando o Bibliometrix, uma ferramenta de análise bibliométrica desenvolvida para auxiliar na análise quantitativa de dados relacionados a publicações acadêmicas, tais como artigos científicos, livros, conferências, entre outros. Nesse contexto, será utilizada a mesma base de dados Scopus previamente adotada para a elaboração dos gráficos anteriores. Na Figura 3, referente à ocorrência de palavras, serão analisadas as palavras-chave mais citadas, com o objetivo de identificar os termos de maior relevância no campo de estudo.

Figura 3: Ocorrência de palavras



Fonte: Scopus – Análise: Bibliometrix

A Figura 3 evidencia a amplitude da "string" de pesquisa, a qual abarcou um conjunto significativo de artigos coerentes com o escopo da investigação, sendo a palavra “mortar” com grande ocorrência, evidenciando o escopo dos artigos, junto com a palavra “mixture”, mostrando coerência entre a “string” definida e ocorrência de palavras. Adicionalmente, é de relevância aprofundar o conhecimento nas publicações acadêmicas que mais frequentemente fazem referência a artigos sobre o tema.

Na sequência são apresentadas sínteses de artigos encontrados através da revisão bibliométrica, para isso os artigos selecionados possuem relação com a argamassa junto com diferentes adições.

A argamassa estabilizada, como apresentado por Polli et al. (2023), requer aditivos como incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação para manter sua trabalhabilidade. Este estudo examinou formulações variando o teor de aditivos. Os ensaios revelaram que os aditivos preservam as propriedades reológicas, mas causam perda de propriedades mecânicas no estado endurecido. Destaca-se a necessidade de compatibilização entre os aditivos e controle tecnológico na dosagem para garantir que as argamassas permaneçam trabalháveis sem comprometer as propriedades mecânicas essenciais para um desempenho e durabilidade adequados.

Como Moraes et al. (2022) a argamassa estabilizada surge como alternativa eficiente para substituir versões produzidas no local e industrializadas. Este estudo avaliou suas propriedades ao longo de períodos de estabilização (0h, 24h e 36h) comparando-as com normas vigentes. Ensaio no estado fresco e endurecido, além de análises morfológicas, revelam diferenças significativas entre amostras. Embora as amostras mantenham trabalháveis por até 36 horas, conforme apresentado no ensaio da mesa de consistência, a argamassa não mantém propriedades iniciais ao longo desse período. Portanto, é necessário aprimorar o produto para que mantenha duas propriedades durante todo o período de estabilização.

Conforme pesquisa realizada por Jantsch et al. (2020), a presença da água é uma causa manifestações patológicas em revestimentos realizados com argamassa, diminuindo a durabilidade. Aditivos impermeabilizantes, como cristalizantes, buscam criar proteção contra a penetração da água. Esta pesquisa avaliou argamassas estabilizadas por 36 e 72 horas, com e sem cristalizantes (líquido e em pó), analisando resposta à umidade e vapor d'água. As argamassas de 36 horas apresentaram melhor desempenho, e a aplicação de cristalizantes reduziu a absorção de água e aumentou a resistência mecânica. O cristalizante líquido se mostrou mais eficaz, em relação ao cristalizante em pó.

No estudo realizado por Libre et al. (2010), sobre o impacto de adições químicas e minerais, como superplastificante, modificador de viscosidade, pó de calcário e cinzas volantes, em diferentes relações água/cimento (a/c) na qualidade da argamassa autoadensável. A relação a/c demonstra ser o parâmetro significativo, especialmente na estabilidade das misturas. A relação a/c máxima para evitar falta de homogeneidade deve ser ajustada conforme a fluidez desejada. O uso de modificador de viscosidade revela-se eficaz na estabilização da argamassa, enquanto pó de calcário e cinzas volantes melhoram a fluidez em certa medida.

Outro estudo realizado por Mehipour et al. (2012) apresentou a importância da trabalhabilidade do concreto durante o transporte em caminhões betoneira até o canteiro de obras. Nesse estudo foi identificado a influência da relação a/c, misturas binárias e ternárias com cinza volante (FA) e metacaulim (MK) em argamassas autoadensáveis (SCMs). O destaque para o estudo é que o aumento do tempo de mistura dispersa as partículas de cimento, elevando a fluidez e o risco de instabilidade. Adicionalmente, a adição de FA aumentou significativamente o índice de segregação, enquanto misturas com MK e FA mostraram maior capacidade de fluidos sem instabilidade.

Por fim, outro estudo produzido por Temp (2014) é abordado como a absorção de água ocorre em diferentes tipos de argamassa, sendo o material aplicado sobre a presença de revestimento de com chapisco e sem chapisco, nesse comparativo não houve alteração do comportamento da argamassa frente a maneira de aplicação. No estudo também foi verificado a permeabilidade ao vapor da água, as argamassas apresentaram grande fluxo de vapor, devido a existência de poros internos, favorecendo o fluxo.

2.2 Tipos de argamassa

As argamassas, constituídas basicamente de cimento e areia, podem ser divididas como produzidas em obra, e industrializadas, sendo que as industrializadas podem ser do tipo ensacadas e do tipo estabilizada. No Brasil, os primeiros registros da utilização das argamassas industrializadas é a partir da década de 90 (COUTINHO et al. 2013).

A argamassa produzida em obra é composta apenas por cimento e areia, geralmente sem controle de dosagem, deixando a quantidade de cada componente a critério do operador. Nesse tipo de produto, não são utilizados aditivos para melhorar a trabalhabilidade e estabilidade. A falta de controle na dosagem e a ausência de aditivos resultam em uma argamassa com desempenho inferior e propriedades menos garantidas após a aplicação.

Além da falta de controle, a argamassa produzida em obra geralmente é mais onerosa, conforme apresentado por Angerlim et al. (2018), o custo da argamassa produzida em obra, se considerados todos os custos envolvidos, é 30% superior ao custo da argamassa estabilizada. Conforme apresentado pelos autores, a maior economia ocorre devido à redução da quantidade de horas-homem (Hh) necessárias para a produção e aplicação da argamassa. No caso da argamassa estabilizada, considera-se apenas o tempo de aplicação, uma vez que o produto é entregue pronto para uso, eliminando etapas de preparo no canteiro de obras.

Nas argamassas industrializadas ensacadas, a composição contém cimento, diferentes tipos de areia para melhorar o desempenho e aditivos estabilizadores e incorporadores de ar. Cada embalagem contém a quantidade correta de água para a mistura, que deve ser respeitada pelo operador. Seguindo as instruções de preparo e a quantidade adequada de água, o produto alcança as propriedades desejadas no estado endurecido, especialmente em termos de resistência mecânica e aderência. No entanto, como a qualidade depende da precisão do operador ao seguir as instruções, a falta de fiscalização e controle de qualidade pode ser uma desvantagem desse produto.

Por fim, temos a argamassa estabilizada, composta por cimento, areia, aditivo incorporador de ar e aditivo estabilizador. Produzida em uma central misturadora e entregue pronta ao cliente, é um produto de alta qualidade, pois não depende do operador. Ao chegar às obras, está pronta para uso, fazendo que não exista custos de locação de equipamento e tempo gasto para a preparação, favorecendo o custo mais baixo em relação aos demais produtos (ARGELIM et al., 2018).

2.3 Processo produtivo para argamassa estabilizada

A argamassa estabilizada é produzida em centrais dosadoras, segundo definição da ABNT NBR 12655:2015, as centrais dosadoras são constituídas de silo de cimento, e a homogeneização do produto, nesse caso a argamassa estabilizada, é realizado através de caminhões betoneiras, e o produto é entregue ao cliente.

Durante o processo produtivo são colocados primeiro a areia, cimento e água, sendo esses os principais componentes da argamassa, e ao final dos processos são adicionados os dois aditivos que torna a argamassa produzida em argamassa estabilizada, sendo eles o incorporador de ar na dosagem de 0,20% e estabilizador variando nas proporções de 0,40%, 0,95% e 1,50% (POLLI et al, 2023).

Segundo Antoniazzi (2020), o aditivo estabilizador impede as reações de hidratação do cimento, postergando o processo entre cimento e água, enquanto o aditivo incorporador de ar favorece a trabalhabilidade do produto, desse modo é entendido que os ambos os aditivos trabalham de maneira conjunta, sendo complementares entre si.

Embora esses aditivos sejam complementares, é fundamental realizar estudos específicos de dosagem para determinar a quantidade ideal de cada um. De acordo com Polli et al. (2023), o aditivo incorporador de ar pode reduzir a aderência entre a argamassa e a superfície, devido à formação de vazios de ar que diminuem a área efetiva de contato. Além disso, o aumento da proporção de aditivo estabilizador pode intensificar esse efeito, comprometendo ainda mais a eficiência do sistema.

Na situação em que existe o aumento dos aditivos incorporadores de ar e estabilizador, o produto começa a apresentar características mais satisfatórias no estado fresco e menos satisfatórias no estado endurecido, sendo um ponto de atenção, visto que o produto pode ser liberado devido aos resultados satisfatórios, porém alcança resultados não satisfatórios no estado endurecido (CASALI, 2020).

2.4 Processo de adição de cristalizante

O mecanismo de atuação dos cristalizantes baseia na reação química com os produtos de hidratação do cimento, principalmente os hidróxidos de cálcio presentes na matriz cimentícia. Em presença de água, esses aditivos formam cristais insolúveis que se desenvolvem ao longo dos poros capilares e microfissuras da pasta, preenchendo-os e dificultando a migração de umidade (COUTINHO et al., 2013). Com isso, contribuem para a melhora da estanqueidade do material e o aumento da vida útil das estruturas.

Embora sejam produtos patenteados e de composição muitas vezes confidencial, estudos apontam que sua formulação costuma incluir silicatos reativos, compostos de cálcio, aluminatos e sais metálicos, que atuam como catalisadores nas reações de cristalização interna (MORAIS et al., 2022). A dosagem usual indicada pelos fabricantes varia entre 0,8% e 1,0% da massa de cimento, podendo ser ajustada conforme a finalidade, exigências da obra e especificação do fabricante.

Nas centrais dosadoras, a adição do aditivo cristalizante costuma ser feita manualmente, o que representa um obstáculo à automatização e padronização do processo produtivo. Isso reforça a necessidade de estudos que avaliem a compatibilidade dos cristalizantes com o

processo de produção de argamassa estabilizada, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Junto, a norma ABNT NBR 13281:2023, embora represente um avanço na padronização da argamassa para assentamento e revestimento, ainda não contempla de forma específica o comportamento de argamassas com aditivos cristalizantes. Essa lacuna normativa reforça a importância de pesquisas que ampliem o entendimento técnico sobre os efeitos desses aditivos em diferentes condições de dosagem e aplicação.

2.5 Ensaios normativos ABNT NBR 13281:2023

Os ensaios de liberação, também conhecidos como propriedades no estado fresco, são o índice de consistência, densidade de massa e principalmente o teor de ar incorporado. O último ensaio se demonstra de maior importância logo que identifica se os aditivos incorporadores de ar e estabilizadores entraram em reação e estão possibilitando a utilização do produto por um maior tempo, no caso do mercado com as opções 12 h, e mais comum as de 36 h e 72 h (ROQUE, 2019).

A norma, vigente desde agosto/23, em substituição a versão que entrou em vigor em 2005, traz como mudança a nova classificação da argamassa, indicando o uso adequado para cada um dos tipos.

Na parte 1 da norma a argamassa para revestimento externo, antes sendo classificada apenas como “argamassa para revestimento de paredes e tetos”, passa a ter 3 subdivisões:

- Argamassa inorgânica para revestimento – I (ARV-I): sendo permitida a aplicação em uma altura total de até 10 metros;
- Argamassa inorgânica para revestimento – II (ARV-II): sendo permitida a aplicação em uma altura total de até 60 metros;
- Argamassa inorgânica para revestimento – III (ARV-III): sendo permitida a aplicação em uma altura total superior a 60 metros;

Outra classificação é em relação as argamassas estruturais, que deixam de ser consideradas como “argamassa para assentamento”, e passam a ser consideradas como “argamassa de emboço técnico – AET”.

Os ensaios para estado fresco, não são definidos conforme o tipo de argamassa, porém os do estado endurecido mostram as faixas necessárias para cada tipo de argamassa necessária, sendo apresentadas no Anexo A, Tabela 32 e Tabela 33. As classificações foram alteradas em relação a versão anterior da norma.

O ensaio de “Tempo de uso”, que anteriormente era tratado apenas como uma exigência comercial, passou a ter respaldo normativo com a atualização da ABNT NBR 13281:2023. As argamassas estabilizadas, com tempos de uso de 36 h ou 72 h, agora devem demonstrar desempenho técnico garantido ao longo de todo o período especificado. Um dos parâmetros que devem ser mantidos durante esse intervalo é o teor de ar incorporado, mínimo de 16%, que deve permanecer dentro dos limites estabelecidos pela norma, garantindo estabilidade, trabalhabilidade e uniformidade do produto até o momento de sua aplicação.

Em relação ao estado endurecido, a inserção do ensaio de “Módulo de elasticidade dinâmico” e “Variação dimensional” passam ser um diferencial em relação a versão anterior da norma e juntos classificam a utilização da argamassa, sendo o principal ponto em relação a altura permitida para a utilização, sendo quanto maior a altura de utilização, menor deve ser o módulo da argamassa.

Já os ensaios de “Resistência potencial de aderência à tração ao substrato” e “Resistência potencial à tração superficial” que antes apenas eram classificatórios, na nova versão passam a definir o uso da argamassa conforme o resultado, para argamassa de uso interno é necessária uma resistência potencial à tração ao substrato superior a 0,20 MPa, enquanto para revestimento externo deve ser superior a 0,30 MPa.

Na parte 2 da norma divide a argamassa em três novos grupos, sendo:

- AAV: argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria sem função estrutural (vedação), e possuem subclassificação da parte 1 em ARV-I, ARV-II e ARV-III;
- AET: argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria estrutural;
- AAF: argamassa inorgânica para a fixação horizontal de alvenaria (encunhamento).

Nesta segunda etapa, o ensaio de retenção de água, que na versão anterior da norma não especificava o tipo de argamassa, passa a ter critérios definidos conforme sua aplicação. Para argamassas de vedação e argamassas estruturais, é exigido um índice de retenção de água superior a 80%, a fim de garantir adequada aderência e desempenho no assentamento. Além disso, os limites de teor de ar incorporado também são especificados: até 22% para argamassas de vedação e até 18% para argamassas com função estrutural, conforme os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 13281-2:2023.

O mesmo ocorre com a resistência a compressão, anteriormente não apresentando limitações, e agora apresentando faixas de aceitação entre 2,0 MPa e 5,0 MPa.

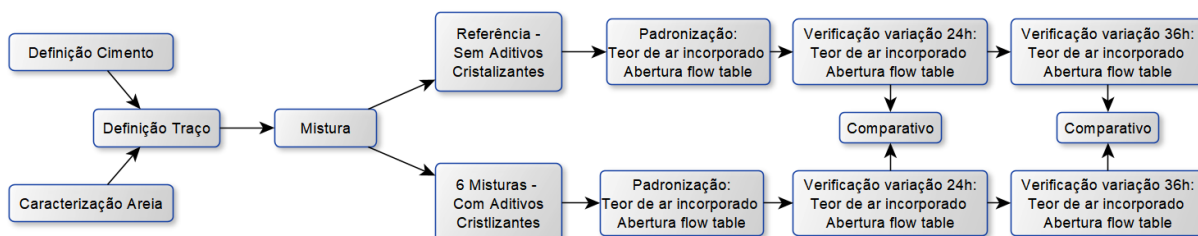
Nesse ponto é demonstrado a ligação entre resistência a compressão e módulo de elasticidade, onde os produtos devem ter correlações para atender a determinada aplicação.

Esses parâmetros ajudam o melhor desenvolvimento e venda de produtos no mercado para atender as necessidades do cliente.

3. METODOLOGIA

A argamassa é uma composição essencialmente constituída de cimento, água e areia, podendo conter aditivos, adições e, em alguns casos, o pó de brita. Neste estudo específico, foram selecionados componentes para a formulação da argamassa, incluindo cimento do tipo CP II F 40, água potável, areia de granulometria média e aditivos que conferem propriedades de incorporação de ar e estabilização. Além disso, com o propósito de aprimorar o desempenho da argamassa, foram adicionados materiais cristalizantes, permitindo uma análise detalhada do comportamento do produto sob a influência dessas adições. Este estudo visa aprofundar o entendimento sobre como esses elementos interagem e impactam as características da argamassa, contribuindo para o desenvolvimento de argamassas com desempenho otimizado em aplicações práticas, na Figura 4 é apresentado o fluxo da metodologia utilizada.

Figura 4: Fluxo da metodologia



3.1 Caracterização

3.1.1 Cimento

O cimento utilizado no ensaio será o CP II F 40 da empresa Supremo Cimentos, conforme apresentado nas Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2: Características Químicas Cimento CP II F 40

Alita (%)	Belita (%)	Perda ao fogo - PF (%)	Resíduo Insolúvel -RI (%)	Trióxido de enxofre (%)
57,57	8,09	5,00	2,69	2,22

Fabricante: Supremo Cimentos

Tabela 3: Características Físicas e Mecânicas Cimento CP II F 40

Peneira 32 mik (%)	Peneira 45 mik (%)	Blaine (cm²/g)	Resistência 3 dias - R3 (MPa)	Resistência 7 dias - R7 (MPa)	Início de Pega - IP (Minutos)
5,74	0,94	4548	36,4	43,00	220

Fabricante: Supremo Cimentos

3.1.2 Areia

Para produção de argamassas, são utilizadas areias mais uniformes, com maior concentração entre as peneiras de 0,3 mm e 0,15 mm e módulo de finura com número inferior a zona ótima, devido favorecer a estabilidade na amostra, conforme apresentado por Metha & Monteiro (2014). A caracterização do material é apresentada em Resultados para verificar se atendia aos parâmetros necessários.

3.1.3 Aditivos

Por fim, os aditivos presentes em todas as formulações serão os aditivos incorporador de ar e estabilizador, cedidos pela Hobimix Concreto e Argamassa.

A determinação da densidade dos aditivos líquidos segue as diretrizes da ABNT NBR 11768-3/2019, sendo realizada por meio de um picnômetro ou densímetro. O ensaio consiste em medir a massa de um volume conhecido do aditivo a $(25 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, comparando-o com a densidade da água.

Seguindo é mensurado pH dos aditivos líquidos é determinado conforme a ABNT NBR 11768-3/2019, utilizando um medidor de pH calibrado com soluções tampão. A análise pode ser feita diretamente no aditivo ou em solução diluída, dependendo da sua concentração e formulação.

Por fim, o teor de água nos aditivos líquidos é avaliado de acordo com a ABNT NBR 11768-3/2019, geralmente por métodos de evaporação térmica ou destilação, determinando a quantidade de umidade presente no produto.

3.1.4 Cristalizantes

Serão considerados como adições os aditivos cristalizantes, sendo avaliados dois tipos distintos. O Tipo 1 apresenta teor de CaO superior a 10%, com alita e belita em proporções próximas a 40%. Já o Tipo 2 possui teor de CaO em torno de 5%, associado a teores de alita e belita superiores a 55%. As informações disponíveis sobre a composição de cada produto, conforme fornecidas pelos respectivos fabricantes, estão organizadas na Tabela 4.

Tabela 4: Informações sobre adições – Fonte: Fabricantes

Material	Densidade [kg/l]	Dosagem Recomendada (% sobre massa de cimento)	Mínimo de cimento recomendado [Kg/m³]	Tempo mínimo de mistura recomendado [min]
Tipo 1	1,02	1,00	150	3
Tipo 2	-	0,80	136	2

3.2 Traço

Foram estudados sete traços distintos, sendo o dimensionamento e traços apresentados nos resultados, o primeiro foi considerado como referência, sem a adição de qualquer tipo de cristalizante, e os demais com a incorporação de aditivos cristalizantes. Para as análises de traços com a incorporação de aditivos cristalizantes, ambos os aditivos possuem características que cristalizarem o cimento quando estão em contato direto com a água sobre pressão. Conforme recomendação do fabricante para a adição no concreto, o aditivo Tipo 1 necessita de uma dosagem de 1,00% sobre a massa de cimento para atingir a performance esperado, enquanto o aditivo Tipo 2 necessita de uma dosagem de 0,80% em relação a massa de cimento para atingir a performance esperada.

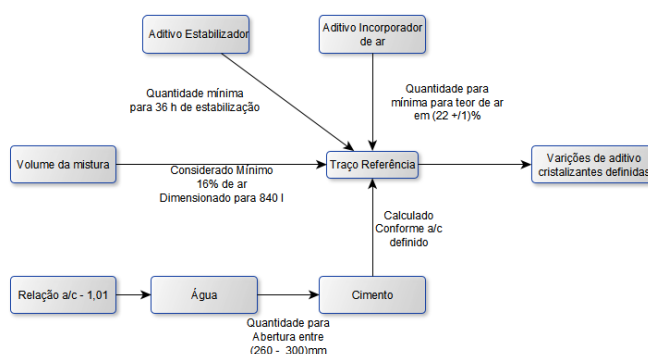
Para calcular o traço padrão, a primeira consideração é o teor de ar incorporado, conforme a ABNT NBR 13281:2023, que estabelece uma faixa de 18% a 22%. Para o dimensionamento do traço adotado o valor de 16%, visando que não ocorra falta de volume, e o teor de ar será medido conforme o ensaio “Teor ar incorporado”. Portanto, a soma dos volumes dos componentes deve ser % de 1m³, equivalente a 0,84 m³ (840 l).

O segundo parâmetro para o traço referência é o coeficiente água cimento (a/c), sendo de 1,01, esse valor surge de experiências em campo, em que demonstram menor risco de retração do material. A água dimensionada do traço será de 249 l, que permita uma consistência

entre 260 e 300 mm (POLLI et al, 2023), com isso foi encontrado um consumo de cimento de 245 Kg.

Para finalizar o volume do traço de 840 litros, foi calculada a quantidade de areia necessário para atingir o volume. Os aditivos incorporador de ar serão dimensionados para 0,45% da massa de cimento, podendo ser ajustado durante os testes com a intenção de manter a faixa de incorporação de ar entre 18% e 22%, sendo aceito variação de $\pm 1\%$, porém no tempo inicia todos os traços deverão manter o mesmo padrão, sendo utilizado o traço referência como parâmetro inicial, por fim, o aditivo estabilizador será dimensionado para 1,70% da massa de cimento, caso a quantidade de aditivo não seja satisfatória para manter a estabilidade durante as 36 h, o aditivo será recalculado. O fluxo do dimensionamento do traço é apresentado na Figura 5.

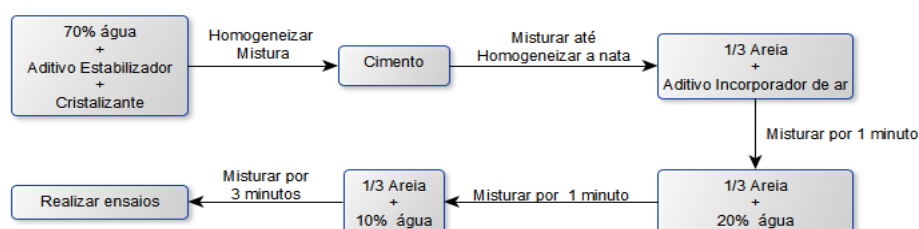
Figura 5: Fluxo cálculo de traço



3.3 Preparação das amostras

Foram preparados 25 litros de argamassa em uma betoneira com capacidade de 120 litros. Todos os materiais passaram por um processo de secagem para garantir ausência de umidade. Foi adicionada 70% da água, junto com aditivo estabilizador e cristalizante, após a homogeneização é adicionado o cimento, sendo misturado até a formação da nata homogênea de cimento. Após esse processo, é adicionado 1/3 da areia, junto com o incorporador de ar e água retida, sendo misturada por 1 minuto a cada terço de areia. Após finalizar a colocação de toda areia e água, a mistura é feita por 3 minutos, na Figura 6 é apresentado o fluxo descrito.

Figura 6: Fluxo mistura dos materiais



3.4 Ensaios estado fresco e endurecido

Os ensaios foram realizados conforme estabelecido na ABNT NBR 13281 – 1:2023 e ABNT NBR 13281 – 2:2023. Foi estudada uma argamassa com estabilização de 36 horas, classificada como argamassa inorgânica para revestimento (ARV). A classificação será feita de acordo com a altura máxima de aplicação: até 10 m (ARV-I), até 60 m (ARV-II) e acima de 60 m (ARV-III). A norma também contempla a argamassa destinada para emboço técnico (AET), porém essa categoria não será analisada. As características serão determinadas conforme os ensaios apresentados na Tabela 5. Tabela 5: Requisitos classificatórios e informativos – Fonte: ABNT NBR 13281-1:2023..

Tabela 5: Requisitos classificatórios e informativos – Fonte: ABNT NBR 13281-1:2023.

Argamassa para revestimento de paredes e tetos – ARV-I, ARV-II, ARV-III e AET	
Requisitos Classificatórios	
Estado Endurecido	Resistência potencial de aderência à tração ao substrato
	Resistência potencial à tração superficial
	Módulo de elasticidade dinâmico
	Variação dimensional (retração ou expansão linear)
Requisitos Informativos	
Estado Fresco	Retenção de água
	Densidade de massa no estado fresco
	Teor de ar incorporado
	Tempo de uso
Estado Endurecido	Densidade de massa no estado endurecido
	Resistência à tração na flexão
	Coefficiente de absorção de água por capilaridade
	Fator de resistência à difusão de vapor de água

Neste trabalho, nos classificatórios serão analisados os ensaios de “Retenção potencial de aderência à tração ao substrato” e “Módulo de elasticidade dinâmico”. Enquanto nos normativos, serão apresentados os ensaios “Retenção de água” “Densidade de massa no estado fresco”, “Teor de ar incorporado”, “Tempo de uso”, “Densidade de massa no estado endurecido” e “Resistência à tração na flexão”. Isso se deve ao fato de que, para conduzir esse ensaio, a primeira medição deve ocorrer após 24 horas da produção.

Além dos ensaios descritos pela norma, foi realizado um ensaio adicional no estado fresco para avaliação da consistência da argamassa, utilizando a mesa de consistência, um ensaio normativo destinado a avaliar a trabalhabilidade do material. Os dados obtidos serão utilizados para analisar a trabalhabilidade inicial da argamassa e sua manutenção ao longo do tempo de uso, considerando os diferentes períodos de estabilização.

O ensaio de “Variação dimensional” não será realizado devido a argamassa estabilizada permanece no estado fresco além desse período, tornando inviável a realização do ensaio.

Nos ensaios do estado endurecido não foram realizados os ensaios de coeficiente de absorção de água por capilaridade e fator de resistência à difusão de vapor de água, devido serem ensaios novos e com alterações no processo normativos, não é possível desenvolver nos equipamentos disponíveis. Junto com os ensaios normativos da ABNT NBR 13281-1:2023 também será realizado o ensaio de resistência a compressão, devido ser um ensaio necessário na ABNT NBR 13281-2:2023, para a classificação da argamassa como “Argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria sem função estrutura (vedação) – AAV”, “Argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria de alvenaria estrutural – AAE”, e “Argamassa inorgânica para assentamento para a fixação de alvenaria (encunhamento) – AAF”

3.4.1 Ensaio estado fresco

Para a caracterização da argamassa foram realizados da mesa de consistência e mais quatro ensaios normativos para estado fresco, na sequência serão detalhados o procedimento de cada um deles.

3.4.1.1 Mesa de consistência

A mesa de consistência, embora não seja um ensaio obrigatório segundo a ABNT NBR 13281:2023, é utilizada para avaliar a abertura da argamassa, conforme descrito na ABNT NBR 13276:2016. Apesar de não ser exigida de forma normativa para argamassas estabilizadas, sua aplicação é recomendada para verificar a influência das adições na trabalhabilidade do material.

A realização do ensaio requer o uso de um soquete padronizado e de uma mesa de consistência manual, conforme especificações técnicas.

Para o ensaio, é fundamental preencher o troncônico em três camadas, sendo que cada camada corresponde a um terço da altura total. Utilizando um soquete padrão, procede-se com 15 golpes na primeira camada, 10 golpes na segunda e 5 na terceira, garantindo que os impactos sejam uniformes ao longo de toda a extensão.

Uma vez removido o troncônico, é necessário utilizar a manivela da mesa de consistência, permitindo que a argamassa caia de forma controlada por 30 vezes em um intervalo de 30 segundos.

3.4.1.2 Retenção de água

O ensaio de retenção de água, realizado conforme a ABNT NBR 13277:2005, tem por objetivo avaliar a capacidade da argamassa de reter água ao longo do tempo, o que influencia diretamente sua trabalhabilidade e aderência. A retenção adequada é fundamental para garantir uma aplicação eficiente, especialmente diante de variações provocadas pela presença de aditivos cristalizantes. Para a execução do ensaio, são necessários os seguintes equipamentos:

- Funil de Buchner: modificado, conforme ABNT NBR 9290, com bomba de vácuo;
- Discos de papel-filtro: qualitativos, com 200 mm de diâmetro;
- Soquete metálico: conforme ABNT NBR 7215;
- Régua: metálica, biselada, com comprimento mínimo de 300 mm.

O procedimento para a realização do ensaio pode ser detalhado da seguinte maneira:

- Coloque o prato sobre o funil, assegurando a vedação adequada entre eles, e umedeça o papel-filtro, posicionando-o na base do prato;
- Com a torneira fechada, ligue a bomba de vácuo de modo a aplicar uma sucção de 51 mm de mercúrio ao conjunto. Abra a torneira para eliminar o excesso de água do papel-filtro por 90 segundos e, em seguida, feche-a;
- Pese o conjunto do funil/papel-filtro úmido em uma balança com resolução de 0,1 g e registre sua massa (mv);
- Encha o prato com a argamassa até ligeiramente acima da borda. Compacte-a com 37 golpes usando um soquete, com 16 golpes aplicados de forma uniforme ao longo da borda e 21 golpes distribuídos uniformemente na parte central da amostra, garantindo um preenchimento homogêneo do prato;

- Remova o excesso de argamassa do prato usando uma régua metálica, criando uma superfície plana. Esse processo deve ser realizado em duas etapas, movendo-se do centro do prato em direção à borda;
- Pese o conjunto com a argamassa nivelada na balança com resolução de 0,1 g e registre sua massa (m_a).
- Abra a torneira para aplicar uma sucção equivalente a uma coluna de 51 mm de mercúrio à amostra por um período de 15 minutos. Após esse tempo, feche a torneira;
- Retire o prato do funil, pese o conjunto em uma balança com resolução de 0,1 g e registre sua massa (m_s);
- Este procedimento detalhado descreve o passo a passo do ensaio, garantindo a precisão e a consistência na determinação da retenção de água na argamassa, com os resultados marcados, é necessário seguir com os cálculos descritos para o cálculo da retenção.

Calcular a retenção de água (R_a) através da seguinte Equação 1:

$$R_a = \left(1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF(m_a - m_v)} \right) * 100 \quad 1$$

Sendo:

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad 2$$

Onde:

- **ma** é a massa do conjunto com argamassa, em gramas;
- **ms** é a massa do conjunto após a sucção, em gramas;
- **mv** é a massa do conjunto vazio, em gramas.
- **AF** é o fator água/argamassa fresca;
- **mw** é a massa total de água acrescentada à mistura, em gramas;
- **m** é a massa de argamassa industrializada ou a soma das massas dos componentes anidros no caso de argamassa de obra, em gramas.

3.4.1.3 Densidade de massa no estado fresco

O ensaio de densidade de massa no estado fresco tem como objetivo determinar a relação entre a massa e o volume ocupado pela argamassa ainda no estado fresco. Realizado conforme a ABNT NBR 13278:2005, o procedimento consiste em preencher um recipiente padronizado com a argamassa fresca, em camadas compactadas, e em seguida medir sua massa com o auxílio de uma balança de precisão. A densidade do material no estado fresco é calculada pela Equação 3.

$$d = \frac{m_c - m_v}{v_r} * 1000 \quad 3$$

Onde:

- m_c é a massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio, em gramas;
- m_v é a massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas;
- v_r é o volume do recipiente cilíndrico, em centímetros cúbicos.

A densidade da argamassa no estado fresco deve ser exposta em quilogramas por metro cúbico.

3.4.1.4 Teor ar incorporado

O ensaio de teor de ar incorporado em argamassas frescas, pelo método gravimétrico, tem como o objetivo quantificar o volume de ar presente na mistura. O procedimento consiste em determinar a massa da argamassa fresca em recipiente de volume conhecido e, em seguida, calcular a densidade aparente da amostra. Comparando essa densidade com a densidade teórica da argamassa sem ar incorporado, obtém-se o percentual de ar aprisionado. Esse método é importante para avaliar a trabalhabilidade e uniformidade da argamassa. A determinação do teor de ar incorporado é calculada através da densidade no estado fresco explicado anteriormente, o cálculo é demonstrado na Equação 4

$$A = 100 * \left(1 - \frac{d}{d_t}\right) \quad 4$$

Sendo:

$$d_t = \frac{m_s + m_{\text{água}}}{\frac{m_s}{\gamma_s} + m_{\text{água}}} \quad 5$$

Onde:

- d é o valor da densidade de massa da argamassa, em gramas por centímetro cúbico;
- d_t é o valor da densidade de massa teórica da argamassa, em gramas por centímetro cúbico, sem vazios;
- m_s é a massa da argamassa anidra, em gramas;
- $m_{\text{água}}$ é a massa de água que compõe a argamassa fresca;
- γ_s é a massa específica da argamassa anidra, para esse estudo será considerada como a somatória das massas específicas informadas pelos fornecedores dos componentes anidros.

O teor de ar incorporado na argamassa (A) deve ser expresso em porcentagem.

3.4.1.5 Tempo de uso

O tempo de utilização da argamassa, no contexto do traço em análise, é estabelecido como o período máximo durante o qual a argamassa pode ser aplicada de forma eficaz. Para verificar a manutenção das características da argamassa ao longo desse período, foram realizados novamente os ensaios de mesa de consistência e teor de ar após 36 horas. Durante esse intervalo, a argamassa foi armazenada em baldes fechados, evitando a evaporação da água para o meio externo, condição essencial para preservar sua trabalhabilidade e evitar alterações prematuras na hidratação do cimento.

3.4.2 Ensaio estado endurecido

A caracterização da argamassa no estado endurecido compreende a realização de um conjunto de quatro ensaios com finalidades tanto classificatórias quanto informativas, em estrita conformidade com as diretrizes estabelecidas na ABNT NBR 13281:2023. Esses ensaios desempenham um papel de destaque na avaliação das propriedades e do desempenho do

material, sendo importante para a compreensão da sua qualidade e adequação a aplicações específicas no âmbito da construção civil.

A norma ABNT NBR 13281:2023 estabelece os procedimentos, critérios e padrões necessários para a avaliação da argamassa após o seu período de cura, fornecendo uns parâmetros regulatórios que orienta a execução desses ensaios. Os resultados obtidos a partir desses ensaios permitem a análise de parâmetros de grande relevância, como resistência, durabilidade, aderência e outras características de desempenho, essenciais para determinar a adequação da argamassa para as aplicações específicas na construção civil.

É importante ressaltar que a condução rigorosa desses ensaios de acordo com a ABNT NBR 13281:2023 é um procedimento padrão na análise de argamassa no estado endurecido e desempenha um papel crítico na análise de decisões relacionadas à seleção e aplicação desse material em projetos de engenharia civil.

3.4.2.1 Resistência potencial de aderência à tração ao substrato padrão

O ensaio de resistência potencial de aderência à tração ao substrato padrão da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) na dimensão de (25 x 50) cm e espessura de 20 mm, conforme estabelecido pela ABNT NBR 14051-2:2015 e citado pela ABNT NBR 15258:2021, requer a utilização de uma serra copo, um aparelho de arrancamento equipado com pastilhas de 50 mm de diâmetro e o substrato padrão. Este procedimento visa avaliar a capacidade de aderência da argamassa ao substrato, um aspecto crucial para a eficácia e durabilidade dos revestimentos de argamassa na construção civil. A norma fornece diretrizes detalhadas para a seleção e preparação dos componentes e estabelece um processo de ensaio que permite a determinação precisa da resistência potencial de aderência à tração, assegurando que os revestimentos atendam aos requisitos de qualidade e desempenho exigidos na construção civil.

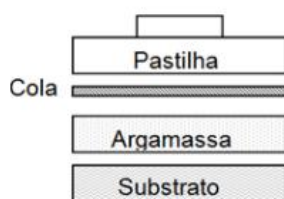
Para realização do ensaio é necessário limpar o substrato padrão, após esse processo, homogeneizar a argamassa e aplicar em 2 camadas de 5 mm, pressionando a argamassa na placa e entre as camadas.

Após o processo de montagem da placa, é necessário deixar armazenada em câmara seca a placa por 28 dias até o momento do ensaio.

Para melhor critério de análise e melhor aderência entre pastilha metálica e substrato, após os 27 dias, deve realizar no mínimo dez furos na placa utilizando a serra copo e realizada

a colagem da pastilha metálica junto com ao substrato, conforme esquema da Figura 7. Figura 7: Esquema de colagem pastilha e substrato.

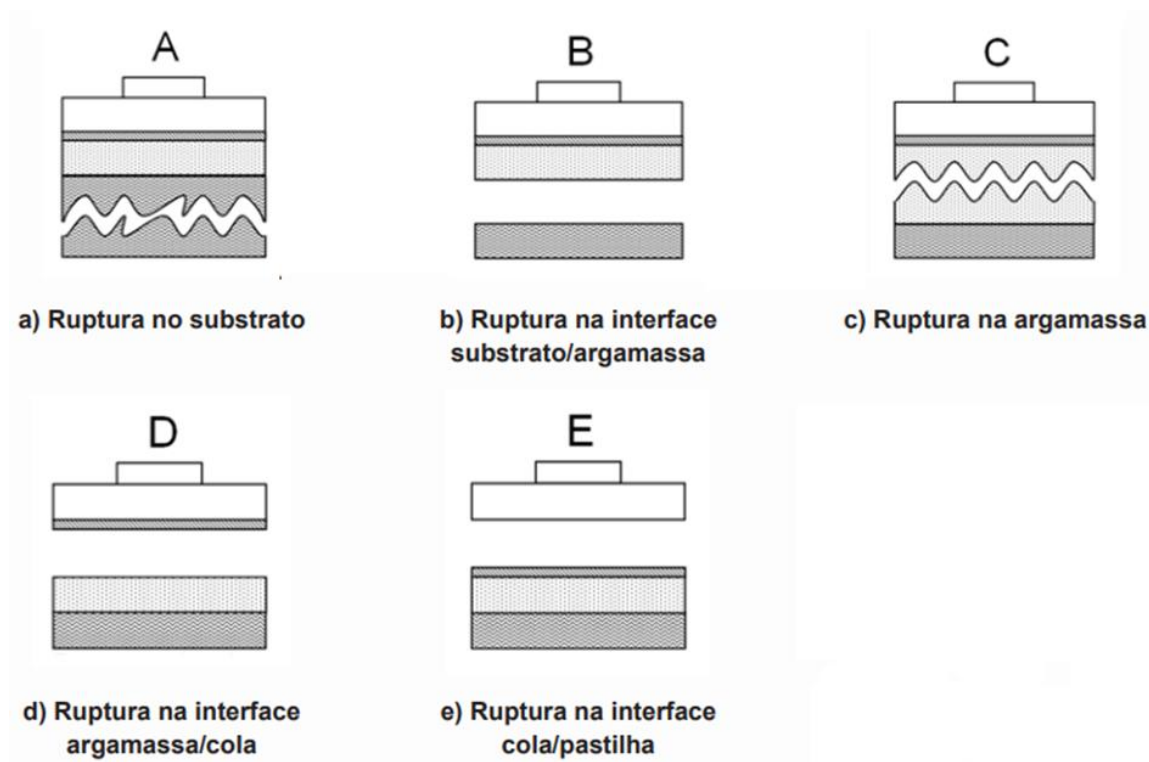
Figura 7: Esquema de colagem pastilha e substrato.



Fonte: ABNT NBR 14051-2:2015

No 28º serão realizados os ensaios de arrancamento e analisados as forças exercidas e maneiras de ruptura conforme apresentada na Figura 8

Figura 8: Maneiras de ruptura entre argamassa e substrato.



Fonte: ABNT NBR 14051-2:2015

Em conformidade com as diretrizes da norma vigente, eventuais rupturas dos tipos C, D e E resultarão na exclusão dos dados obtidos. No entanto, se ocorrer uma ruptura do tipo A, o resultado será interpretado como superior ao valor calculado. Por outro lado, no caso de uma ruptura do tipo B, o resultado calculado será adotado como válido e considerado.

Para o cálculo da tensão de ruptura, será utilizado a média de no mínimo 5 valores dos resultados encontrados na Equação 6.

$$R_a = \frac{F}{A} \quad 6$$

Onde:

- R_a é a resistência potencial de aderência à tração, expressa em megapascals (MPa);
- F é a força de ruptura, expressa em newtons (N);
- A é a área do corpo de prova (para aderência ao substrato) ou da pastilha (para aderência superficial), expressa em milímetros quadrados (mm²).

3.4.2.2 Densidade de massa no estado endurecido

Para o cálculo da densidade no estado endurecido, foram moldados um conjunto de três corpos de prova prismático, conforme a ABNT NBR 13279:2005, o processo de moldagem é utilizando formas prismática no tamanho 4x4x16 cm (Figura 9) para moldagem são necessárias duas camadas de iguais alturas, cada camada deve sofrer 30 golpes em um intervalo de 30 segundos, utilizando uma mesa de adensamento automática. Com a moldagem realizada, os prismas ficaram nas formas por no mínimo 5 dias, evitando danos nas amostras.

Figura 9: Forma prismática 4x4x16 cm.



Após a desforma, é necessário aguardar 28 dias para realizar o ensaio, que será realizado conforme a ABNT NBR 13280:2005.

A largura (l), altura (h) e comprimento (c) dos prismas serão medidos utilizando um paquímetro e o volume de cada será calculado conforme Equação 7.

$$v = c * l * h \quad 7$$

Com o cálculo de volume, será calculado a densidade no estado endurecido de cada através da Equação 8.

$$\rho_{m\acute{a}x} = \frac{m}{v} * 1000 \quad 8$$

O resultado considerado para a análise será a média dos 3 corpos de provas prismáticos.

3.4.2.3 Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade é medido conforme ABNT NBR 15630:2008 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda de ultrassom, para realização do ensaio é necessário um aparelho de ultrassom (Figura 10).

Figura 10: Aparelho de ultrassom



Para medir o módulo de elasticidade, serão utilizados os prismas do tamanho 4x4x16 cm moldados anteriormente, sendo realizadas 3 medidas de tempo em cada um dos prismas, totalizando 9 medidas de tempo para cada lote de ensaio.

$$V = \frac{L}{t} \quad 9$$

Onde:

- V é a velocidade de propagação da onda de ultrassom, expressa em milímetros por micros segundos (mm/μs), arredondado à segunda casa decimal;
- L é a distância entre os pontos de acoplamento dos transdutores (comprimento do corpo-de-prova), expressa em milímetros (mm);
- t é o tempo registrado pelo mostrador digital, expresso em micros segundos (μs).

Com os resultados obtidos da velocidade de propagação é possível obter o resultado do módulo de elasticidade dinâmico através da 10.

$$E_d = v^2 * \rho \frac{(1 + \mu) * (1 - 2 * \mu)}{1 - \mu} \quad 10$$

Onde:

- E_d é o módulo de elasticidade dinâmico, expresso em megapascal (MPa);
- v é a velocidade de propagação da onda ultrassônica, expressa em milímetros por microssegundos (mm/μs);
- ρ é a densidade de massa no estado endurecido do corpo-de-prova, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);
- μ é o coeficiente de Poisson. Adota-se nesta equação o valor 0,2, conforme sugerido na norma ABNT NBR 15630:2008.

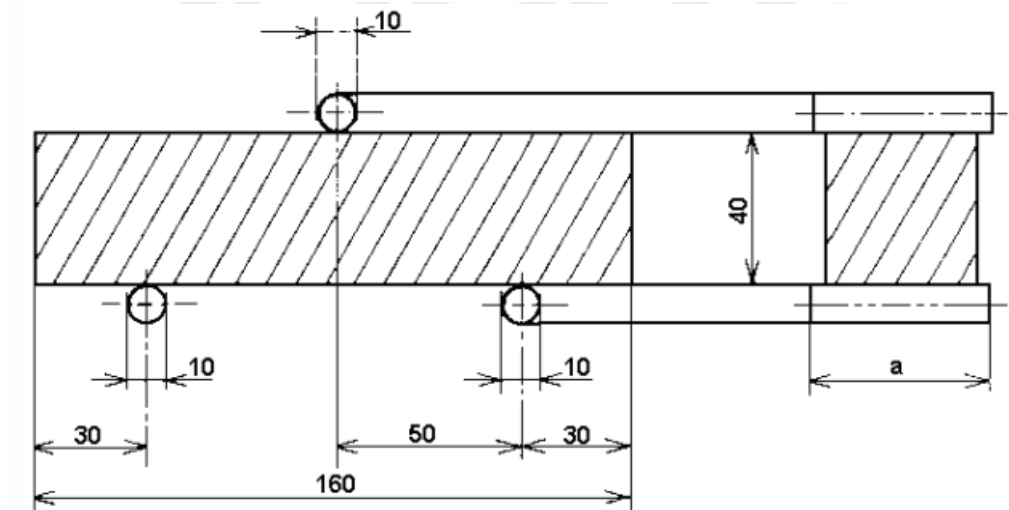
Para critério de análise será considerado o maior módulo encontrado entre os valores calculados.

3.4.2.4 Resistência à tração na flexão

Para encontrar a resistência à tração na flexão, utiliza-se os mesmos prismas do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico. Na ruptura é utilizado um dispositivo exemplificado na

Figura 11, com uma velocidade de carregamento de (50 +/- 10) N/s, sendo rompidos seis prismas no total.

Figura 11: Dispositivo para ruptura de prismas 4x4x16 cm



Fonte: ABNT NBR 13279:2005

O cálculo da tração na flexão é através da 11

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3} \quad 11$$

Onde:

- R_f é a resistência à tração na flexão (MPa);
- F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N);
- L é a distância entre os suportes (mm).

O cálculo final da resistência à tração na flexão é dado através da média entre os 3 valores.

3.4.2.5 Resistência à compressão

Para o cálculo de resistência à compressão são utilizadas as partes que são divididas no ensaio de resistência à tração na flexão. Nesse cenário, cada prisma é dividido em 2 partes, totalizando um total de seis partes para o ensaio a compressão.

Nesse ensaio, cada uma das partes é colocada em um dispositivo com área de contato de (40x40) mm, e rompido em uma velocidade de (500 +/- 50) N/s, o cálculo da resistência a compressão é demonstrando na Equação 12.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad 12$$

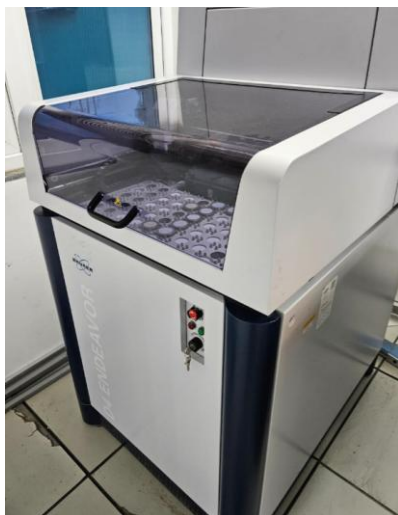
Onde:

- R_c é a resistência à compressão (MPa);
- F_c é a carga máxima aplicada (N);
- **1600** é a área da seção quadrada do dispositivo de (40x40) mm.

3.4.2.6 Análise Mineralógica - Difratorômetro de raio (DRX)

Para a realização dos ensaios de análise mineralógica – Difratorômetro de raio x (DRX), foi utilizado o equipamento E4 ENDEAVOR da marca Bruker (Figura 12), de propriedade da Supremo Secil Cimentos unidade Adrianópolis-PR.

Figura 12: Equipamento E4 ENDEAVOR marca Bruker - Propriedade Supremo Secil Cimentos



As amostras analisadas são trituradas e prensadas pelo equipamento Centaurus da marca Fl Smidth, formado pastilhas homogêneas, sendo assim encaminhadas para o equipamento de análise.

Figura 13: Equipamento Centaurus marca Fl Smidth - Propriedade Supremo Secil Cimentos



Os dados coletados pelo E4 ENDEAVOR, foram lançados no software próprio da Bruker, fornece os valores referentes a análise mineralógica das amostras.

3.4.2.7 Análise Química – Fluorescência de raio (FRX)

O ensaio de análise química – fluorescência de raio (FRX), foi utilizado o equipamento S8 TIGER da marca Bruker, também de propriedade da Supremo Secil Cimentos unidade Adrianópolis-PR.

Figura 14: Equipamento S8 TIGER marca Bruker - Propriedade Supremo Secil Cimentos



As mesmas pastilhas utilizadas no ensaio de DRX são analisadas pelo equipamento para a análise do FRX. Através de software próprio da Bruker, são também fornecidas as fases mineralógicas de cada amostra ensaiada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dimensionamento de traços

Na análise, será realizado o ensaio com o traço padrão, seguindo a classificação estabelecida pela norma vigente.

Através desses dados iniciais o cálculo do traço padrão conforme demonstrado na Tabela 6, e na Tabela 7 são apresentadas as seis adições que foram compostas no traço padrão, totalizando mais seis traços estudados.

Tabela 6: Traço Referência.

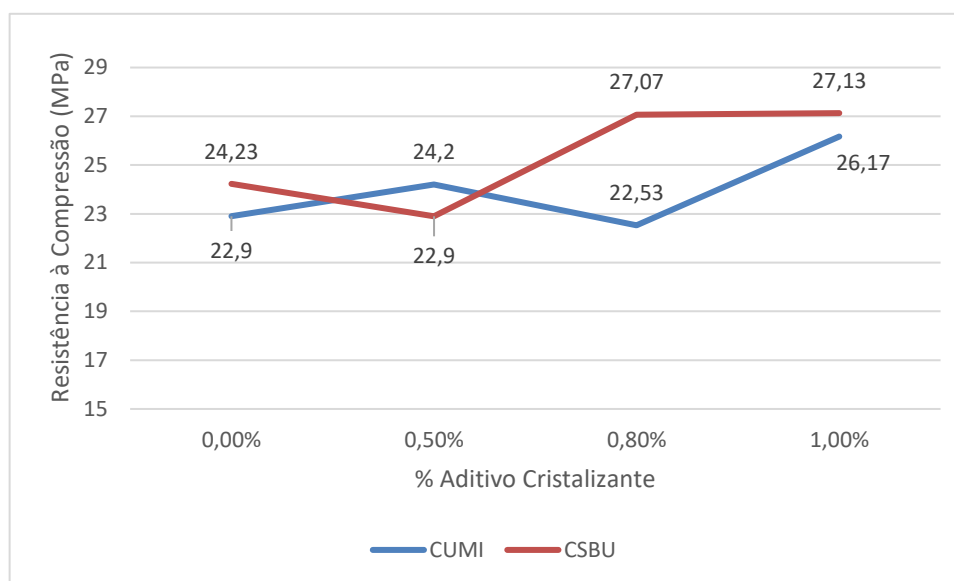
Material	Quantidade [kg]	Massa Específica[kg/l]	Volume [l]
Cimento CP II F 40	245,00	3,10	79,00
Areia	1447,00	2,63	512,00
Estabilizador	4,16	1,10	-
Incorporador	1,10	1,02	-
Água	249,00	1,00	249,00
Volume Total [l]			840,00

Tabela 7: Variações de aditivo cristalizante para composição do traço.

Material	Dosagem 0,35% [kg]	Dosagem 0,7% [kg]	Dosagem 1,0% [kg]
Tipo 1	0,857	1,715	2,450
Tipo 2	0,857	1,715	2,450

Para o dimensionamento das variações de aditivo cristalizante é utilizado o estudo de Polesello (2020), onde apresenta o comportamento do concreto com diferentes dosagens de aditivo cristalizante no concreto, junto com diferentes tipos de cura, sendo cura úmida (CUMI) e cura submersa (CSUB), na Figura 15 é apresentada a variação da resistência à compressão, para um concreto com relação água/cimento de 0,63, mesmo sendo diferente da relação água/cimento utilizada na pesquisa, o estudo apresentado demonstra o impacto do cristalizante na argamassa.

Figura 15: Variação de resistência a compressão – Fonte: Polesello (2020)



Após análise do estudo apresentado, as dosagens utilizadas neste experimento foram definidas com base nas recomendações dos fabricantes dos aditivos. O fabricante do aditivo Tipo 1 sugere a aplicação de até 1,00% em relação à massa de cimento, enquanto o do aditivo Tipo 2 recomenda um limite de 0,80%. Considerando essas informações e dados prévios sobre o comportamento prático desses produtos, foram adotadas as dosagens de 0,35%, 0,70% e 1,00% para ambos os aditivos. Essas proporções encontram-se dentro dos limites indicados pelos fabricantes e são tecnicamente relevantes, uma vez que o uso dos cristalizantes tem demonstrado potencial para o aumento da resistência à compressão, o que pode viabilizar, na prática, a redução no consumo de cimento. As dosagens aplicadas para cada aditivo estão detalhadas na Tabela 7.

As características dos aditivos estabilizadores e incorporadores de ar são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8: Informações sobre aditivos

Material	Densidade [kg/l]	pH	Teor de água (%)
Incorporador de ar	1,01	8,21	92,0
Estabilizador	1,15	6,59	80,0

4.2 Ensaio Granulométrico Areia

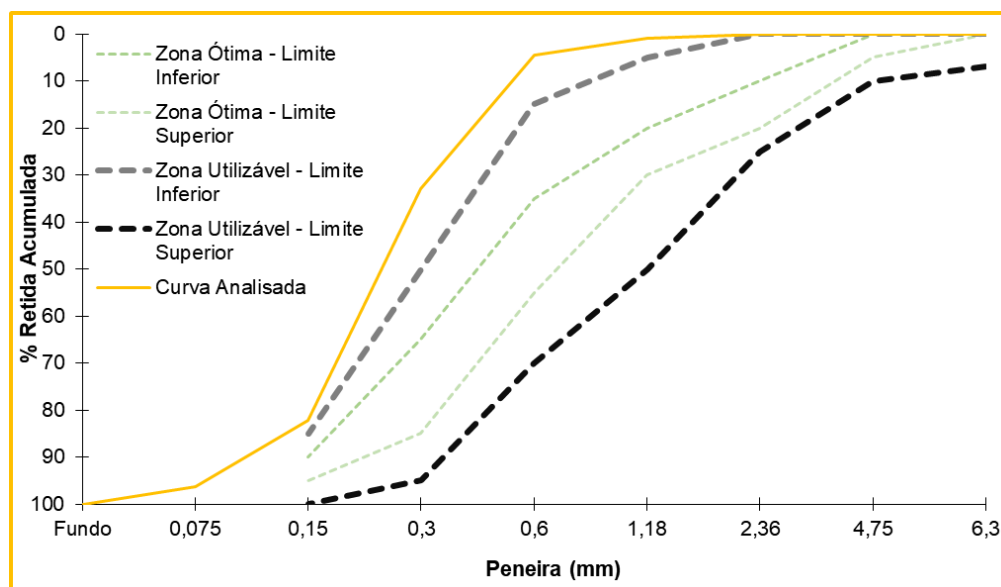
O ensaio de granulometria da areia é apresentado na Tabela 9 e a curva na Figura

16.

Tabela 9: Distribuição Granulométrica Areia

Peneira	Massa[g]	% Retida	%Acumulada
9,5 mm	-	-	-
6,3 mm	-	0,0	0,0
4,75 mm	0,2	0,0	0,0
2,36 mm	1,3	0,1	0,2
1,18 mm	7,3	0,7	0,9
600 μ m	36,2	3,6	4,5
300 μ m	284,3	28,4	32,9
150 μ m	493,3	49,3	82,3
75 μ m	140,9	14,1	96,4
Fundo	36,5	3,7	100,0
Total	1000,0	100	-

Figura 16: Curva granulométrica areia utilizada



Conforme demonstrado, a areia utilizada apresenta maior concentração de partículas retidas entre as peneiras de 300 μ m e 150 μ m. De acordo com a ABNT NBR 7211:2022, essa distribuição granulométrica situa-se acima da zona utilizável, o que, em princípio, poderia indicar uma limitação para o uso do material em argamassas. No entanto, segundo Mehta e Monteiro (2014), agregados com módulo de finura mais baixo, cuja curva granulométrica se

posiciona abaixo do limite inferior da zona utilizável, podem contribuir positivamente para a estabilidade da mistura, desde que associados a aditivos com efeito estabilizador. Portanto, a combinação entre a granulometria mais fina e o uso de aditivos cristalizantes pode favorecer a coesão e o desempenho da argamassa estabilizada.

4.3 Estado fresco

Os ensaios no estado fresco serão conduzidos em três momentos distintos: o primeiro no instante da produção e o segundo após um período de 24 horas e o último após um período de 36 horas.

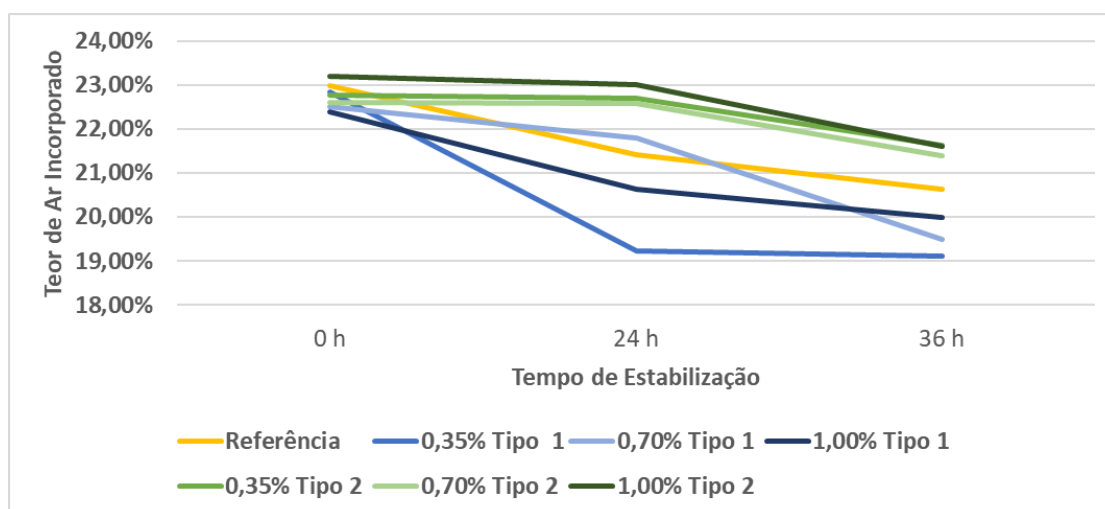
Teor de ar incorporado, deve atender a um mínimo de 18%, conforme descrição da norma ABNT NBR 13281-2:2023 apresentado no Anexo A na Tabela 34.

Conforme o primeiro traço ensaiado o teor de ar incorporado do traço referência foi de 23%, valor igual ao adotado por Bellei e Caten (2019) e Jantsch et al. (2020), sendo assim o teor mínimo inicial adotado foi de 23,0%, aceitando uma variação de $\pm 0,5\%$, para o ajuste no teor de ar incorporado foi utilizado o aditivo incorporador de ar, a dosagem final do aditivo para cada traço é apresentada na Tabela 10, junto com os teores de ar inicial (0h), teor de ar após 24 h e 36 h, junto é apresentado na Figura 17 de maneira gráfica a perda do teor de ar incorporado em cada uma das amostras testadas.

Tabela 10: Resultados Teor de ar incorporado

Traço	Consumo de aditivo incorporador de ar (%)	0h	24h	26h	Conformidade
		Valor (%)	Valor (%)	Valor (%)	
Referência	0,45%	23,00%	21,42%	20,62%	Conforme
0,35 % Tipo 1	0,35%	22,85%	19,24%	19,12%	Conforme
0,70 % Tipo 1	0,25%	22,50%	21,80%	19,49%	Conforme
1,00 % Tipo 1	0,25%	22,40%	20,64%	20,00%	Conforme
0,35 % Tipo 2	0,45%	22,77%	22,70%	21,62%	Conforme
0,70 % Tipo 2	0,45%	22,60%	22,58%	21,38%	Conforme
1,00 % Tipo 2	0,55%	23,20%	23,01%	21,60%	Conforme

Figura 17: Teor de Ar Incorporado



Conforme demonstrado, todas as amostras apresentaram teor de ar incorporado dentro do intervalo estabelecido ($23 \pm 0,5\%$). As que receberam o aditivo cristalizante do Tipo 1 demandaram menor dosagem do incorporador para alcançar esse valor, enquanto as do Tipo 2 exigiram uma quantidade superior. Isso indica que o primeiro possui maior eficiência na incorporação de ar ao composto.

Além disso, observou-se que o aditivo do Tipo 1, apesar de não favorecer a incorporação de ar, apresentou a maior perda de teor de ar ao longo do período de estabilização, ficando abaixo dos valores do traço de referência ao final do ensaio. Em contrapartida, o aditivo do Tipo 2 demonstrou maior estabilidade, com uma redução inferior a 2,0%, enquanto a amostra de referência perdeu mais de 2,0% e a com o aditivo Tipo 1 ultrapassou 3,0% de perda.

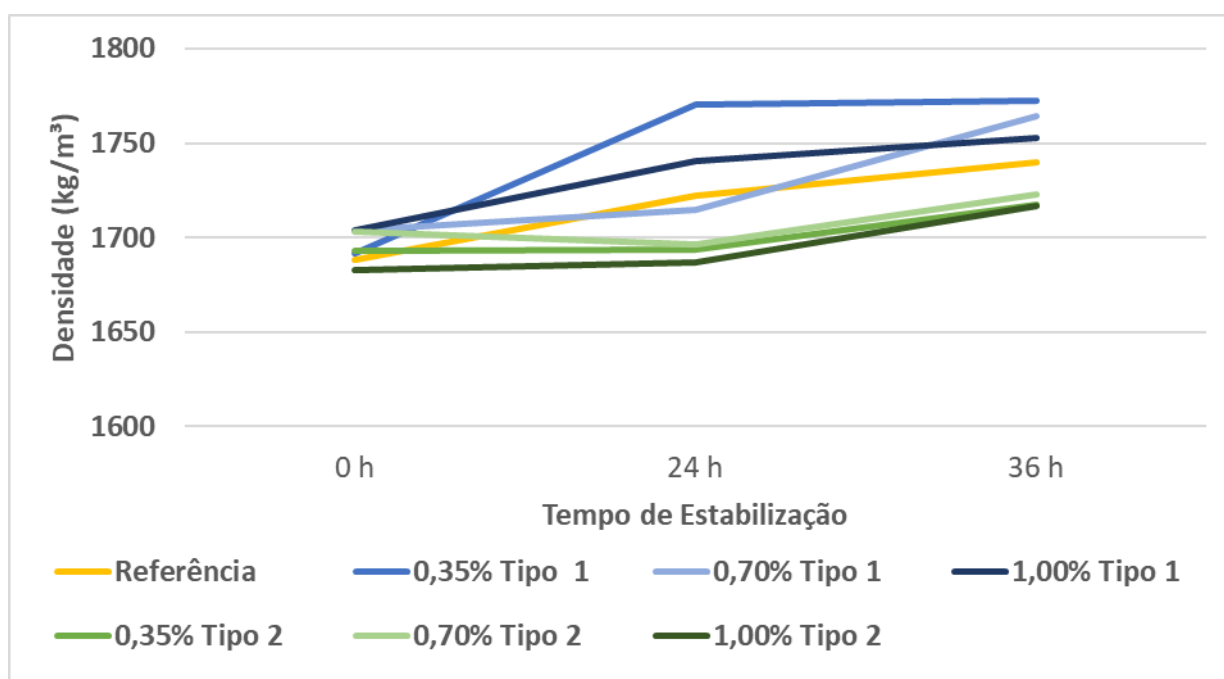
Mesmos com as perdas todas as amostras após o período final de estabilidade ficaram acima de 18% de teor de ar incorporado, conforme NBR 13281-2/2023, não podendo ser utilizadas como argamassa de assentamento de alvenaria estrutural, conforme descrito no Anexo A na Tabela 34. A argamassa com o aditivo da linha Tipo 1 são mais favoráveis a utilização como assentamento de alvenaria sem função estrutural, logo que a NBR 13281-2:2023 limita o teor de ar incorporado em 22% para essa aplicação. E conforme a norma descrita no Anexo A na Tabela 30, todas as argamassas podem ser utilizadas como fixação.

Junto com o ensaio de teor de ar incorporado, foi realizado o ensaio de densidade no estado fresco, sendo também realizados em 3 períodos, nesse ensaio é importante a classificação se manter a mesma durante todo o tempo de uso, os resultados são apresentados na Tabela 11 e graficamente na Figura 17.

Tabela 11: Resultados Densidade no estado fresco

Traço	0h	24h	36h	Classificação
	Valor (kg/m ³)	Valor (kg/m ³)	Valor (kg/m ³)	
Referência	1688	1722	1740	DF2
0,35 % Tipo 1	1692	1770	1773	DF2
0,70 % Tipo 1	1704	1715	1764	DF2
1,00 % Tipo 1	1704	1741	1753	DF2
0,35 % Tipo 2	1693	1694	1718	DF2
0,70 % Tipo 2	1704	1696	1723	DF2
1,00 % Tipo 2	1683	1687	1717	DF2

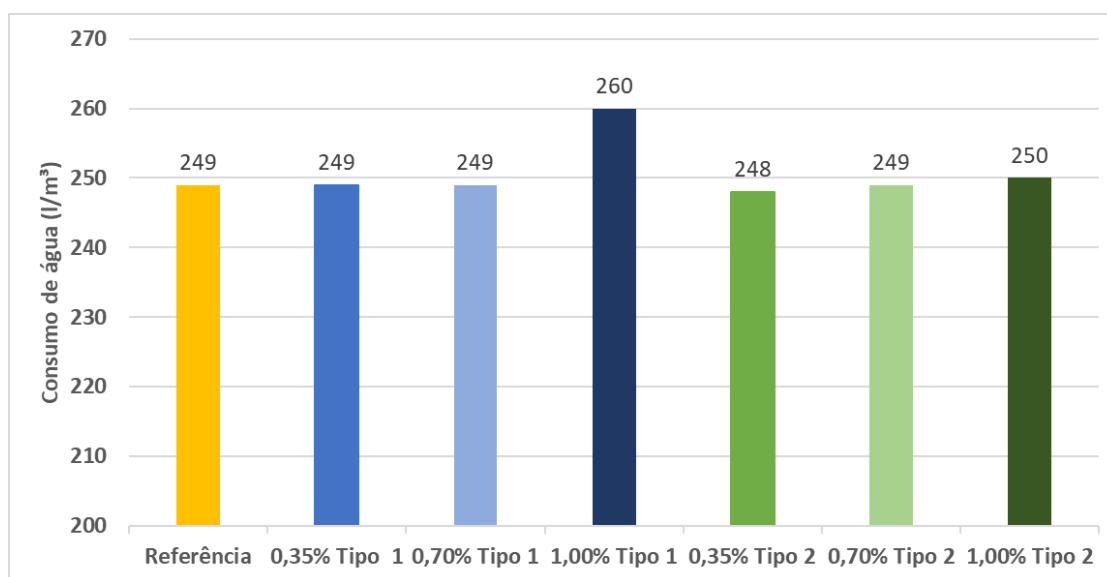
Figura 18: Densidade no Estado Fresco



Todas as amostras permaneceram classificadas como DF2 ao longo de todo o período de estabilização, conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 13281-1:2023, que define essa categoria para argamassas com densidade de massa fresca entre 1600 kg/m³ e 1800 kg/m³. Embora essa classificação represente exclusivamente à densidade, a manutenção dos valores dentro da mesma faixa durante o período de estabilização pode ser interpretada como um indicativo de comportamento consistente da mistura. Resultados semelhantes foram obtidos por Jantsch et al. (2020), cujas amostras, avaliadas segundo a versão anterior da norma (ABNT NBR 13281:2005), também se mantiveram dentro do intervalo de densidade e foram enquadradas na mesma classe.

O ensaio de mesa de consistência foi conduzido nos mesmos períodos dos ensaios anteriores. Para esse teste, foi necessário ajustar o teor de água na mistura, adicionando 500 mL por m^3 , seguido de um novo ensaio de abertura. O procedimento foi repetido até que a abertura inicial estivesse entre 265 mm e 275 mm, respeitando o valor mínimo de 200 mm, conforme os parâmetros adotados por Polli et al. (2023). Na Figura 19 são apresentados a quantidade final de água em litros/ m^3 para cada traço.

Figura 19: Consumo final de água por traço

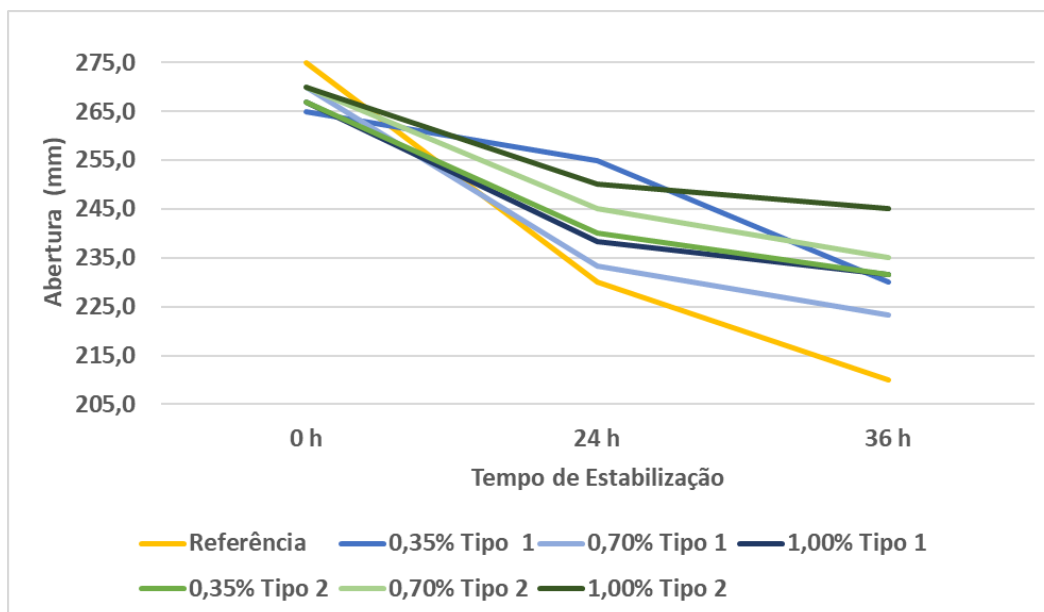


Conforme apresentado anteriormente, em ambas as situações quanto maior a dosagem de aditivo cristalizante, maior é consumo de água. Nesse cenário é importante analisar a perda de fluidez ao longo do tempo, e os resultados são apresentados na Tabela 12 sendo apresentado a média das 3 medidas por ensaio, e a análise é apresentada na Figura 20

Tabela 12: Resultados Mesa de Consistência

Traço	0h	24h	36h
	Valor (mm)	Valor (mm)	Valor (mm)
Referência	275,0	230,0	210,0
0,35 % Tipo 1	265,0	255,0	230,0
0,70 % Tipo 1	270,0	233,3	223,3
1,00 % Tipo 1	267,0	238,3	231,7
0,35 % Tipo 2	267,0	240,0	231,7
0,70 % Tipo 2	270,0	245,0	235,0
1,00 % Tipo 2	270,0	250,0	245,0

Figura 20: Mesa de Consistência



Foi demonstrado que os aditivos cristalizantes melhoram a trabalhabilidade da argamassa estabilizada em relação ao traço referência. No aditivo Tipo 2 a trabalhabilidade é mais estável ao longo do tempo, e em ambas as situações o aditivo com porcentagem de 1,0% demonstrou melhor fluidez ao final da estabilização nas 36 horas, quando comparado os demais dosagens de aditivo cristalizante, nesse cenário os aditivos cristalizantes possuem comportamento de estabilizador, logo que diminuem a perda de trabalhabilidade ao longo do tempo (JANRSCH et al. 2020). Na sequência são apresentadas imagens (Figura 21 a Figura 27) com os ensaios respectivos em cada traço.

Figura 21: Mesa de consistência – Traço Referência



Figura 22: Mesa de consistência – Traço 0,35% Tipo 1



Figura 23: Mesa de consistência – Traço 0,70% Tipo 1



Figura 24: Mesa de consistência – Traço 1,00% Tipo 1



Figura 25: Mesa de consistência – Traço 0,35% Tipo 2



Figura 26: Mesa de consistência – Traço 0,70% Tipo 2



Figura 27: Mesa de consistência – Traço 1,00% Tipo 2



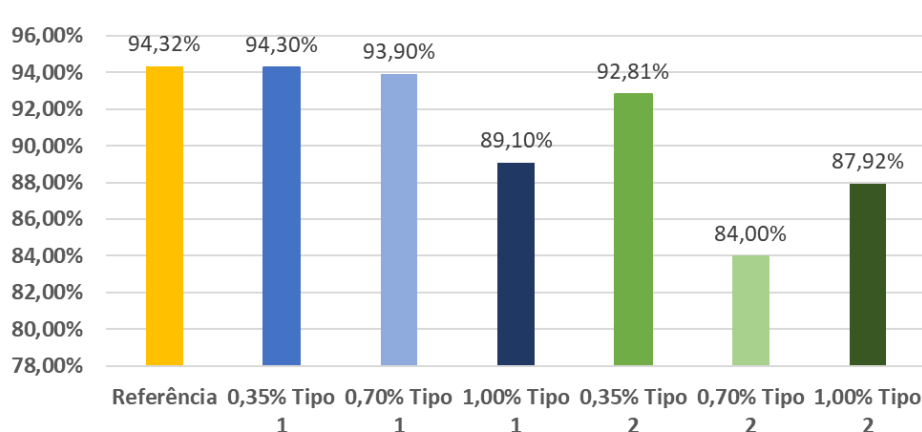
O penúltimo ensaio realizado no estado fresco compreenderá a avaliação da retenção de água, no instante inicial (0 h). Era esperado que os valores alcancem patamares superiores a 80%, conforme norma descrito no Anexo A na Tabela 29. Cada amostra será submetida a uma categorização como "conforme" ou "não conforme", ademais de seguir a classificação preconizada pela NBR 13281-1:2023. É saliente ressaltar que valores mais elevados de retenção

denotam uma qualidade superior do produto. No caso do produto apresentar valores acima de 80% e abaixo de 90%, será categorizado como U2; caso ultrapasse os 90%, receberá a categoria U3, os dados são apresentados na Tabela 13 e analisados na Figura 28.

Tabela 13: Resultados Retenção de água

Traço	0 h		
	Valor	Conformidade	Categoria
Referência	94,32%	Conforme	U3
0,35 % Tipo 1	94,30%	Conforme	U3
0,70 % Tipo 1	93,90%	Conforme	U3
1,00 % Tipo 1	89,10%	Conforme	U2
0,35 % Tipo 2	92,81%	Conforme	U3
0,70 % Tipo 2	84,00%	Conforme	U2
1,00 % Tipo 2	87,92%	Conforme	U2

Figura 28: Retenção de Água



A dosagem de 0,70% do aditivo Tipo 2 apresentou a maior perda de água entre as misturas analisadas, embora os resultados ainda estejam em conformidade com o valor mínimo de 80% exigido pela ABNT NBR 13281-2:2023 para argamassas inorgânicas de assentamento. Esse comportamento pode estar relacionado à composição química do aditivo, que pode favorecer a formação de uma estrutura com maior incorporação de ar ou interferência na retenção capilar, reduzindo a capacidade da argamassa de manter a água necessária para a hidratação e aderência. Apesar disso, o desempenho continua dentro dos parâmetros normativos, indicando que, mesmo com variação entre os traços, a formulação atende aos requisitos de qualidade estabelecidos.

Por fim, o último ensaio será o tempo de uso será considerado aprovadas, se as amostras se mantiverem conformes nos ensaios anteriores, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14: Resultados Tempo de uso

Traço	Conformidade
Padrão	Conforme
0,35 % Tipo 1	Conforme
0,70 % Tipo 1	Conforme
1,00 % Tipo 1	Conforme
0,35 % Tipo 2	Conforme
0,70 % Tipo 2	Conforme
1,00 % Tipo 2	Conforme

Todas as amostras estão conforme para o tempo de uso de 36 horas, logo que mantém as características iniciais ao longo do período de estabilização, e durante todo o período de estabilidade as amostras ensaiadas são classificadas como DF2 para densidade no estado fresco.

4.4 Estado Endurecido

Os ensaios no estado endurecido foram realizados após 28 dias, sendo analisados na sequência.

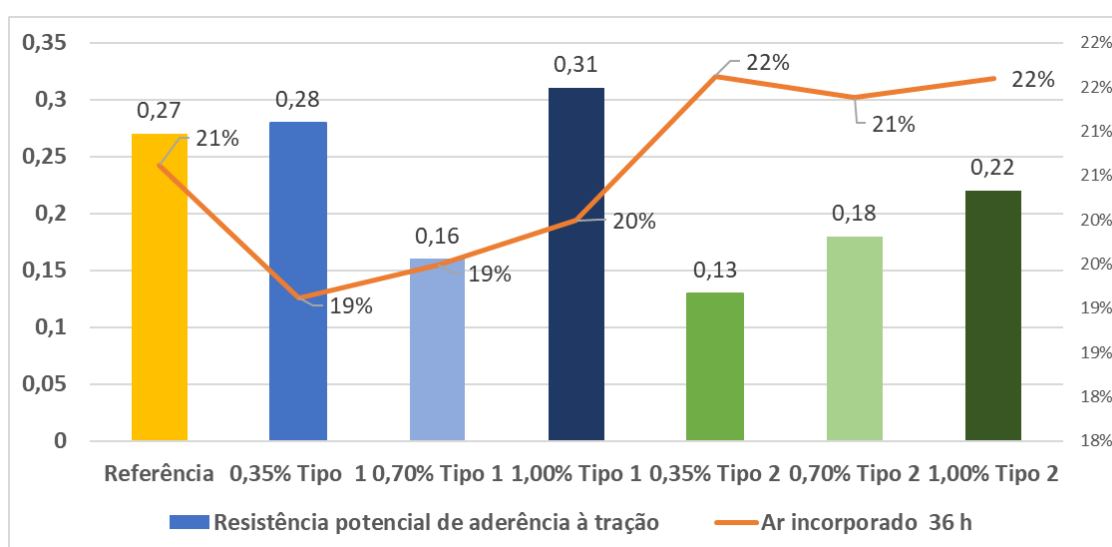
O primeiro ensaio no estado endurecido é referente à resistência potencial de aderência à tração ao substrato padrão, sendo considerados apenas rupturas dos tipos A, B e C, conforme apresentado anteriormente. A análise do resultado é utilizando a ABNT NBR 13281-2:2023 onde define como critério mínimo a resistência potencial de 0,20 MPa, o resultado é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15: Resultados Resistência potencial de aderência à tração ao substrato padrão

Traço	Resistência 28 dias (MPa)	Conformidade
Referência	0,27	Conforme
0,35 % Tipo 1	0,28	Conforme
0,70 % Tipo 1	0,16	Não Conforme
1,00 % Tipo 1	0,31	Conforme
0,35 % Tipo 2	0,13	Não Conforme
0,70 % Tipo 2	0,18	Não Conforme
1,00 % Tipo 2	0,22	Conforme

Conforme apresentado, os traços com aditivo do Tipo 2 apresentaram menor desempenho no ensaio de aderência ao substrato. Embora uma possível causa seja atribuída à maior teor do ar incorporado, o que reduziria a área efetiva de contato entre a argamassa e o substrato (POLLI et al., 2023), não foram observadas bolhas visíveis após a remoção dos corpos de prova. Além disso, os valores de densidade entre os traços com e sem aditivo se mantiveram relativamente próximos, o que não sugere variações significativas na massa ou na quantidade total de ar incorporado. Assim, considera-se que o desempenho inferior possa estar mais relacionado à distribuição do ar na matriz ou à interferência do aditivo na zona de transição argamassa-substrato, fatores que impactam a aderência mesmo sem grandes variações de densidade. A Figura 29 ilustra a comparação entre os traços analisados.

Figura 29: Comparativo Resistência potencial de aderência à tração ao substrato padrão x Ar incorporado 36 h



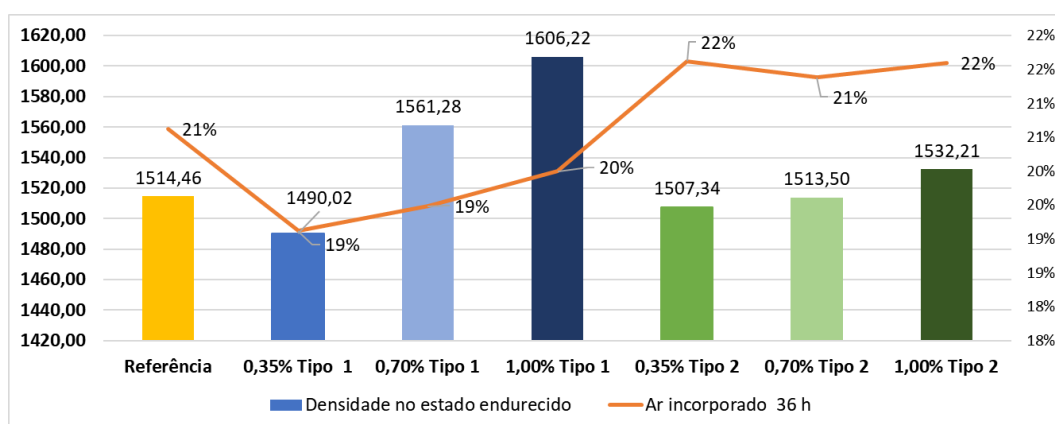
Os ensaios seguintes foram utilizando os corpos de prova prismáticos com dimensão de 4x4x16 cm. O primeiro resultado apresentado é da densidade de massa no estado endurecido, para a análise é considerada a média da densidade de três corpos de prova, sendo apresentados na sequência e classificados conforme a ABNT NBR 13281-1/2023.

Tabela 16: Resultados Densidade no estado endurecido

Traço	Densidade no estado endurecido (kg/m ³)	Classificação
Referência	1514,46	DE2
0,35 % Tipo 1	1490,02	DE2
0,70 % Tipo 1	1561,28	DE2
1,00 % Tipo 1	1606,22	DE3
0,35 % Tipo 2	1507,34	DE2
0,70 % Tipo 2	1513,50	DE2
1,00 % Tipo 2	1532,21	DE2

A classificação DE2 é limitada entre 1400-1600 kg/m³, enquanto a classificação DE3 é definida entre 1600-1800 kg/m³, com exceção da mistura com 1,00% do aditivo Tipo 1, as demais misturas foram classificadas como DE2. Para análise do resultado, é apresentada a Figura 30 que relaciona teor de ar incorporado final.

Figura 30: Comparativo Densidade no estado endurecido x Ar incorporado 36 h



Quando analisadas as amostras com aditivo Tipo 1, é importante relacionar ao teor de ar incorporado que fica abaixo da referência, e eleva a densidade no estado endurecido, relacionando que o ar da amostra se perde ao longo do período.

A análise das amostras com o aditivo do Tipo 2 demonstra coerência entre o teor de ar incorporado e os resultados de densidade. As dosagens de 0,35% e 0,70% apresentaram densidades inferiores à amostra de referência e não atenderam aos requisitos no ensaio de resistência potencial de aderência. Por outro lado, a amostra com 1,00% do mesmo aditivo exibiu maior teor de ar incorporado, mas apresentou densidade superior. Esse comportamento

pode indicar uma possível perda do ar incorporado ao longo do tempo, o que teria contribuído para o aumento da densidade e, conseqüentemente, para a melhora no desempenho de aderência

O ensaio seguinte no estado endurecido é o módulo de elasticidade dinâmico, sendo considerado o resultado maior resultado entre os três corpos de prova ensaiados sendo classificados conforme ABNT NBR 13281-1/2023 e identificado qual tipo de argamassa atende ao requisito encontrado, são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Resultados Módulo de elasticidade dinâmico

Traço	Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	Classificação	Requisito tipo de argamassa
Referência	5983,20	E4	ARV-I, ARV-II, ARV-III, AET
0,35 % Tipo 1	6799,13	E4	ARV-I, ARV-II, ARV-III, AET
0,70 % Tipo 1	9013,33	E3	ARV-I, ARV-II, ARV-III
1,00 % Tipo 1	9628,31	E2	ARV-I, ARV-II, ARV-III, AET
0,35 % Tipo 2	6784,86	E4	ARV-I, ARV-II, ARV-III, AET
0,70 % Tipo 2	7219,56	E3	ARV-I, ARV-II, ARV-III
1,00 % Tipo 2	7988,24	E3	ARV-I, ARV-II, ARV-III

Quanto analisado os resultados, a amostra referência pode ser utilizada como “Argamassa de emboço técnico – AET”, e ser utilizada também como “Argamassa inorgânica para revestimento – ARV” com aplicação superior a 60 metros em relação ao nível da rua.

Ao analisar as argamassas com aditivo Tipo 1, apenas a com dosagem de 0,35% se manteve com a classificação e aplicação da amostra referência, enquanto a com dosagem de 0,70% não pode ser utilizada como AET, porém pode ser aplicada em altura superior a 60 metros (ARV-III), por fim a com dosagem de 1,00% possui uma limitação de altura de aplicação em 60 metros.

Em relação ao aditivo Tipo 2, também apenas a com dosagem de 0,35% de manteve com a classificação e aplicação igual a amostra referência, porém, diferente do aditivo do Tipo 1, as demais dosagens podem ser aplicadas em alturas superiores a 60 metros em relação ao nível da rua.

Iniciando os ensaios destrutivos, foi realizado o ensaio de resistência à tração na flexão, sendo classificados de acordo com ABNT NBR 131281-1/2023, os resultados são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Resultados Resistência à tração na flexão

Traço	Resistência à tração na flexão (MPa)	Classificação
Referência	0,69	R2
0,35 % Tipo 1	0,87	R2
0,70 % Tipo 1	0,51	R2
1,00 % Tipo 1	0,81	R2
0,35 % Tipo 2	0,47	R1
0,70 % Tipo 2	0,49	R1
1,00 % Tipo 2	0,56	R2

Conforme demonstrado, as amostras com dosagens de 0,35% e 0,70% aditivo Tipo 2 foram classificadas como R1, sendo uma classificação que limita a resistência em 0,5 MPa, as demais classificadas como R2, se encontrando na faixa entre 0,5-1,5 MPa.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado, embora a ABNT NBR 13281-1:2023 não considere essa propriedade como critério de classificação, uma vez que é voltada para argamassas de revestimento. No entanto, a ABNT NBR 13281-2:2023 adota esse ensaio como parâmetro para a classificação das argamassas em: 'Argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria sem função estrutural (AAV)', 'Argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria estrutural (AAE)' e 'Argamassa inorgânica para fixação de alvenaria (encunhamento) – AAF'. Em todas as classificações é necessário que a argamassa alcance no ensaio de “Resistência potencial de aderência à tração ao substrato” uma aderência mínima de 0,20 MPa, sendo considerado esse fator nos resultados e classificações apresentados na Tabela 19.

Tabela 19: Resultados Resistência à compressão

Traço	Resistência à compressão (MPa)	Potencial à aderência (MPa)	Requisito tipo de argamassa
Referência	2,47	0,27	AAV e AAF
0,35 % Tipo 1	3,06	0,28	AAV e AAF
0,70 % Tipo 1	2,29	0,16 (<0,20)	-
1,00 % Tipo 1	2,24	0,31	AAV e AAF
0,35 % Tipo 2	2,19	0,13 (<0,20)	-
0,70 % Tipo 2	1,83	0,18 (<0,20)	-
1,00 % Tipo 2	2,15	0,22	AAV e AAF

Nenhuma das argamassas foram classificadas como AAE, com finalidade estrutural, logo que para essa classificação é necessária uma resistência mínima de 5,0 MPa, porém as que atenderam o ao requisito da “Resistência potencial de aderência à tração ao substrato”, foram classificadas como AAV, sendo a faixa da resistência à compressão entre 2,0-5,0 MPa e como AAF, com faixa entre 1,5-5,0 MPa.

De acordo com Jantsch et al. (2020), a aplicação de cristalizante na superfície resultou em um aumento da resistência à compressão, comportamento semelhante ao observado nas amostras ensaiadas com o aditivo do Tipo 1, as quais apresentaram menor teor de ar incorporado em comparação à amostra de referência. Além disso, um estudo conduzido por Polli et al. (2023) analisou a relação entre a resistência à compressão e o teor de ar incorporado, constatando que as amostras contendo o aditivo do Tipo 2 exibiram resultados similares. Nesse caso, o maior teor de ar incorporado em relação à amostra de referência esteve associado a uma redução na resistência à compressão, sendo o comportamento esperado.

Para o ensaio de análise mineralógica – difratômetro de raio x (DRX) foram analisados os aditivos Tipo 1, Tipo 2, junto com amostras referência e amostras com as adições, nas Tabela 20 até Tabela 25 são apresentados os resultados.

Tabela 20: Resultados Difratorômetro de Raio X (DRX) – Parte 1

Traço	Alita - M3 (%)	Alita - M1 (%)	Alita Total (C3S)	Belita Total (C2S)	Alita + Belita
Aditivo Tipo 1	11,66	25,31	36,98	3,92	40,90
Aditivo Tipo 2	19,98	26,12	46,10	12,82	58,92
Referência	2,50	0,39	2,89	0,14	3,03
0,35 % Tipo 1	1,78	1,76	3,54	0,16	3,70
0,70 % Tipo 1	3,55	0,30	3,85	0,11	3,96
1,00 % Tipo 1	1,83	1,29	3,12	0,31	3,43
0,35 % Tipo 2	3,76	0,25	4,01	0,27	4,28
0,70 % Tipo 2	3,48	0,37	3,85	0,11	3,96
1,00 % Tipo 2	2,05	1,22	3,26	0,20	3,46

Tabela 21: Resultados Difratorômetro de Raio X (DRX) – Parte 2

Traço	Alumínio Total	Ferrita	Cal	Portlandita	CaO Livre
Aditivo Tipo1	2,77	4,46	0,40	18,69	14,54
Aditivo Tipo 2	2,46	6,67	0,73	6,53	5,67
Referência	0,54	0,67	0,00	0,00	0,00
0,35 % Tipo 1	0,48	0,92	0,00	0,03	0,02
0,70 % Tipo 1	0,60	0,85	0,00	0,00	0,00
1,00 % Tipo 1	0,54	0,94	0,00	0,02	0,02
0,35 % Tipo 2	0,55	1,12	0,00	0,02	0,02
0,70 % Tipo 2	0,55	0,76	0,00	0,01	0,01
1,00 % Tipo 2	0,44	1,23	0,00	0,03	0,02

Tabela 22: Resultados Difratorômetro de Raio X (DRX) – Parte 3

Traço	Periclase	Arcanita	Langbeinita	Aftitalita	C3S_CS
Aditivo Tipo 1	0,25	0,00	0,00	0,12	200,21
Aditivo Tipo 2	0,08	0,00	0,00	0,27	146,67
Referência	0,36	0,38	0,42	0,06	111,41
0,35 % Tipo 1	0,46	0,36	0,72	0,00	138,45
0,70 % Tipo 1	0,43	0,34	0,38	0,05	95,81
1,00 % Tipo 1	0,51	0,42	0,68	0,05	146,22
0,35 % Tipo 2	0,51	0,39	0,72	0,01	96,12
0,70 % Tipo 2	0,40	0,31	0,48	0,02	103,78
1,00 % Tipo 2	0,50	0,44	0,80	0,02	152,95

Tabela 23: Resultados Difratorômetro de Raio X (DRX) – Parte 4

Traço	Fração - M	Gesso	Hemi-hidrato	Anidrita	Calcita
Aditivo Tipo 1	68,46	0,91	2,31	1,14	11,81
Aditivo Tipo 2	56,66	0,36	2,46	0,00	7,12
Referência	13,55	0,40	0,23	0,05	2,36
0,35 % Tipo 1	49,74	0,39	0,26	0,19	2,05
0,70 % Tipo 1	7,78	0,72	0,27	0,00	2,69
1,00 % Tipo 1	41,41	0,75	0,31	0,18	2,74
0,35 % Tipo 2	6,33	0,46	0,28	0,22	2,53
0,70 % Tipo 2	9,68	0,80	0,30	0,00	2,67
1,00 % Tipo 2	37,32	0,45	0,27	0,18	2,63

Tabela 24: Resultados Difratorômetro de Raio X (DRX) – Parte 5

Traço	Dolomita	Quartzo	Albite	Feldspato Potássico	Ilita
Aditivo Tipo 1	0,63	0,88	1,70	0,19	0,44
Aditivo Tipo 2	1,27	0,19	1,30	0,00	0,76
Referência	0,00	81,09	0,66	4,79	0,8
0,35 % Tipo 1	0,14	81,59	0,17	5,03	0,54
0,70 % Tipo 1	0,20	79,97	0,78	4,12	0,93
1,00 % Tipo 1	0,14	80,20	0,31	5,27	0,36
0,35 % Tipo 2	0,25	79,38	0,27	4,84	1,04
0,70 % Tipo 2	0,18	80,91	0,63	3,87	0,85
1,00 % Tipo 2	0,18	80,09	0,26	5,07	0,46

Tabela 25: Resultados Difratorômetro de Raio X (DRX) – Parte 6

Traço	Caulinita	Talco	Anfíbola	Akermanita	Maenita
Aditivo Tipo 1	0,92	0,17	4,45	1,86	1,86
Aditivo Tipo 2	0,60	0,21	3,34	2,74	2,01
Referência	0,62	0,13	2,20	0,98	0,00
0,35 % Tipo 1	0,37	0,11	1,87	0,52	0,00
0,70 % Tipo 1	0,63	0,21	2,12	0,62	0,00
1,00 % Tipo 1	0,66	0,16	1,71	0,44	0,00
0,35 % Tipo 2	0,51	0,10	1,82	0,54	0,00
0,70 % Tipo 2	0,59	0,19	1,69	0,64	0,00
1,00 % Tipo 2	0,69	0,14	1,91	0,57	0,00

A análise de Difração de Raios X (DRX) revelou que o aditivo cristalizante Tipo 1 apresenta menores quantidades de Alita (C_3S) e Belita (C_2S) em comparação ao aditivo cristalizante Tipo 2. A Alita (C_3S) é responsável pelo desenvolvimento das resistências mecânicas iniciais do material cimentício, enquanto a Belita (C_2S) contribui para o ganho de resistência em idades mais avançadas. Dessa forma, a soma desses compostos é um fator determinante na resistência final do cimento (TENORIO et al., 2003).

Com base na análise de DRX, esperava-se que as amostras contendo o aditivo do Tipo 1 apresentassem menor resistência à compressão. No entanto, conforme demonstrado na Tabela 19, observou-se um comportamento oposto. Segundo Polli et al. (2023), a quantidade de ar incorporado teve um impacto mais significativo na resistência mecânica do que a composição química identificada. Assim, apesar de o aditivo cristalizante Tipo 2 apresentar maior concentração de C_3S e C_2S , seu desempenho mecânico foi inferior devido ao maior teor de ar incorporado, que comprometeu a resistência final do material.

Observou-se que o aditivo do Tipo 1 possui maior teor de cal livre levando ao desempenho inferior em relação à estabilidade da argamassa ao longo do tempo. Esse processo pode ter acelerado reações iniciais, prejudicando a ação dos aditivos estabilizadores, com consequente perda da fluidez e redução da retenção das propriedades no estado fresco (NEVILLE, 2016). Além disso, a cal livre pode ter afetado a ação dos aditivos incorporadores de ar, levando à instabilidade das microbolhas e à perda acentuada do teor de ar incorporado ao longo do tempo de estabilização (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Ao final, são apresentados os resultados da análise química – fluorescência de raio X (FRX) de cada amostra ensaiada nas Tabela 26 a Tabela 28, que justificam que mesmo com as diferenças consideráveis entre a alita e belita das amostras, provocaram diferentes comportamentos em relação a incorporação de ar, ocasionando aos resultados apresentados.

Tabela 26: Resultados Fluorescência de Raio X (FRX) – Parte 1

Traço	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
Aditivo Tipo 1	9,93	2,53	1,64	45,27	0,83
Aditivo Tipo 2	13,29	3,07	1,77	44,51	2,51
Referência	85,85	0,82	0,56	7,96	0,82
0,35 % Tipo 1	85,69	0,83	0,59	8,32	0,74
0,70 % Tipo 1	87,18	0,74	0,55	7,40	0,66
1,00 % Tipo 1	84,75	0,90	0,62	8,68	0,77
0,35 % Tipo 2	84,50	0,97	0,60	8,97	0,92
0,70 % Tipo 2	83,52	1,14	0,70	10,01	0,95
1,00 % Tipo 2	87,04	0,74	0,52	7,15	0,65

Tabela 27: Resultados Fluorescência de Raio X (FRX) – Parte 2

Traço	SO_3	K_2O	Na_2O	Cl	P_2O_5
Aditivo Tipo 1	2,12	0,67	8,83	0,10	0,10
Aditivo Tipo 2	3,06	0,80	9,50	0,17	0,15
Referência	0,20	0,09	0,01	0,00	0,00
0,35 % Tipo 1	0,20	0,08	0,01	0,00	0,00
0,70 % Tipo 1	0,16	0,08	0,01	0,00	0,00
1,00 % Tipo 1	0,22	0,09	0,02	0,00	0,00
0,35 % Tipo 2	0,19	0,09	0,01	0,00	0,00
0,70 % Tipo 2	0,20	0,08	0,02	0,00	0,00
1,00 % Tipo 2	0,19	0,09	0,02	0,00	0,00

Tabela 28: Resultados Fluorescência de Raio X (FRX) – Parte 3

Traço	TiO_2	LSF	SIM	ALM
Aditivo Tipo 1	0,16	142,06	2,38	1,54
Aditivo Tipo 2	0,16	105,98	2,74	1,73
Referência	0,06	3,29	62,21	1,49
0,35 % Tipo 1	0,07	3,45	59,92	1,41
0,70 % Tipo 1	0,06	3,02	67,79	1,35
1,00 % Tipo 1	0,07	3,64	55,83	1,43
0,35 % Tipo 2	0,08	3,77	53,80	1,61
0,70 % Tipo 2	0,08	4,25	45,27	1,64
1,00 % Tipo 2	0,06	2,92	68,88	1,42

A maior concentração de SiO_2 no aditivo cristalizante do Tipo 2 era um resultado esperado, uma vez que esse elemento é essencial para a formação da Alita (C_3S) e da Belita (C_2S), principais compostos responsáveis pelo desenvolvimento da resistência mecânica em materiais cimentícios (TENORIO et al., 2003).

A análise combinada dos resultados obtidos por DRX e FRX indica que, embora os aditivos cristalizantes dos Tipos 1 e 2 apresentem propriedades físicas e químicas relevantes, sua influência direta nos resultados mecânicos não foi significativa.

Além disso, a maior incorporação de ar observada nas amostras contendo o aditivo cristalizante do Tipo 2 pode estar associada ao seu maior teor de SO_3 , conforme demonstrado por Gomes et al. (2007), que relacionam teores elevados de enxofre a instabilidades na formação da microestrutura. Essa elevação no conteúdo de ar incorporado compromete a

densidade e a coesão da matriz cimentícia, resultando em perdas de resistência à compressão. Essa relação entre porosidade e desempenho mecânico também é corroborada por Mehta e Monteiro (2014), que destacam a influência negativa do excesso de microbolhas sobre a integridade do material, e por Neville (2016), ao associar o aumento da porosidade com a redução da resistência e da durabilidade dos compósitos cimentícios.

5. CONCLUSÃO

Conforme apresentado os aditivos cristalizantes melhoram a trabalhabilidade da argamassa estabilizada ao longo do período de estabilização, possuindo comportamento semelhante aos aditivos estabilizadores.

O aditivo cristalizante Tipo 1 mantém uma menor trabalhabilidade ao longo do tempo, porém melhoram o produto quando comparado ao traço referência, junto que a diminuição de ar incorporado ao longo do período favorece a aplicação como argamassa de assentamento de alvenaria sem função estrutural.

Já o aditivo do Tipo 2, mantém melhor trabalhabilidade durante o período, porém a manutenção de ar incorporado pode não favorecer a aplicabilidade ao longo do período.

Quando analisado os traços nos ensaios de estado fresco, todos são considerados em conformidade, podendo ser utilizado, porém quando analisado no estado endurecido, não foram todas as amostras que obtiveram o resultado mínimo para aprovação do traço.

O principal ensaio que desclassificou alguns traços no estado endurecido foi o de "Resistência potencial de aderência à tração ao substrato padrão". Nesse ensaio, o traço de referência, além dos traços com 0,35% e 1,00% de aditivo do Tipo 1 e o traço com 1,00% de aditivo do Tipo 2, foram considerados em conformidade.

6. REFERÊNCIAS

ANGELIM, V. L.; HEINECK, L. F. M. Análise da produtividade e do custo entre o sistema de produção com argamassa estabilizada, preparada em obra e a produzida com argamassa industrializada. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. Anais... Porto Alegre: ANTAC.

ANTONIAZZI, J. P.; MOHAMAD, G.; CASALI, J. M.; SCHMIDT, R. P. B. Incorporação de ar em argamassas estabilizadas: influência dos aditivos, agregados e tempo de mistura. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 285-304, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300429>. Acesso em: 22/04/2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768-3: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Parte 3: Ensaio de caracterização. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281-1: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281-2: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15258: Argamassa para revestimento de paredes e tetos — Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15630: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

BARCELOS, A. S.; PELISSER, F. Efeito de Inibidores de Hidratação na Resistência de Aderência à Tração em Argamassas de Revestimento. *Tecnologia e Ambiente*, Criciúma, v. 15, [s.n], p. 1-16, 2013. Disponível em: <https://www.periodicos.unesc.net/ojs/index.php/tecnoambiente/article/view/1164>. Acesso em: 16/04/2023.

BAUER, E.; REGUFFE, M.; NASCIMENTO, M. L. M.; CALDAS, L. R. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2015, Porto Alegre. Anais [...]. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/62203684/REQUISITOS_DAS_ARGAMASSAS_ESTABILIZADAS_20200226-15940-1marbdh.pdf. Acesso em: 22/04/2023.

BELLEI, P.; CATEN, A. T. Avaliação do desempenho da argamassa estabilizada de 36 e 72 h para revestimento externo em diferentes tempos de utilização e modo de armazenamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 13., Goiânia, 2019. Anais [...] Goiânia, 2019. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbta/article/view/4651/4117>. Acesso em: 02/03/2025.

COUTINHO, S. M.; PRETTI, S. M.; TRISTÃO, F. A. Argamassa preparada em obra x argamassa industrializada para assentamento de blocos de vedação: análise do uso em Vitória-ES. Teoria e Prática na Engenharia Civil, Vitória, n. 21, p. 41–48, maio 2013.

FABRO, J. R.; FAGANELLO, A. M. P.; SILVA, S. H. L.; ALTÓE, S. P. S. Avaliação do desempenho de argamassa estabilizada. Open Science Research III, [s.l], v. 3, [s.n], p. 2516–2529, 2022. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/artigos/avaliacao-do-desempenho-de-argamassas-estabilizadas>. Acesso em: 16/04/2023.

GOMES, S. D. Incorporação de enxofre no silicato dicálcico do clínquer de cimento Portland: influência na estabilidade de polimorfos e na reatividade hidráulica. 2007. Dissertação (Mestrado em Mineralogia Experimental e Aplicada) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44144/tde-29062007-113021/pt-br.php>. Acesso em: 30/03/2025.

HEINEN, P.; BELLEI, P.; CARNEIRO, M. F. W.; MACHADO, J. P. Desempenho de argamassas de revestimentos do tipo estabilizada, industrializada ensacada e a fabricada in loco. Anais da Engenharia Civil, v. 2, n. 2, p. 19–33, 2018. Disponível em: <https://uceff.edu.br/anais/index.php/ENGCIVIL/article/view/219>. Acesso em: 22/04/2023.

HERMANN, A.; ROCHA, J. P. A. Pesquisa de Viabilidade da Utilização da Argamassa Estabilizada Modificada para Revestimento sem a Necessidade de Aplicação do Chapisco. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/14421>. Acesso em: 20/04/2023.

JANTSCH, A. C. A.; MOHAMAD, G.; SCHMIDT, R. P. B.; ANTONIAZZI, J. P.; LÜBECK, A. Avaliação do comportamento de revestimentos em argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 81-99, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-8621202100010049>. Acesso em: 16/04/2023.

JEZIORSKI, G. M. A. Comparativo entre argamassa estabilizada e argamassa estrutural para assentamento de alvenaria estrutural. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Santa Rosa, 2018. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/5414/Gabriel%20Mateus%20Zago%20Jeziorski.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13/05/2023.

JEZIORSKI, G. Comparativo de argamassa estabilizada e argamassa industrializada para assentamento de alvenaria estrutural. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Santa Rosa, 2018. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/5414>. Acesso em: 20/04/2023.

LIBRE, N. A.; KHOSHNAZAR, R.; SHEKARCHI, M. Relationship between fluidity and stability of self-consolidating mortar incorporating chemical and mineral admixtures. *Construction and Building Materials*, v. 24, n. 7, p. 1262-1271, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.12.009>. Acesso em: 22/04/2023.

MACIOSKI, G.; COSTA, M. R. M. M.; CASALI, J. M. Caracterização de argamassas estabilizadas submetidas à sucção de substrato poroso. In: *Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, 2015, Porto Alegre. Anais [...]. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/322506629_Caracterizacao_de_argamassas_estabilizadas_submetidas_a_succao_de_substrato_poroso. Acesso em: 22/04/2023.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MEDINA, E. A. Síntese da Bibliografia Fundamental. In: _____. Pozolanicidade do metacaulim em sistemas binários com cimento Portland e hidróxido de cálcio. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011, p. 9–17.

MORAIS, S. C.; LORDSLEEM A. C.; SILVA, J. S.; ROCHA, J. H. A.; PÓVOAS, V. P.. Stabilized mortar: property evaluation according to stabilization time. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, [S.l.], v. 55, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1617/s11527-022-01965-3>. Acesso em: 22/04/202.

NETO, J. A. B.; MELO, J. M. R. Estudo comparativo entre argamassa estabilizada e argamassa convencional para revestimento. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 6, p. 4948–4967, 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/1688>. Acesso em: 22/04/2023.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NORMA MERCOSUL. NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

NORMA MERCOSUL. NM 52: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

PERTILE, G. W.; HENTGES, T. I. Aplicações, propriedades e influência da cura de argamassas estabilizadas fornecidas em Concórdia - SC. *Revista de Arquitetura IMED*, v. 11,

n. 1, p. 108-130, 2022. Disponível em: <https://seer.atitus.edu.br/index.php/arqimed/article/view/4636>. Acesso em: 16/04/2023.

POLESELLO, E.; MAUS, M. A influência do aditivo cristalizante nas propriedades do concreto endurecido. *Revista Tecnologia e Tendências*, v. 11, n. 1, p. 14-36, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.25112/rtt.v11i1.1986>. Acesso em: 19/09/2023.

POLLI, H. F.; FIORAVANTE, E. V.; SILVA, S. H. L. Influência da ação combinada de aditivos, incorporador de ar e estabilizador de hidratação, nas propriedades da argamassa estabilizada por até 48 horas. *Revista Matéria*, v. 28, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620230001.1336>. Acesso em: 22/04/2023.

ROQUE, D. C.; POLESELLO, E. Análise das propriedades de argamassa estabilizadas para Revestimentos em Diferentes Tempo ao Longo do seu Período de Estabilização. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS*, 13, 2019, Goiânia. Anais [...] Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2019. p. 610–616. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Polesello/publication/354737619>. Acesso em: 16/04/2023.

SILVA, I. C.; AZEREDO, A. F. N. Argamassa Estabilizada Contendo Metacaulim. In: *CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS*, 7, 2022, Campina Grande. Anais [...]. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2022. p. 1–10. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2022/TRABALHO_COMPLETO_EV177_MD4_ID990_TB503_09082022093449.pdf. Acesso em: 16/04/2023.

SOARES, S. V.; PICOLLI, I. R. A.; CASAGRANDE, J. L. Pesquisa Bibliográfica, Pesquisa Bibliométrica, Artigo de Revisão e Ensaio Teórico em Administração e Contabilidade. *Administração: Ensino e Pesquisa*, v. 19, n. 2, p. 308–339, 2018. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5335/533557910005/533557910005.pdf>. Acesso em: 29/11/2023.

TENÓRIO, J. A. S. et al. Decomposição da fase majoritária do cimento Portland, Parte II: alita com adições de Fe e Al. REM, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672003000200009>. Acesso em: 30/03/2025.

YAHIA, A.; TANIMURA, M.; SHIMOYAMA, Y. Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio. Cement and Concrete Research, v. 35, n. 3, p. 532–539, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.05.008>. Acesso em: 22/04/2023

ANEXO A

Para a classificação dos ensaios, foram utilizadas as tabelas apresentadas na sequência.

Tabela 29: Retenção de água

Retenção de água - U	
Classe	Retenção de água – U (%)
U0	$U < 70$
U1	$70 \leq U < 80$
U2	$80 \leq U \leq 90$
U3	$U > 90$

Fonte: ABNT NBR 13281-1:2023

Tabela 30: Densidade de massa no estado fresco

Densidade de massa no estado fresco - DF	
Classe	Densidade de massa no estado fresco – DF (kg/m³)
DF0	$DF < 1400$
DF1	$1400 \leq DF < 1600$
DF2	$1600 \leq DF < 1800$
DF3	$1800 \leq DF < 2000$
DF4	$DF \geq 2000$

Fonte: ABNT NBR 13281-1:2023

Tabela 31: Módulo de elasticidade dinâmico

Módulo de elasticidade dinâmico - Ed	
Classe	Módulo de elasticidade dinâmico – Ed (MPa)
E1	$12000 < E_d \leq 14000$
E2	$9500 < E_d \leq 12000$
E3	$7000 < E_d \leq 9500$
E4	$E_d \leq 7500$

Fonte: ABNT NBR 13281-1:2023

Tabela 32: Resistência potencial de aderência à tração ao substrato

Argamassa	Classe	Resistência potencial de aderência à tração ao substrato – Ri (MPa)
ARV-I, ARV-II e ARV-III para produção de revestimento interno destinado à aplicação de pintura e/ou textura	RA1	$R_i \geq 0,20$
ARV-I, ARV-II e ARV-III para produção de revestimento interno destinado à aplicação de peças cerâmicas (ver ABNT NBR 13754) ou de revestimento externo	RA2	$R_i \geq 0,30$
AET	RA3	Critérios estabelecidos na ABNT NBR 16648

Fonte: ABNT NBR 13281-1:2023

Tabela 33: Critérios para os requisitos de módulo de elasticidade dinâmico e de variação dimensional

Requisito	Classe	ARV-I	ARV-II	ARV-III	AET
Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	E	E1 a E4	E2 a E4	E3 a E4	E4
Variação dimensional (mm/m)	VD	VD1 a VD4	VD2 a VD4	VD3 a VD4	VD4

Fonte: ABNT NBR 13281-1:2023

Tabela 34: Requisitos e respectivos critérios para argamassas inorgânicas para assentamento e fixação

Requisito	Unidade	Critério por tipo de argamassa		
		AAV	AAE	AAF
Retenção de água U	%	≥ 85	≥ 80	Informativo
Teor de ar incorporado – A	%	≤ 22	≤ 18	Informativo
Tempo de uso	Mín.	Informativo		

Fonte: ABNT NBR 13281-2:2023

Tabela 35: Requisitos e respectivos critérios para argamassas inorgânicas para assentamento e fixação

Requisito	Unidade	Critério por tipo de argamassa		
		AAV	AAE	AAF
Resistência à compressão – fa	MPa	$2,0 \leq fa < 5,0$	Tabela 4	$1,5 \leq fa < 5,0$
Variação dimensional (Retração Livre) - ei	mm/m	$\epsilon_i \geq -0,80$ (retração menor ou igual a 0,80)		
Resistência potencial de aderência à tração ao substrato - Ri	MPa		$\geq 0,20$	

Fonte: ABNT NBR 13281-2:2023

TERMO DE CONFIDENCIALIDADE

LUÍS GUSTAVO DE CASTRO TRAFANI (“**Compromitente**”), brasileira, engenheiro civil, inscrito no CPF sob nº 418.123.038-40, declara e compromete-se a manter total sigilo sobre as Informações Confidenciais da empresa **SUPREMO CIMENTOS S.A.** e/ou **MARGEM COMPANHIA DE MINERAÇÃO (“GRUPO SUPREMO”)** a que tiver acesso, para fins de atividades e pesquisas a serem desenvolvidas, no projeto de pesquisa “**Influência de cristalizantes em argamassas estabilizadas feitas em usinas.**”, realizada no âmbito da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), com o intuito de reconhecimento de mestrado, não divulgando dados, informações ou quaisquer documentos a terceiros sem o consentimento expresso e escrito da empresa.

Compromete-se, ainda, a não permitir que pessoas tenham acesso a tais dados, informações ou documentos, de qualquer modo que seja ressalvado os funcionários e dados envolvidos no processo. A **COMPROMITENTE**, que declara não ter nenhum tipo de vínculo com outras empresas associadas ou outras empresas atuantes na indústria cimenteira, têm compromisso de confidencialidade firmado com o **Compromitente** que abrange também as Informações Confidenciais recebidas do **GRUPO SUPREMO**.

Para a finalidade deste Termo, consideram-se Informações Confidenciais quaisquer informações e/ou materiais de natureza técnica, financeira, de mercado, comercial ou negocial que sejam encaminhadas como Informações Confidenciais pelo **GRUPO SUPREMO** ou que não sejam de domínio público.

Informações Confidenciais incluem, também, informações cujo uso e/ou conhecimento possam oferecer ao signatário ou a qualquer terceiro uma oportunidade de obter vantagens com relação a concorrentes que não tenham conhecimento das mesmas, incluindo as informações que as partes venham a ter conhecimento em decorrência de estudos realizados.

O **Compromitente** tem conhecimento de que constitui crime o envolvimento em espionagem industrial e violação de segredos de negócio, além de constituir infração à ordem econômica promover a troca de informações sensíveis entre concorrentes. O **Compromitente** será responsável pela infração ao dever de confidencialidade praticada por ele próprio, seus representantes, funcionários e/ou terceiros trabalhando sob sua responsabilidade ou supervisão.

Qualquer violação a este Termo de Confidencialidade deve ser comunicada à **SUPREMO CIMENTOS** em até 3 (três) dias de sua ocorrência e sujeitará o **Compromitente** a penalidades e perdas e danos.

Curitiba, 05 de maio de 2025.

LUÍS GUSTAVO DE CASTRO TRAFANI

LUÍS GUSTAVO DE CASTRO TRAFANI

Certificado de Conclusão

Identificação de envelope: E78E81F6-EB7B-4263-A8ED-31EA41D44460

Status: Concluído

Assunto: Complete com o Docusign: TERMO DE CONFIDENCIALIDADE_Publicação trabalho_Luis Trafani.docx

Envelope fonte:

Documentar páginas: 1

Assinaturas: 1

Remetente do envelope:

Certificar páginas: 5

Rubrica: 0

Sidney Junior Dos Santos

Assinatura guiada: Ativado

Rua dos Atiradores 10.809

Selo com Envelopeld (ID do envelope): Ativado

POMERODE, SC 89107-000

Fuso horário: (UTC-03:00) Brasília

sidney.santos@supremocimento.com.br

Endereço IP: 10.104.81.9

Rastreamento de registros

Status: Original

Portador: Sidney Junior Dos Santos

Local: DocuSign

07/05/2025 08:30:22

sidney.santos@supremocimento.com.br

Eventos do signatário

Assinatura

Registro de hora e data

Luciana Albiero de Lima

Concluído

Enviado: 07/05/2025 08:32:55

luciana.lima@supremocimento.com.br

Visualizado: 07/05/2025 10:20:18

Nível de segurança: E-mail, Autenticação da conta (Nenhuma)

Usando endereço IP: 177.220.186.12

Assinado: 07/05/2025 10:20:28

Termos de Assinatura e Registro Eletrônico:

Aceito: 07/05/2025 10:20:18

ID: acb5ee4e-888e-48da-b8ef-684ebe930c3d

LUÍS GUSTAVO DE CASTRO TRAFANI

LUÍS GUSTAVO DE CASTRO TRAFANI

luis.trafani@unifei.edu.br

Enviado: 07/05/2025 10:20:29

Nível de segurança: E-mail, Autenticação da conta (Nenhuma)

Visualizado: 07/05/2025 19:13:34

Assinado: 07/05/2025 19:13:47

Adoção de assinatura: Estilo pré-selecionado

Usando endereço IP: 179.223.203.214

Termos de Assinatura e Registro Eletrônico:

Aceito: 07/05/2025 19:13:34

ID: b432adee-bc0a-4b3f-af53-bbf6b5f7a830

Eventos do signatário presencial

Assinatura

Registro de hora e data

Eventos de entrega do editor

Status

Registro de hora e data

Evento de entrega do agente

Status

Registro de hora e data

Eventos de entrega intermediários

Status

Registro de hora e data

Eventos de entrega certificados

Status

Registro de hora e data

Eventos de cópia

Status

Registro de hora e data

Eventos com testemunhas

Assinatura

Registro de hora e data

Eventos do tabelião

Assinatura

Registro de hora e data

Eventos de resumo do envelope

Status

Carimbo de data/hora

Envelope enviado

Com hash/criptografado

07/05/2025 08:32:55

Entrega certificada

Segurança verificada

07/05/2025 19:13:34

Assinatura concluída

Segurança verificada

07/05/2025 19:13:47

Concluído

Segurança verificada

07/05/2025 19:13:47

Eventos de pagamento	Status	Carimbo de data/hora
Termos de Assinatura e Registro Eletrônico		

ELECTRONIC RECORD AND SIGNATURE DISCLOSURE

From time to time, Supremo Cimento S/A. (we, us or Company) may be required by law to provide to you certain written notices or disclosures. Described below are the terms and conditions for providing to you such notices and disclosures electronically through the DocuSign system. Please read the information below carefully and thoroughly, and if you can access this information electronically to your satisfaction and agree to this Electronic Record and Signature Disclosure (ERSD), please confirm your agreement by selecting the check-box next to 'I agree to use electronic records and signatures' before clicking 'CONTINUE' within the DocuSign system.

Getting paper copies

At any time, you may request from us a paper copy of any record provided or made available electronically to you by us. You will have the ability to download and print documents we send to you through the DocuSign system during and immediately after the signing session and, if you elect to create a DocuSign account, you may access the documents for a limited period of time (usually 30 days) after such documents are first sent to you. After such time, if you wish for us to send you paper copies of any such documents from our office to you, you will be charged a \$0.00 per-page fee. You may request delivery of such paper copies from us by following the procedure described below.

Withdrawing your consent

If you decide to receive notices and disclosures from us electronically, you may at any time change your mind and tell us that thereafter you want to receive required notices and disclosures only in paper format. How you must inform us of your decision to receive future notices and disclosure in paper format and withdraw your consent to receive notices and disclosures electronically is described below.

Consequences of changing your mind

If you elect to receive required notices and disclosures only in paper format, it will slow the speed at which we can complete certain steps in transactions with you and delivering services to you because we will need first to send the required notices or disclosures to you in paper format, and then wait until we receive back from you your acknowledgment of your receipt of such paper notices or disclosures. Further, you will no longer be able to use the DocuSign system to receive required notices and consents electronically from us or to sign electronically documents from us.

All notices and disclosures will be sent to you electronically

Unless you tell us otherwise in accordance with the procedures described herein, we will provide electronically to you through the DocuSign system all required notices, disclosures, authorizations, acknowledgements, and other documents that are required to be provided or made available to you during the course of our relationship with you. To reduce the chance of you inadvertently not receiving any notice or disclosure, we prefer to provide all of the required notices and disclosures to you by the same method and to the same address that you have given us. Thus, you can receive all the disclosures and notices electronically or in paper format through the paper mail delivery system. If you do not agree with this process, please let us know as described below. Please also see the paragraph immediately above that describes the consequences of your electing not to receive delivery of the notices and disclosures electronically from us.

How to contact Supremo Cimento S/A.:

You may contact us to let us know of your changes as to how we may contact you electronically, to request paper copies of certain information from us, and to withdraw your prior consent to receive notices and disclosures electronically as follows:

To advise Supremo Cimento S/A. of your new email address

To let us know of a change in your email address where we should send notices and disclosures electronically to you, you must send an email message to us at supremo@supremo.com and in the body of such request you must state: your previous email address, your new email address.

If you created a DocuSign account, you may update it with your new email address through your account preferences.

To request paper copies from Supremo Cimento S/A.

To request delivery from us of paper copies of the notices and disclosures previously provided by us to you electronically, you must send us an email to supremo@supremo.com and in the body of such request you must state your email address, full name, mailing address, and telephone number.

To withdraw your consent with Supremo Cimento S/A.

To inform us that you no longer wish to receive future notices and disclosures in electronic format you may:

- i. decline to sign a document from within your signing session, and on the subsequent page, select the check-box indicating you wish to withdraw your consent, or you may;

ii. send us an email to and in the body of such request you must state your email, full name, mailing address, and telephone number. . .

Required hardware and software

The minimum system requirements for using the DocuSign system may change over time. The current system requirements are found here: <https://support.docusign.com/guides/signer-guide-signing-system-requirements>.

Acknowledging your access and consent to receive and sign documents electronically

To confirm to us that you can access this information electronically, which will be similar to other electronic notices and disclosures that we will provide to you, please confirm that you have read this ERSD, and (i) that you are able to print on paper or electronically save this ERSD for your future reference and access; or (ii) that you are able to email this ERSD to an email address where you will be able to print on paper or save it for your future reference and access. Further, if you consent to receiving notices and disclosures exclusively in electronic format as described herein, then select the check-box next to 'I agree to use electronic records and signatures' before clicking 'CONTINUE' within the DocuSign system.

By selecting the check-box next to 'I agree to use electronic records and signatures', you confirm that:

- You can access and read this Electronic Record and Signature Disclosure; and
- You can print on paper this Electronic Record and Signature Disclosure, or save or send this Electronic Record and Disclosure to a location where you can print it, for future reference and access; and
- Until or unless you notify Supremo Cimento S/A. as described above, you consent to receive exclusively through electronic means all notices, disclosures, authorizations, acknowledgements, and other documents that are required to be provided or made available to you by Supremo Cimento S/A. during the course of your relationship with Supremo Cimento S/A..

Declaração de Autorização

A empresa Hobimix Concreto e Argamassa autoriza o mestrando Luís Gustavo de Castro Trafani, CPF nº 418.123.038-40, aluno regularmente matriculado na Universidade Federal de Itajubá – Campus Itajubá/MG, sob matrícula nº 2023101287, a utilizar o nome "Hobimix Concreto e Argamassa", bem como dados não confidenciais relacionados à empresa, em sua dissertação de mestrado intitulada:

“Influência de cristalizantes em argamassas estabilizadas feitas em usinas.”

A utilização do nome da empresa e a divulgação dos dados autorizados ficam condicionadas ao envio, por parte do mestrando, da versão final da dissertação para a Hobimix Concreto e Argamassa, após a conclusão dos processos de avaliação e aprovação acadêmica pela instituição de ensino.

Documento assinado digitalmente
 **LUIZ ALBERTO TREVISOL JUNIOR**
Data: 02/05/2025 10:28:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Hobimix Concreto e Argamassa

Nome: Luiz Trevisol

Documento assinado digitalmente
 **LUIS GUSTAVO DE CASTRO TRAFANI**
Data: 03/05/2025 16:56:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Mestrando Luís Gustavo de Castro Trafani

REVISTAMATÉRIA

Influência de cristalizantes em argamassas estabilizadas feitas em usinas.

Journal:	Matéria (Rio de Janeiro)
Manuscript ID	RMAT-2025-0627
Manuscript Type:	Original Article
Date Submitted by the Author:	19-Jul-2025
Complete List of Authors:	DE CASTRO TRAFANI, LUIS; Universidade Federal de Itajuba, de Barros Martins, Maria Auxiliadora; Universidade Federal de Itajuba Gomes Guimarães, Adinele ; Universidade Federal de Itajuba Tino Balestra, Carlos Eduardo ; Universidade de Alfenas Bacelar de Souza, Michel Henry ; Universidade Federal de Itajuba Claret dos Santos, Valquíria; Universidade Federal de Itajuba
Keyword:	Argamassa Estabilizada, Propriedades, Adição, Cristalização, Permeabilidade

SCHOLARONE™
Manuscripts

Influência de cristalizantes em argamassas estabilizadas feitas em usinas.

Influence of crystallizing additives on stabilized mortars produced in plants

Luís Gustavo de Castro Trafani¹, Maria Auxiliadora de Barros Martins¹, Adinele Gomes Guimarães¹, Carlos Eduardo Tino Balestra², Michel Henry Bacelar de Souza¹ Valquíria Claret dos Santos¹.

¹ Universidade Federal de Itajubá, Av. B P S, 1303 - Pinheirinho, 37500-903, Itajubá, Minas Gerais, Brasil. e-mail: luis.trafani@unifei.edu.br, deiamabmartins@unifei.edu.br, adinele@unifei.edu.br, michelhenry@unifei.edu.br, valquiria@unifei.edu.br.

² Universidade Federal de Alfenas, Rodovia José Aurélio Vilela, BR 267, Km 533 11999 - Cidade Universitária, MG, 37715-400, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil. carlos.balestra@unifal-mg.edu.br.

RESUMO

A argamassa estabilizada surge como um produto no mercado na década de 90, sendo considerada uma argamassa industrializada, logo que é produzida em uma planta industrial e entregue pronta para as construções, sendo a alternativa do setor para o aumento da produtividade. Mesmo com início de produção e utilização no Brasil, o produto não possuía normativas para garantir requisitos necessários, porém com a necessidade de padronização e garantia de qualidade da argamassa estabilizada a primeira norma é publicada em 2005, sendo revisada no ano de 2023. No cenário da argamassa estabilizada este trabalho investiga como é o comportamento desse produto quando produzido em usinas de concreto com aditivos cristalizantes. A argamassa estabilizada, constituída de areia, cimento e aditivos pode ser utilizada em 36 h ou 72 h, sendo considerada uma alternativa promissora na construção, logo que é entregue pronta para a obra. Contudo, essa inovação compartilha espaço com o concreto usinado no momento da sua produção e enfrenta desafios técnicos, em especial sobre comportamento das adições já utilizadas no concreto e seu desempenho em argamassas estabilizadas. Um desses desafios atuais é a influência dos aditivos cristalizantes na argamassa. Desta forma, nesta pesquisa dois cristalizantes, Tipo 1 e Tipo 2, foram utilizados para avaliar seus efeitos nas propriedades de argamassas estabilizadas. Para tanto, os percentuais utilizados em relação a massa do cimento de ambos foram 0,35%; 0,70% e 1% respeitando as dosagens estipuladas pelos fabricantes. Para avaliar esse aditivo, foram ensaiadas sete amostras, sendo uma amostra sem a presença do cristalizante e outras 6 amostras com adição de cristalizantes, sendo todas submetidas à ensaios no estado fresco, como mesa de consistência, retenção de água e teor de ar incorporado, além de ensaios no estado endurecido, como resistência à aderência, módulo de elasticidade, compressão e flexão na tração.

Palavras-chave: Argamassa Estabilizada. Propriedades. Adição. Cristalização. Permeabilidade

ABSTRACT

Stabilized mortar emerged as a market product in the 1990s and is considered an industrialized mortar, as it is produced in an industrial plant and delivered ready for use in construction, offering a sectoral alternative to increase productivity. Although production and use began in Brazil, the product initially lacked standards to ensure the necessary performance requirements. However, due to the growing need for standardization and quality assurance, the first Brazilian standard for stabilized mortar was published in 2005 and revised in 2023. This study investigates the behavior of stabilized mortar when produced in concrete batching plants with the inclusion of crystallizing additives. Composed of sand, cement, and additives, stabilized mortar can be used within 36 or 72 hours, making it a promising alternative in construction due to its ready-to-use delivery format. However, this innovation competes with ready-mix concrete at the production stage and faces technical challenges, especially concerning how traditional concrete additives behave in stabilized mortar. One of the current



challenges involves the influence of crystallizing additives on the mortar.

In this study, two types of crystallizing additives—Type 1 and Type 2—were used to evaluate their effects on the properties of stabilized mortars. The percentages applied, based on the cement mass, were 0.35%, 0.70%, and 1.00%, in accordance with manufacturer recommendations. To assess these additives, seven samples were tested: one reference sample without the crystallizing additive and six samples with varying crystallizing contents. All samples underwent fresh-state tests, such as consistency table, water retention, and incorporated air content, as well as hardened-state tests, including bond strength, modulus of elasticity, compressive strength, and flexural tensile strength.

Keywords: Stabilized Mortar. Properties. Additive. Crystallization. Permeability.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil tem passado por um contínuo processo de transformação, impulsionado tanto por avanços tecnológicos quanto pela necessidade de aprimorar a produtividade e a qualidade das obras. Uma das principais mudanças foi a crescente industrialização dos materiais de construção, como a argamassa, que tradicionalmente era preparada manualmente em obra. Nesse contexto, surgiram as argamassas industrializadas, inicialmente na década de 1950 com a versão ensacada, que exigia apenas a adição de água antes do uso. Já na década de 1990, o mercado brasileiro passou a adotar a argamassa estabilizada, produto que chega pronto à obra, com estabilidade garantida por até 72 horas, representando um avanço importante na racionalização dos processos construtivos [1].

A expansão do uso da argamassa estabilizada exigiu maior controle sobre sua produção, desempenho e durabilidade, especialmente devido ao seu tempo de utilização prolongado. Com isso, tornou-se necessário não apenas desenvolver novas adições e aditivos que garantissem a manutenção das propriedades no tempo de uso, mas também revisar os critérios normativos que orientam sua aplicação. A revisão da norma ABNT NBR 13281, publicada em 2023, ampliou o escopo e passou a se chamar "Argamassas inorgânicas – requisitos e métodos de ensaio", estabelecendo requisitos específicos para argamassas industrializadas e estabilizadas, com destaque para a avaliação do estado fresco e endurecido.

Entre as soluções tecnológicas que vêm sendo estudadas para potencializar o desempenho das argamassas, destacam-se os aditivos cristalizantes. Amplamente utilizados em concretos para impermeabilização e redução da porosidade, esses aditivos reagem com os compostos da hidratação do cimento formando estruturas cristalinas que obstruem os vazios capilares. A aplicação em argamassas, contudo, ainda é incipiente, especialmente quanto ao impacto sobre a estabilidade do material, a manutenção da trabalhabilidade, a retenção de água e as propriedades mecânicas ao longo do tempo.

Considerando que os traços de argamassa utilizam os mesmos aglomerantes do concreto (cimento Portland), mas sem a presença de agregados graúdos e com finalidades distintas, torna-se pertinente avaliar como os aditivos cristalizantes interferem nesse sistema menos complexo e com diferentes exigências de desempenho. Essa lacuna é ainda mais relevante diante do fato de que a norma atual não especifica o comportamento esperado para argamassas estabilizadas com aditivos do tipo cristalizante, sendo fundamental que estudos acadêmicos contribuam para consolidar práticas e parâmetros técnicos.

Neste cenário, o presente estudo tem como objetivo principal investigar a influência da incorporação de dois tipos de aditivos cristalizantes nas propriedades de argamassas estabilizadas produzidas em usinas. Serão analisadas amostras com diferentes dosagens desses aditivos, comparando-se os resultados com um traço de referência sem a adição, a fim de verificar a conformidade com os critérios estabelecidos pelas normativas [2, 3]

A argamassa estabilizada tem se consolidado como uma alternativa eficiente frente às argamassas produzidas in loco e às industrializadas convencionais, especialmente pela praticidade de sua aplicação e controle de qualidade em ambiente fabril. Contudo, sua estabilidade ao longo do tempo de uso ainda representa um desafio técnico. Segundo [4], para manter a trabalhabilidade da argamassa estabilizada por até 36 ou 72 horas, torna-se indispensável o uso de aditivos, como incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação. A pesquisa demonstrou que tais aditivos, embora eficazes na preservação das propriedades reológicas no estado fresco, podem resultar em redução do desempenho mecânico no estado endurecido. Isso ressalta a importância de um controle tecnológico rigoroso na compatibilização e dosagem dos aditivos, visando garantir desempenho e durabilidade adequados da argamassa.

Os autores [5] reforçam esse entendimento ao avaliarem o comportamento da argamassa estabilizada ao longo de períodos de 0 h, 24 h e 36 h. Os autores observaram que, apesar de manter a trabalhabilidade por até 36 horas, o material não conserva plenamente suas propriedades iniciais durante todo o período. Os ensaios no estado fresco e endurecido, associados à análise morfológica, revelaram a necessidade de ajustes na formulação para assegurar a estabilidade das características desejadas ao longo do tempo de uso.



No contexto da durabilidade e resistência à umidade, [6] investigaram a aplicação de aditivos impermeabilizantes cristalizantes em argamassas estabilizadas com tempos de uso de 36 e 72 horas. O estudo demonstrou que a presença de cristalizantes, sobretudo na forma líquida, resultou em menor absorção de água e incremento na resistência mecânica, destacando-se como uma solução eficaz frente à penetração de umidade, uma das principais causas de manifestações patológicas em sistemas de revestimento.

Complementando esse panorama, [7] analisaram os efeitos de adições químicas e minerais – como superplastificantes, modificadores de viscosidade, pó de calcário e cinzas volantes – sobre argamassas autoadensáveis, considerando diferentes relações água/cimento (a/c). O estudo evidenciou que a relação a/c é um parâmetro crítico para garantir a estabilidade da mistura. A utilização de modificadores de viscosidade demonstrou ser eficaz na mitigação de segregação e exsudação, enquanto as adições minerais contribuíram para a melhoria da fluidez sem comprometer a coesão.

Dessa forma, os estudos revisados apontam para a complexidade da estabilização de argamassas e a necessidade de estudos complementares que explorem a influência de aditivos específicos – como os cristalizantes – sobre as propriedades do material ao longo do tempo, especialmente em condições reais de produção em usinas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, a argamassa foi formulada com cimento CP II-F-40, areia média, água de rede e aditivos incorporadores de ar e estabilizadores, além de adições cristalizantes. A proposta visa avaliar o impacto dos cristalizantes nas propriedades da argamassa, conforme o fluxo metodológico da Figura 1.

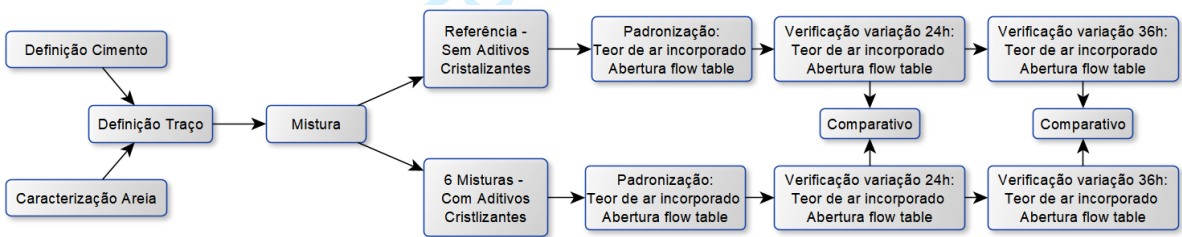


Figura 1: Fluxo da metodologia.

Na Tabela 1 é apresentada as características do cimento CP II F 40 da empresa Supremo Cimentos.

Tabela 1: Características Cimento CP II F 40.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS CIMENTO CP II F 40					
ALITA (%)	BELITA (%)	PERDA AO FOGO (%)	RESÍDUO INSOLÚVEL (%)	TRIÓXIDO DE ENXOFRE (%)	
57,57	8,09	5,00	2,69	2,22	
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS CIMENTO CP II F 40					
PENEIRA 32 MIK (%)	PENEIRA 45 MIK (%)	BLAINE (CM²/G)	RESISTÊNCIA 3 DIAS (MPA)	RESISTÊNCIA 7 DIAS (MPA)	INÍCIO DE PEGA (MINUTOS)
5,74	0,94	4542	36,4	43,00	220

Conforme apresentado na Figura 2, para a produção das argamassas, foram utilizadas areias com granulometria mais uniforme, concentradas entre as peneiras de 0,3 mm e 0,15 mm, com módulo de finura abaixo da zona ótima. Essa escolha visa favorecer a estabilidade da mistura, conforme apontado pelo autor[18].

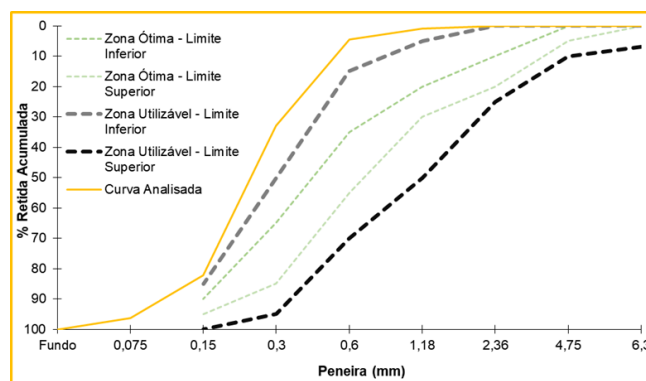


Figura 2: Curva granulométrica da areia utilizada.

As características dos aditivos incorporadores de ar e estabilizador são apresentadas na Tabela 2, e as características dos dois aditivos cristalizantes são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 2: Características Aditivos incorporador de ar e estabilizador.

ADITIVO	DENSIDADE (KG/L)	PH	TEOR DE ÁGUA (%)
Incorporador de ar	1,01	8,21	92,00
Estabilizador	1,15	6,59	80,00

Tabela 3: Características Aditivos Cristalizantes.

MATERIAL	DENSIDADE (KG/L)	DOSAGEM RECOMENDADA (%) SOBRE MASSA DE CIMENTO	MÍNIMO DE CIMENTO RECOMENDADO (KG/M³)	TEMPO MÍNIMO DE MISTURA RECOMENDADO (MIN)
Tipo 1	1,02	1,00	150	3
Tipo 2	-	0,80	136	2

3.1 Dimensionamento de traço

Foram estudados sete traços distintos de argamassa estabilizada, sendo um traço referência, sem adição de aditivos, e os demais com diferentes dosagens de dois tipos de aditivos cristalizantes. Esses aditivos atuam sobre o cimento em contato com água sob pressão, promovendo a cristalização interna da matriz. De acordo com as recomendações dos fabricantes, o aditivo Tipo 1 requer dosagem de 1,00% sobre a massa de cimento para atingir a performance esperada, enquanto o Tipo 2 exige 0,80%. O objetivo foi avaliar o desempenho comparativo entre esses traços e o de referência em diferentes condições. O dimensionamento inicial considerou o teor de ar incorporado conforme a normativa [2], com faixa normativa de 18% a 22%. Para garantir estabilidade volumétrica, adotou-se inicialmente 16% de ar incorporado, o que resultou em um volume útil de componentes igual a 840 litros (0,84 m³).

Outro parâmetro fundamental foi a relação água/cimento (a/c), fixada em 1,01 com base em experiências de campo que apontam menor risco de retração. A água dimensionada para o traço foi de 249 litros, garantindo uma consistência entre 260 mm e 300 mm [4], o que resultou em um consumo de cimento de 245 kg. Para completar o volume do traço, a quantidade de areia foi calculada para atingir os 840 litros finais. O aditivo incorporador de ar foi inicialmente dosado em 0,45% da massa de cimento, com possibilidade de ajuste para manter o teor de ar dentro da faixa recomendada, aceitando-se uma variação de $\pm 1\%$, enquanto o aditivo estabilizador foi dosado em 1,70% da massa de cimento.



3.2 Estado Fresco

Com o objetivo de caracterizar o comportamento da argamassa estabilizada no estado fresco, foram realizados cinco ensaios principais, abrangendo propriedades fundamentais que impactam diretamente na aplicação, desempenho e durabilidade do material. Quatro desses ensaios seguem diretrizes normativas da ABNT e um adicional foi incluído para fins de complementação da análise técnica. As avaliações permitem investigar aspectos como trabalhabilidade, retenção de água, densidade, porosidade e estabilidade das misturas ao longo do tempo de uso.

O primeiro ensaio realizado foi a mesa de consistência, executada conforme metodologia da normativa [8]. Embora não seja indicada diretamente para argamassa estabilizada, sua realização é importante para avaliar a abertura e a fluidez da massa sob ação repetida de impactos controlados. A argamassa é moldada em um troncônico metálico em três camadas compactadas com soquete padronizado. Após a remoção do molde, a argamassa é submetida a 30 quedas sucessivas na mesa de impacto. O diâmetro final da abertura indica o grau de trabalhabilidade da mistura. Esse ensaio foi executado inicialmente e repetido após 36 horas de estabilização, visando mensurar possíveis perdas de consistência relacionadas à ação dos aditivos cristalizantes.

O segundo ensaio refere-se à retenção de água, essencial para avaliar a capacidade da argamassa em manter água em sua estrutura durante a aplicação, prevenindo a desidratação precoce. Conforme a normativa [9], o ensaio é realizado utilizando funil de Büchner modificado, bomba de vácuo e discos de papel-filtro. A argamassa é moldada e compactada em prato apropriado, sendo submetida a sucção constante por 15 minutos. Após esse período, mede-se a variação de massa do conjunto, permitindo calcular a porcentagem de água retida. A retenção adequada de água é fundamental para assegurar aderência e trabalhabilidade, e este parâmetro pode sofrer influência direta das adições cristalizantes, que atuam sobre a porosidade da mistura.

A densidade de massa no estado fresco foi o terceiro ensaio normativo realizado, sendo executado conforme diretrizes da normativa [10]. Esse parâmetro é determinado por meio da razão entre a massa de um volume conhecido de argamassa fresca e o volume do recipiente cilíndrico utilizado. O valor obtido, expresso em kg/m³, representa uma medida da compactidade da mistura no estado fresco e é diretamente relacionado à homogeneidade, quantidade de ar incorporado e rendimento volumétrico do produto. A densidade no estado fresco é também indispensável para o cálculo subsequente do teor de ar incorporado.

Em sequência, foi avaliado o teor de ar incorporado, através de cálculos baseados nas densidades real e teórica da argamassa. O método empregado permite estimar a quantidade de vazios de ar existentes na massa fresca, sendo um fator crítico na durabilidade e resistência do produto após endurecimento. O ar incorporado pode ser introduzido intencionalmente através de aditivos, com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade, porém o excesso pode comprometer as propriedades mecânicas. A equação utilizada considera a massa dos componentes secos, da água adicionada e as massas específicas fornecidas pelos fabricantes, permitindo determinar a densidade teórica da argamassa sem vazios, e assim calcular a porcentagem de ar presente.

O quinto ensaio executado no estado fresco foi a verificação do tempo de uso da argamassa, importante para validar a viabilidade prática do material produzido com aditivos estabilizantes e cristalizantes. O tempo de uso é definido como o intervalo no qual a argamassa mantém propriedades adequadas de aplicação sem perda significativa de desempenho. No presente estudo, foram repetidos os ensaios de mesa de consistência e teor de ar após 36 horas de preparo, período considerado no estudo. Durante esse intervalo, os materiais foram armazenados em baldes com tampa, evitando a evaporação da água para o meio externo. A repetição dos ensaios permite observar eventuais alterações de desempenho ao longo do tempo, sendo possível quantificar perdas de consistência ou aumento no teor de ar incorporado, fatores que indicam degradação da mistura fresca.

3.3 Estado Endurecido

A avaliação da argamassa no estado endurecido é fundamental para assegurar a sua adequação às exigências técnicas da construção civil. Nesse contexto, foram realizados ensaios conforme diretrizes da normativa [2] e [3], que estabelece parâmetros normativos para a análise de desempenho da argamassa após o processo de cura. Os resultados obtidos fornecem informações sobre aderência, resistência mecânica, densidade e propriedades microestruturais, elementos essenciais para a aplicação segura e eficiente do material.

O primeiro ensaio refere-se à resistência potencial de aderência à tração ao substrato padrão, executado com base nas normativas [11]. Utilizando substratos-padrão de cimento Portland (25 x 50 cm), aplica-se a argamassa em duas camadas de 5 mm com posterior cura por 28 dias, sendo o esquema apresentado na Figura 3. Após a fixação de pastilhas metálicas em furos feitos com serra copo, realiza-se o arrancamento, sendo consideradas válidas apenas rupturas do tipo A e B, sendo as formas de ruptura apresentadas na Figura 4. O cálculo da aderência é feito pela razão entre a força de ruptura e a área da pastilha, sendo o valor médio de cinco amostras adotado como representativo.

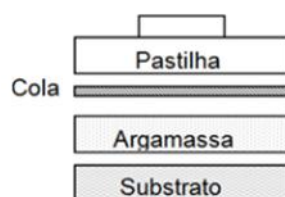


Figura 3: Esquema de colagem pastilha e substrato

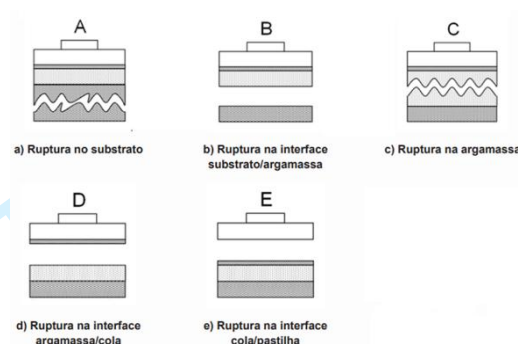


Figura 4: Maneiras de ruptura entre argamassa e substrato

Na sequência, foi determinada a densidade de massa no estado endurecido, conforme normativas [12] e [13]. Foram moldados corpos de prova prismáticos (4x4x16 cm), compactados em duas camadas com uso de mesa vibratória. Após cura de 28 dias, as dimensões de cada prisma foram medidas e o volume calculado. A densidade foi então obtida pela relação entre massa e volume, com a média dos três corpos de prova adotada como resultado.

Com os mesmos prismas, foi realizado o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico, segundo a normativa [14]. Através do método de ultrassom (Figura 5), mediu-se o tempo de propagação da onda sônica entre os extremos dos prismas. A velocidade foi calculada e, com o valor da densidade e o coeficiente de Poisson ($\mu = 0,2$), obteve-se o módulo de elasticidade dinâmico. Foram feitas três medições por prisma, totalizando nove medições por lote, adotando-se o maior valor encontrado como representativo do lote.



Figura 5: Aparelho de ultrassom

A resistência à tração na flexão foi determinada conforme normativa [12], utilizando os mesmos prismas moldados para os ensaios anteriores. O rompimento foi realizado com carregamento central aplicado entre dois apoios, com velocidade de (50 ± 10) N/s. A resistência foi calculada, considerando a carga máxima e o vão entre apoios. O valor médio das três amostras foi considerado o resultado do ensaio.



As metades dos prismas rompidos à flexão foram utilizadas para o ensaio de resistência à compressão, com base na área de contato de 40 x 40 mm. As amostras foram submetidas a compressão em prensa com velocidade de (500 ± 50) N/s. A resistência foi calculada, adotando-se a média das seis metades rompidas como valor representativo.

Complementando a caracterização mecânica, foram realizadas análises microestruturais das argamassas. A análise mineralógica, por difração de raios X (DRX), foi conduzida com o equipamento E4 ENDEAVOR da marca Bruker (Figura 6). As amostras, previamente moídas e prensadas em pastilhas homogêneas pelo equipamento Centaurus (FLSmidth), foram submetidas à leitura, sendo os dados processados por software específico para identificação das fases cristalinas presentes.

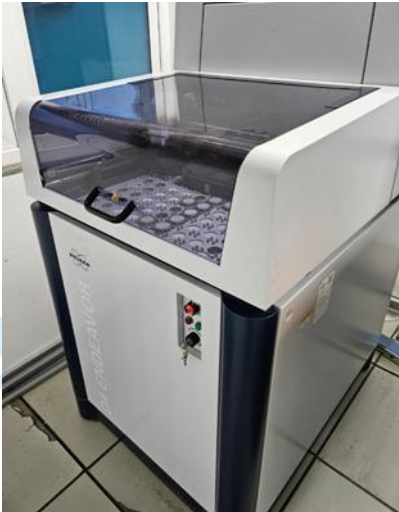


Figura 6: Equipamento E4 ENDEAVOR marca Bruker - Propriedade Supremo Secil Cimentos

Por fim, a análise química, por fluorescência de raios X (FRX), foi executada com o equipamento S8 TIGER marca Bruker (Figura 7), utilizando as mesmas pastilhas preparadas para o DRX. O ensaio permitiu determinar os óxidos constituintes e a composição química global da argamassa, essencial para avaliar a presença de adições minerais, traços de contaminantes e possíveis reações deletérias.



Figura 7: Equipamento S8 TIGER marca Bruker - Propriedade Supremo Secil Cimentos

3. RESULTADOS

O primeiro resultado, é referente ao dimensionamento dos traços, sendo realizado o ensaio com o traço padrão, seguindo a classificação estabelecida pela norma vigente. A Tabela 4 apresenta o traço referência, enquanto a Tabela 5 as variações de aditivos cristalizantes

**Tabela 4:** Traço referência.

MATERIAL	QUANTIDADE (KG)	MASSA ESPECÍFICA (KG/L)	VOLUME (L)
Cimento CP II F 40	245,00	3,10	79,00
Areia	1447,00	2,63	512,00
Estabilizador	4,16	1,10	-
Incorporador de ar	1,10	1,02	-
Água	249,00	1,00	249,00
Volume Total (L)			840,00

Tabela 5: Variações de aditivo cristalizante para composição do traço.

MATERIAL	DOSAGEM 0,35 % (KG)	DOSAGEM 0,70 % (KG)	DOSAGEM 1,00 % (KG)
Tipo 1	0,857	1,715	2,450
Tipo 2	0,857	1,715	2,450

Este estudo avaliou o desempenho de argamassas estabilizadas com diferentes tipos e dosagens de aditivos cristalizantes ao longo de 36 horas. Os ensaios realizados no estado fresco incluíram teor de ar incorporado, densidade, mesa de consistência, retenção de água e tempo de uso, com bases normativas [2, 3].

O teor de ar incorporado inicial foi ajustado para $23,0 \pm 0,5\%$, valor compatível com os adotados por [15, 6]. A adição do incorporador foi realizada conforme a necessidade, visando atingir esse parâmetro. O teor final foi considerado em, no mínimo, 16%, conforme o dimensionamento do traço. Todos os traços mantiveram valores superiores a 18% após 36 horas, estando em conformidade para uso como argamassa de vedação e fixação. O aditivo Tipo 1 exigiu menor dose de incorporador, mas apresentou maior perda de ar ao longo do tempo. Já o Tipo 2 teve maior estabilidade, com perdas inferiores a 2,0%, na Tabela 6 são apresentados os resultados da análise de ar incorporado nas amostras.

Tabela 6: Resultados Teor de ar incorporado.

TRAÇO	CONSUMO DE ADITIVO INCORPORADOR DE AR (%)	0H	24H	36H	CONFORMIDADE
		VALOR (%)	VALOR (%)	VALOR (%)	
REFERÊNCIA	0,45%	23,00%	21,42%	20,62%	CONFORME
0,35 % TIPO 1	0,35%	22,85%	19,24%	19,12%	CONFORME
0,70 % TIPO 1	0,25%	22,50%	21,80%	19,49%	CONFORME
1,00 % TIPO 1	0,25%	22,40%	20,64%	20,00%	CONFORME
0,35 % TIPO 2	0,45%	22,77%	22,70%	21,62%	CONFORME
0,70 % TIPO 2	0,45%	22,60%	22,58%	21,38%	CONFORME
1,00 % TIPO 2	0,55%	23,20%	23,01%	21,60%	CONFORME

A densidade no estado fresco permaneceu estável em todas as amostras, classificadas como DF2 (1600–1800 kg/m³) durante todo o período, conforme apresentado na Figura 8, resultado semelhante ao encontrado pelo autor [6]. A trabalhabilidade, avaliada pela mesa de consistência, conforme apresentado na Tabela 8, também indicou melhor desempenho com o aditivo Tipo 2, especialmente na dosagem de 1,0%, que apresentou menor perda de abatimento em 36 horas.

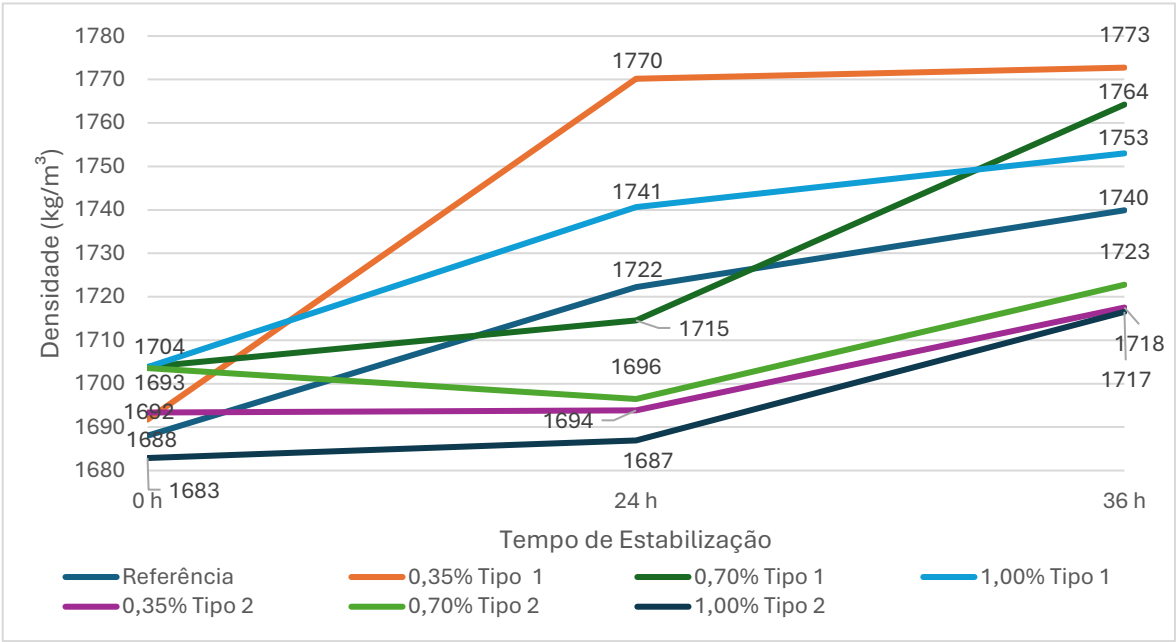


Figura 8: Resultados Densidade no estado fresco.

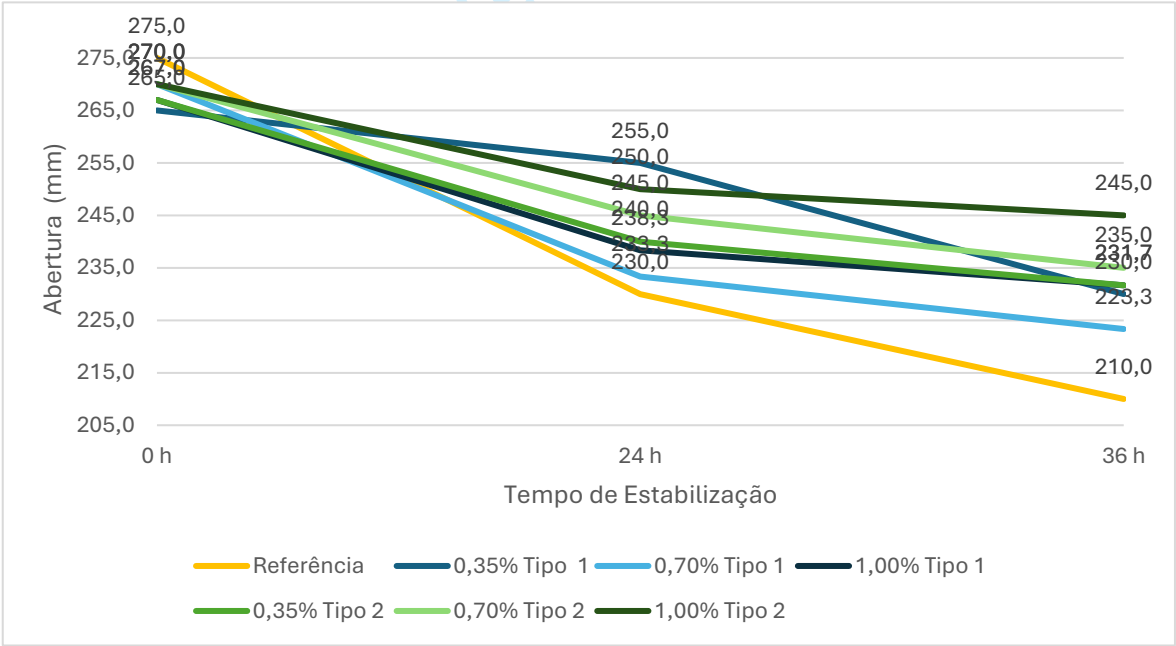


Figura 9: Resultados Mesa de Consistência.

Quanto à retenção de água, todos os traços superaram o valor mínimo de 80%. As amostras com maiores teores (acima de 90%) foram classificadas como U3, conforme normativa [2], e quando o resultado esteve entre (80-90) % sendo classificada como U2, sendo a normativa [2], os resultados são apresentados na Tabela 7, destacando-se o traço referência e o aditivo Tipo 1 em baixa dosagem. Por fim, todas as argamassas mantiveram suas características funcionais após 36 horas, sendo consideradas conformes quanto ao tempo de uso e ao desempenho no estado fresco.

**Tabela 7:** Resultados Retenção de água.

TRAÇO	OH			LIMITES
	VALOR (%)	CONFORMIDADE	CATEGORIA	VALOR (%)
REFERÊNCIA	94,32	Conforme	U3	> 90
0,35 % TIPO 1	94,30	Conforme	U3	> 90
0,70 % TIPO 1	93,90	Conforme	U3	> 90
1,00 % TIPO 1	89,10	Conforme	U2	80-90
0,35 % TIPO 2	92,81	Conforme	U3	> 90
0,70 % TIPO 2	84,00	Conforme	U2	80-90
1,00 % TIPO 2	87,92	Conforme	U2	80-90

Este estudo avaliou argamassas com aditivos cristalizantes, focando em propriedades mecânicas e composição mineralógica. Foram analisadas a aderência à tração, densidade, módulo de elasticidade, resistência à compressão e flexão, além de ensaios de DRX e FRX.

A resistência potencial de aderência à tração (28 dias) mostrou que apenas os traços com 0,70% do Tipo 1 e 0,35% e 0,70% do Tipo 2 não atingiram o mínimo de 0,20 MPa, conforme mínimo descrito na normativa [2] sendo atribuída essa deficiência à maior incorporação de ar, conforme resultados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados Resistência potencial de aderência à tração ao substrato padrão.

TRAÇO	RESISTÊNCIA 28 DIAS (MPA)	CONFORMIDADE
REFERÊNCIA	0,27	Conforme
0,35 % TIPO 1	0,28	Conforme
0,70 % TIPO 1	0,16	Não Conforme
1,00 % TIPO 1	0,31	Conforme
0,35 % TIPO 2	0,13	Não Conforme
0,70 % TIPO 2	0,18	Não Conforme
1,00 % TIPO 2	0,22	Conforme

Conforme apresentado, os traços com aditivo Tipo 2 tiveram menor desempenho na aderência ao substrato, possivelmente devido à interferência do aditivo na zona de transição ou à distribuição do ar incorporado, e não à sua quantidade total [4]. Apesar do maior teor de ar, não foram observadas bolhas visíveis, e as densidades se mantiveram próximas.

A densidade no estado endurecido variou entre DE2 e DE3, com o Tipo 1 mostrando menor perda de ar e maior densidade, os resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Resultados Densidade no estado endurecido.

TRAÇO	DENSIDADE NO ESTADO ENDURECIDO (KG/M³)	CLASSIFICAÇÃO	LIMITES (KG/M³)
Referência	1514,46	DE2	1400-1600
0,35 % Tipo 1	1490,02	DE2	1400-1600
0,70 % Tipo 1	1561,28	DE2	1400-1600
1,00 % Tipo 1	1606,22	DE3	1600-1800
0,35 % Tipo 2	1507,34	DE2	1400-1600
0,70 % Tipo 2	1513,50	DE2	1400-1600
1,00 % Tipo 2	1532,21	DE2	1400-1600



O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado com base no maior valor obtido entre três corpos de prova, conforme os critérios de classificação da [2]. Esse parâmetro é essencial para definir a aplicabilidade da argamassa, especialmente em revestimentos e emboços sujeitos a variações de carga ou altura.

Os resultados indicaram que a amostra de referência (sem aditivo) foi classificada como E4, possibilitando sua aplicação tanto como argamassa inorgânica para revestimento (ARV-I, II, III) quanto como argamassa de emboço técnico (AET). Para os aditivos cristalizantes, observou-se que a dosagem de 0,35% dos tipos 1 e 2 manteve desempenho similar à referência.

No entanto, dosagens superiores modificaram o comportamento das argamassas: com 0,70% e 1,00% do aditivo Tipo 1, houve elevação no módulo de elasticidade, com classificações E3 e E2, respectivamente, o que restringe sua aplicação a revestimentos até, no máximo, 60 metros de altura para a dosagem mais elevada. Já para o aditivo Tipo 2, as dosagens de 0,70% e 1,00% mantiveram-se na classe E3, permitindo aplicação em revestimentos em alturas superiores a 60 metros, sendo os resultados apresentado na Tabela 10

Tabela 10: Resultados Módulo de elasticidade dinâmico.

TRAÇO	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (MPa)	CLASSIFICAÇÃO	REQUISITO TIPO DE ARGAMASSA
Referência	5983,20	E4	ARV-I, ARV-II, ARV-III, AET
0,35 % Tipo 1	6799,13	E4	ARV-I, ARV-II, ARV-III, AET
0,70 % Tipo 1	9013,33	E3	ARV-I, ARV-II, ARV-III
1,00 % Tipo 1	9628,31	E2	ARV-I, ARV-II,
0,35 % Tipo 2	6784,86	E4	ARV-I, ARV-II, ARV-III, AET
0,70 % Tipo 2	7219,56	E3	ARV-I, ARV-II, ARV-III
1,00 % Tipo 2	7988,24	E3	ARV-I, ARV-II, ARV-III

Tabela 11: Resultados Resistência à tração na flexão.

TRAÇO	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)	CLASSIFICAÇÃO
Referência	0,69	R2
0,35 % Tipo 1	0,87	R2
0,70 % Tipo 1	0,51	R2
1,00 % Tipo 1	0,81	R2
0,35 % Tipo 2	0,47	R1
0,70 % Tipo 2	0,49	R1
1,00 % Tipo 2	0,56	R2

O ensaio de resistência à compressão foi incluído na pesquisa por ser adotado como critério de classificação pela norma [3], norma voltada às argamassas de assentamento e fixação. Embora não seja exigido pela norma [2], aplicável a argamassas de revestimento, os resultados foram analisados considerando também a exigência de resistência mínima à aderência à tração de 0,20 MPa, conforme previsto na referida norma, sendo os dados consolidados na Tabela 12.

**Tabela 12:** Resultados Resistência à compressão.

TRAÇO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	POTENCIAL À ADERÊNCIA (MPa)	REQUISITO TIPO DE ARGAMASSA
Referência	2,47	0,27	AAV e AAF
0,35 % Tipo 1	3,06	0,28	AAV e AAF
0,70 % Tipo 1	2,29	0,16 (<0,20)	-
1,00 % Tipo 1	2,24	0,31	AAV e AAF
0,35 % Tipo 2	2,19	0,13 (<0,20)	-
0,70 % Tipo 2	1,83	0,18 (<0,20)	-
1,00 % Tipo 2	2,15	0,22	AAV e AAF

Nenhuma das argamassas avaliadas atingiu a resistência mínima de 5,0 MPa exigida para classificação como AAE (argamassa estrutural), sendo enquadradas como AAV (2,0–5,0 MPa) ou AAF (1,5–5,0 MPa), conforme os critérios de aderência e resistência à compressão. As amostras com aditivo Tipo 1 apresentaram maior resistência, associada à menor incorporação de ar, comportamento também relatado no trabalho [6]. Por outro lado, conforme observado pelo autor [4], o maior teor de ar nas amostras com aditivo Tipo 2 contribuiu para a redução da resistência à compressão, resultado compatível com o comportamento esperado para esse tipo de aditivo.

Para o ensaio de análise mineralógica – difratômetro de raio x (DRX) foram analisados os aditivos Tipo 1, Tipo 2, embora o Tipo 2 tenha apresentado maior teor de C_3S e C_2S no DRX, demonstrado na Tabela 13

Tabela 13: Resultados Difratômetro de Raio X (DRX).

TRAÇO	ALITA - M3 (%)	ALITA - M1 (%)	ALITA TOTAL (C3S)	BELITA TOTAL (C2S)	ALITA + BELITA
Aditivo Tipo 1	11,66	25,31	36,98	3,92	40,90
Aditivo Tipo 2	19,98	26,12	46,10	12,82	58,92
Referência	2,50	0,39	2,89	0,14	3,03
0,35 % Tipo 1	1,78	1,76	3,54	0,16	3,70
0,70 % Tipo 1	3,55	0,30	3,85	0,11	3,96
1,00 % Tipo 1	1,83	1,29	3,12	0,31	3,43
0,35 % Tipo 2	3,76	0,25	4,01	0,27	4,28
0,70 % Tipo 2	3,48	0,37	3,85	0,11	3,96
1,00 % Tipo 2	2,05	1,22	3,26	0,20	3,46

A análise por Difração de Raios X (DRX) indicou que o aditivo cristalizante Tipo 1 possui menor teor de Alita (C_3S) e Belita (C_2S) do que o Tipo 2. Enquanto a C_3S contribui para a resistência inicial, a C_2S é responsável pelo ganho tardio, sendo sua soma diretamente relacionada à resistência final dos cimentos [16]. Apesar disso, as amostras com o aditivo Tipo 1 apresentaram maior resistência à compressão, contrariando a expectativa baseada apenas na composição química.

Segundo autor [4], a quantidade de ar incorporado tem maior influência sobre a resistência mecânica do que os teores de C_3S e C_2S . Assim, o desempenho inferior do aditivo Tipo 2 está relacionado à maior porosidade da matriz, causada pelo excesso de ar incorporado. Além disso, o Tipo 1 apresentou maior teor de cal livre, o que pode ter comprometido a estabilidade da argamassa, acelerando reações iniciais e reduzindo a eficácia dos aditivos estabilizadores [18,19].

A análise por Fluorescência de Raio X (FRX) confirmou diferenças na composição entre os aditivos e justificou os distintos comportamentos em relação à incorporação de ar e às propriedades mecânicas finais das argamassas, e são apresentados nas Tabelas 14 e 15.



Tabela 14: Resultados Fluorescência de Raio X (FRX) – Parte 1

TRAÇO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Aditivo Tipo 1	9,93	2,53	1,64	45,27	0,83
Aditivo Tipo 2	13,29	3,07	1,77	44,51	2,51
Referência	85,85	0,82	0,56	7,96	0,82
0,35 % Tipo 1	85,69	0,83	0,59	8,32	0,74
0,70 % Tipo 1	87,18	0,74	0,55	7,40	0,66
1,00 % Tipo 1	84,75	0,90	0,62	8,68	0,77
0,35 % Tipo 2	84,50	0,97	0,60	8,97	0,92
0,70 % Tipo 2	83,52	1,14	0,70	10,01	0,95
1,00 % Tipo 2	87,04	0,74	0,52	7,15	0,65

Tabela 15: Resultados Fluorescência de Raio X (FRX) – Parte 2

TRAÇO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	P ₂ O ₅
Aditivo Tipo 1	2,12	0,67	8,83	0,10	0,10
Aditivo Tipo 2	3,06	0,80	9,50	0,17	0,15
Referência	0,20	0,09	0,01	0,00	0,00
0,35 % Tipo 1	0,20	0,08	0,01	0,00	0,00
0,70 % Tipo 1	0,16	0,08	0,01	0,00	0,00
1,00 % Tipo 1	0,22	0,09	0,02	0,00	0,00
0,35 % Tipo 2	0,19	0,09	0,01	0,00	0,00
0,70 % Tipo 2	0,20	0,08	0,02	0,00	0,00
1,00 % Tipo 2	0,19	0,09	0,02	0,00	0,00

A maior concentração de SiO₂ no aditivo cristalizante Tipo 2 era esperada, pois esse óxido contribui para a formação da Alita (C₃S) e da Belita (C₂S), essenciais para a resistência mecânica dos materiais cimentícios [16]. Contudo, apesar das propriedades químicas favoráveis, os aditivos Tipo 1 e Tipo 2 não apresentaram impacto significativo no desempenho mecânico final.

A maior incorporação de ar nas amostras com o aditivo Tipo 2 pode estar relacionada ao seu elevado teor de SO₃, que, segundo autor [17], tende a provocar instabilidade na microestrutura. Isso resulta em aumento da porosidade, o que compromete a coesão da matriz e reduz a resistência à compressão. Essa relação entre teor de ar, porosidade e perda de desempenho também é confirmada por [18] e [19].

4. CONCLUSÕES

Conforme apresentado os aditivos cristalizantes melhoram a trabalhabilidade da argamassa estabilizada ao longo do período de estabilização, possuindo comportamento semelhante aos aditivos estabilizadores.

O aditivo cristalizante Tipo 1 mantém uma menor trabalhabilidade ao longo do tempo, porém melhoram o produto quando comparado ao traço referência, além disso a diminuição de ar incorporado ao longo do período favorece a aplicação como argamassa de assentamento de alvenaria sem função estrutural.

Já o aditivo do Tipo 2, mantém melhor trabalhabilidade durante o período, porém a manutenção de ar incorporado pode não favorecer a aplicabilidade ao longo do período.

Quando analisado os traços nos ensaios de estado fresco, todos são considerados em conformidade, podendo ser utilizado, porém quando analisado no estado endurecido, não foram todas as amostras que obtiveram o resultado mínimo para aprovação do traço.

O principal ensaio que desclassificou alguns traços no estado endurecido foi o de "Resistência potencial de aderência à tração ao substrato padrão". Nesse ensaio, o traço de referência, além dos traços com 0,35% e



1,00% de aditivo do Tipo 1 e o traço com 1,00% de aditivo do Tipo 2, foram considerados em conformidade.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Itajubá, Supremo Cimentos e Hobimix, pelo apoio na pesquisa, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro (código 001) concedido a Michel Henry Bacelar de Souza.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] COUTINHO, S. M.; PRETTI, S. M.; TRISTÃO, F. A. Argamassa preparada em obra x argamassa industrializada para assentamento de blocos de vedação: análise do uso em Vitória-ES. Teoria e Prática na Engenharia Civil, Vitória, n. 21, p. 41–48, maio 2013.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281-1: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 2023.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281-2: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria. Rio de Janeiro, 2023.
- [4] POLLI, H. F.; FIORAVANTE, E. V.; SILVA, S. H. L. Influência da ação combinada de aditivos, incorporador de ar e estabilizador de hidratação, nas propriedades da argamassa estabilizada por até 48 horas. Revista Matéria, v. 28, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620230001.1336>. Acesso em: 22/04/2023.
- [5] MORAIS, S. C.; LORDSLEEM A. C.; SILVA, J. S.; ROCHA, J. H. A.; PÓVOAS, V. P.. Stabilized mortar: property evaluation according to stabilization time. Journal of Building Pathology and Rehabilitation, [S.l.], v. 55, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1617/s11527-022-01965-3>. Acesso em: 22/04/2023.
- [6] JANTSCH, A. C. A.; MOHAMAD, G.; SCHMIDT, R. P. B.; ANTONIAZZI, J. P.; LÜBECK, A. Avaliação do comportamento de revestimentos em argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 81-99, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-8621202100010049>. Acesso em: 16/04/2023.
- [7] LIBRE, N. A.; KHOSHNAZAR, R.; SHEKARCHI, M. Relationship between fluidity and stability of self-consolidating mortar incorporating chemical and mineral admixtures. Construction and Building Materials, v. 24, n. 7, p. 1262-1271, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.12.009>. Acesso em: 22/04/2023.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15258: Argamassa para revestimento de paredes e tetos — Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2021.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15630: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2009.



[15] BELLEI, P.; CATEN, A. T. Avaliação do desempenho da argamassa estabilizada de 36 e 72 h para revestimento externo em diferentes tempos de utilização e modo de armazenamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 13., Goiânia, 2019. Anais [...] Goiânia, 2019. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbta/article/view/4651/4117>. Acesso em: 02/03/2025.

[16] TENÓRIO, J. A. S. et al. Decomposição da fase majoritária do cimento Portland, Parte II: alita com adições de Fe e Al. REM, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672003000200009>. Acesso em: 30/03/2025.

[17] GOMES, S. D. Incorporação de enxofre no silicato dicálcico do clínquer de cimento Portland: influência na estabilidade de polimorfos e na reatividade hidráulica. 2007. Dissertação (Mestrado em Mineralogia Experimental e Aplicada) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44144/tde-29062007-113021/pt-br.php>. Acesso em: 30/03/2025.

[18] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

[19] NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

ATENÇÃO!!! O ORCID É OBRIGATÓRIO NA ÚLTIMA PÁGINA DO ARTIGO.

ORCID

Luis Gustavo de Castro Trafani	https://orcid.org/0009-0003-1092-4725
Maria Auxiliadora de Barros Martins	https://orcid.org/0000-0001-9625-8134
Adinele Gomes Guimarães	https://orcid.org/0000-0001-5844-6222
Carlos Balestra	https://orcid.org/0000-0001-7624-7921
Valquíria Claret dos Santos	https://orcid.org/0000-0001-7744-3262
Michel Henry Bacelar de Souza	https://orcid.org/0000-0001-8327-6181

Confirmação da submissão

 imprimir

Obrigado pela sua submissão

Submetido para

Matéria (Rio de Janeiro)

ID do manuscrito

RMAT-2025-0627

Título

Influência de cristalizantes em argamassas estabilizadas feitas em usinas.

Autores

DE CASTRO TRAFANI, LUIS

de Barros Martins, Maria Auxiliadora

Gomes Guimarães, Adinele

Tino Balestra, Carlos Eduardo

Bacelar de Souza, Michel Henry

Claret dos Santos, Valquíria

Data da submissão

19-jul-2025

Painel do autor



© Clarivate | © ScholarOne, Inc., 2025. Todos os direitos reservados.

ScholarOne Manuscripts e ScholarOne são marcas registradas da ScholarOne, Inc.

Patentes da ScholarOne Manuscripts n.º 7.257.767 e n.º 7.263.655.

 @ScholarOneNews |  Requisitos de sistema |  Declaração de privacidade |  Termos de uso |
Cookies Settings | Acessibilidade