Campus Porto Velho Calama
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

CAMILLY VICTORIA DA COSTA JACOME

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE AREIA ARTIFICIAL PRODUZIDA A PARTIR DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

PORTO VELHO - RO
2026

CAMILLY VICTORIA DA COSTA JACOME

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE AREIA ARTIFICIAL PRODUZIDA A PARTIR DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profª. Drª Valeria Costa de Oliveira.

PORTO VELHO - RO
2026

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Jacome, Camilly Victoria da Costa.

Análise da utilização de areia artificial produzida a partir de resíduos de rochas ornamentais em argamassas de revestimento

/ Camilly Victoria da Costa Jacome. - Porto Velho, 2026.
135 f.

Orientador(a): Profª. Dra. Valeria Costa de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Porto Velho, 2026.

1. Argamassa de revestimento. 2. Substituição parcial. 3. Agregado miúdo. 4. Propriedades mecânicas. I. Oliveira, Valeria Costa de (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Miria Santana Veiga, CRB-11/898

Camilly Victoria da Costa Jacome

Análise da utilização de areia artificial produzida a partir de resíduos de Rochas Ornamentais em argamassas de revestimento

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

APROVADO EM 17/11/2026 POR:

gov.br
Documento assinado digitalmente
VALERIA COSTA DE OLIVEIRA
Data: 25/11/2026 12:32:06-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Valeria Costa de Oliveira

(Orientadora)

gov.br
Documento assinado digitalmente
LIDIA BRUNA TELES GONZAGA
Data: 24/11/2026 20:30:59-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Lídia Bruna Teles Gonzaga

(Membro da Banca)

gov.br
Documento assinado digitalmente
RODRIGO CESAR PIEROZAN
Data: 24/11/2026 14:58:26-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Rodrigo Cesar Pierozan

(Membro da Banca)

Dedico este trabalho aos meus pais, que estiveram ao meu lado mesmo diante da distância física, fazendo-se presentes em cada etapa desta caminhada. Aos meus amigos, que permaneceram comigo desde o início, compartilhando desafios e conquistas.

Em especial, a mim mesma, por não ter desistido de mim, mesmo nos momentos mais difíceis. Por continuar, mesmo quando a dor da fibromialgia tornou o caminho mais pesado, e por encontrar forças para seguir, mesmo quando me sentia abalada.

Acredito que a educação ainda seja uma das maiores chaves para uma vida plena e para a transformação de realidades. Por isso, dedico também este trabalho a todos que acreditam no poder do ensino e que, com amor e dedicação, fazem da educação um caminho de oportunidades e possibilidades.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me permitir iniciar e concluir esta etapa tão importante da minha vida. Aos meus familiares, em especial aos meus pais, Marcilene da Costa Ferreira e Gilvan Jácome Ferreira, que, mesmo distantes fisicamente, sempre se fizeram presentes por meio do amor, do carinho e das palavras de incentivo. A eles, agradeço também por me ensinarem que o conhecimento é algo que ninguém pode nos tirar, pois tudo o que aprendemos nos acompanha e nos enriquece ao longo da vida. Agradeço por nunca me deixarem desanimar e por fazerem tudo o que estava ao alcance para tornar essa caminhada mais leve. Mesmo diante das dificuldades, sempre me encorajaram, acreditaram em mim e me deram forças para continuar, especialmente nos momentos em que eu já não encontrava forças em mim mesma.

Aos meus tios, Maria da Costa Ferreira e Francisco Rodrigues de Oliveira, e à sua família, agradeço pelo acolhimento e por terem me recebido de braços abertos, tornando possível minha adaptação a uma cidade nova e meu ingresso na graduação. O apoio de vocês foi fundamental para que essa jornada começasse.

À minha orientadora, Drª Valéria Costa de Oliveira, agradeço pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa sob sua orientação, pelos ensinamentos compartilhados e por contribuir para minha formação acadêmica e profissional. Sou grata por ter acompanhado o início da minha trajetória na pesquisa e por me permitir aprender ainda mais sobre a construção civil.

Aos amigos que a graduação em Engenharia Civil me presenteou, especialmente àqueles que estiveram comigo desde o primeiro dia e que levarei para além do curso: Letícia Toaldo dos Santos, Islane Ferreira Freires e Jefferson Benedito da Silva Lopes. Agradeço pela amizade, pelo companheirismo, pela parceria e pelo apoio nos momentos difíceis. Ao meu namorado, Douglas Fernandes da Silva Nogueira, agradeço por estar ao meu lado desde o início dessa caminhada, pelo incentivo e por todo o apoio ao longo dessa trajetória.

Um agradecimento especial à Letícia, novamente, e à Juliana Miranda Feitoza, que foram essenciais para a realização desta pesquisa. Juntas, compartilhamos desafios, ideias, aprendizados e experiências que contribuíram não apenas para o desenvolvimento deste trabalho, mas também para nossa formação e crescimento.

Aos técnicos, pesquisadores e demais colaboradores do Laboratório de Materiais de Construção, agradeço pela disponibilidade e pelo auxílio na preparação das amostras, na realização dos ensaios e no desenvolvimento desta pesquisa.

Chegar até aqui significa muito mais do que concluir uma graduação. Foram anos de mudanças, desafios, renúncias e momentos em que continuar exigiu mais força do que eu imaginava ter. Por isso, levo comigo não apenas o conhecimento adquirido ao longo desses anos, mas também as pessoas que tornaram essa caminhada possível e as lembranças de tudo o que vivemos.

Acredito que a gratidão seja um dos sentimentos mais bonitos que podemos cultivar, pois é tão especial para quem a sente quanto para quem a recebe. Ela nos permite reconhecer o valor de cada gesto, de cada apoio e de cada pessoa que, de alguma forma, contribuiu para chegarmos até aqui. Esta conquista carrega um pouco de todos vocês e, por isso, encerro esta etapa com o coração cheio de gratidão por tudo o que vivi e por todos que fizeram parte dessa história.

“Tudo quanto vive, vive porque muda.”

— Fernando Pessoa

RESUMO

O beneficiamento de rochas ornamentais, como mármores e granitos, gera resíduos provenientes das etapas de corte e processamento, cujo descarte inadequado pode ocasionar impactos ambientais. Nesse contexto, o aproveitamento desses materiais na construção civil apresenta-se como uma alternativa para reduzir seu descarte e ampliar as possibilidades de utilização de matérias-primas secundárias. Assim, este estudo avaliou a influência da substituição parcial do agregado miúdo natural por resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) na produção de argamassas de revestimento. Foram utilizados resíduos de três tipos de rochas provenientes de marmorarias de Porto Velho - RO: Verde Ubatuba (Amostra A), São Gabriel (Amostra B) e São Francisco (Amostra C), nos teores de substituição de 5%, 10% e 15%, além de uma mistura de referência. As argamassas foram avaliadas nos estados fresco e endurecido, por meio de ensaios de consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado, resistências à tração na flexão, à compressão e de aderência à tração, além da absorção de água por capilaridade. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey. A consistência e a absorção de água por capilaridade apresentaram interação significativa entre o tipo de resíduo e o teor de substituição, enquanto a densidade de massa e o teor de ar incorporado foram influenciados isoladamente por ambos os fatores. A resistência à tração na flexão variou em função do tipo de resíduo, com destaque para amostra A, enquanto a resistência à compressão foi influenciada pelo teor de substituição, apresentando médias superiores para 15% em relação a 10%. Quanto à absorção de água por capilaridade, a composição B5% apresentou a menor média, enquanto B15% registrou a maior. Para a resistência de aderência à tração, as composições A10%, B10% e C5% não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si. Os resultados indicam que o desempenho das argamassas depende do tipo de resíduo e do teor de substituição, apontando o potencial de utilização do RBRO como substituto parcial do agregado miúdo natural na produção de argamassas de revestimento.

Palavras-chave: argamassa de revestimento; Substituição parcial; agregado miúdo; propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The processing of ornamental stones, such as marble and granite, generates residues from cutting and processing operations, whose improper disposal may cause environmental impacts. In this context, the use of these materials in the construction industry represents an alternative for reducing waste disposal and expanding the possibilities for using secondary raw materials. Therefore, this study evaluated the influence of the partial replacement of natural fine aggregate with ornamental stone processing residue (OSPR) in the production of rendering mortars. Residue materials from three types of stones obtained from stone processing companies in Porto Velho - Rondônia, were used: Verde Ubatuba (Sample A), São Gabriel (Sample B), and São Francisco (Sample C), at replacement levels of 5%, 10%, and 15%, in addition to a reference mixture. The mortars were evaluated in both fresh and hardened states through tests of consistency, bulk density, air content, flexural tensile strength, compressive strength, tensile bond strength, and water absorption by capillarity. The results were subjected to analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test. Consistency and water absorption by capillarity showed a significant interaction between residue type and replacement level, whereas bulk density and air content were independently influenced by both factors. Flexural tensile strength varied according to the type of waste, with Sample A showing the best performance, while compressive strength was influenced by the replacement level, with higher mean values at 15% compared to 10%. Regarding water absorption by capillarity, mixture B5% presented the lowest mean value, whereas B15% recorded the highest. For tensile bond strength, mixtures A10%, B10%, and C5% showed no statistically significant differences among them. The results indicate that mortar performance depends on both the type of residue and the replacement level, highlighting the potential use of OSPR as a partial substitute for natural fine aggregate in the production of rendering mortars.

Keywords: rendering mortar; partial replacement; fine aggregate; mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Fluxograma do Programa Experimental.....37
Figura 02 – Etapas de preparação dos resíduos de rochas ornamentais.....40
Figura 03 – Coleta dos resíduos de corte de rochas ornamentais.....40
Figura 04 – Rochas ornamentais selecionadas para o estudo..... 41
Figura 05 – Processamento dos resíduos de rochas ornamentais..... 42
Figura 06 – Argamassadeira utilizada para a homogeneização dos materiais.....43
Figura 07 – Ensaio de índice de consistência da argamassa..... 44
Figura 08 – Moldes preenchidos pela argamassa para o ensaio.....44
Figura 09 – Moldes preenchidos com argamassa.....45
Figura 10 – Rompimento de corpos de prova..... 46
Figura 11 – Corpos de prova posicionados para o ensaio de capilaridade.....47
Figura 12 – Moldagem da argamassa sobre o substrato..... 48
Figura 13 – Ensaio de aderência à tração.....48
Figura 14 – Resíduos de rochas ornamentais após a cominuição.....52
Figura 15 – Curva Granulométrica das amostras.....53
Figura 16 – Resíduos de rochas ornamentais selecionados para a produção das argamassas..... 53
Figura 17 – Resultado dos ensaios de índice de consistência.....54
Figura 18 – Densidade de massa no estado fresco das argamassas.....56
Figura 19 – Teor de ar incorporado das argamassas.....57
Figura 20 – Relação da densidade de massa e teor de ar incorporado.....58
Figura 21 – Resultado dos ensaios de absorção de água por capilaridade.....59
Figura 22 – Resultado dos ensaios de resistência à tração na flexão..... 61
Figura 23 – Resultado dos ensaios de resistência à tração na flexão..... 62
Figura 24 – Resultado dos ensaios de resistência à tração na flexão por amostra.. 63
Figura 25 – Resultado dos ensaios de resistência à tração na flexão por teor de substituição.....63

Figura 26 – Resultado dos ensaios de resistência à compressão..... 67
Figura 27 – Resultado dos ensaios de resistência à compressão..... 68
Figura 28 – Resultado dos ensaios de resistência à compressão por amostra..... 69
Figura 29 – Resultado dos ensaios de compressão por teor de substituição..... 69
Figura 30 – Resultado da ductilidade (RTFm/RCm).....71
Figura 31 – Resultado dos ensaios de aderência à tração..... 73
Figura 32 – Tipos de ruptura observados nos ensaios de resistência de aderência à tração.....75
Figura 33 – Aspectos dos corpos de prova após o ensaio de resistência de aderência à tração.....76

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Características técnicas do aditivo plastificante..... 39

Tabela 02 – Coeficientes angulares..... 59

Tabela 03 – Resultado dos ensaios de tração na flexão (RTF e RTFm)..... 60

Tabela 04 – Resultado dos ensaios de resistência à compressão (RC e RCm)..... 65

Tabela 05 – Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão..... 72

Tabela 06 – Resultado dos ensaios de aderência à tração..... 75

Tabela 07 – Resultado do ensaio de índice de consistência das argamassas (mm).... 77

Tabela 08 – ANOVA do ensaio de índice de consistência das argamassas.....77

Tabela 09 – Síntese do ANOVA para o ensaio de consistência..... 78

Tabela 10 – Demonstrativo dos resultados do teste de Tukey para o ensaio de consistência..... 79

Tabela 11 – Agrupamento das médias do índice de consistência..... 80

Tabela 12 – Análise do ensaio de densidade..... 81

Tabela 13 – Síntese do ANOVA para o ensaio de densidade..... 81

Tabela 14 – Demonstrativo dos resultados do teste de Tukey para ensaio de densidade..... 82

Tabela 15 – Análise do ensaio de ar incorporado à mistura..... 83

Tabela 16 – Síntese do ANOVA para o ensaio de ar incorporado à mistura..... 84

Tabela 17 – Demonstrativo dos resultados do teste de Tukey para ar incorporado.. 84

Tabela 18 – Análise do ensaio de absorção de água por capilaridade.....85

Tabela 19 – Síntese do ANOVA para o ensaio de absorção de água por capilaridade. 86

Tabela 20 – Agrupamento das médias da absorção por capilaridade pelo teste de Tukey..... 87

Tabela 21 – Análise do ensaio de resistência à tração na flexão..... 88

Tabela 22 – Síntese do ANOVA para o ensaio de resistência à tração na flexão..... 88

Tabela 23 – Demonstrativo dos resultados do teste de Tukey para o ensaio de

tração na flexão..... 89
Tabela 24 – Análise do ensaio de compressão..... 90
Tabela 25 – Síntese do ANOVA para o ensaio de compressão..... 91
Tabela 26 – Demonstrativo dos resultados do teste de Tukey para o ensaio de compressão..... 91
Tabela 27 – Análise do ensaio de aderência à tração..... 92
Tabela 28 – Síntese do ANOVA para o ensaio de aderência à tração..... 92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 16
2 OBJETIVOS..... 18
2.1 Objetivo Geral..... 18
2.2 Objetivos Específicos..... 18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 19
3.1 Resíduos sólidos..... 19
3.2 Resíduos de Rochas Ornamentais..... 21
3.2.1 Resíduos de Rochas Ornamentais como Agregado Alternativo..... 23
3.3 Propriedades das Argamassas de Revestimento..... 26
3.3.1 Propriedades das Argamassas no Estado Fresco..... 27
3.3.1.1 Trabalhabilidade das Argamassas..... 28
3.3.1.2 Consistência..... 29
3.3.1.3 Retenção de água..... 29
3.3.1.4 Densidade de massa e teor de ar incorporado..... 30
3.3.2 Propriedades das Argamassas no Estado Endurecido..... 31
3.3.2.1 Resistência à tração na flexão e resistência à compressão..... 31
3.3.2.2 Absorção de água por capilaridade..... 32
3.3.2.3 Resistência de aderência à tração..... 33
4 JUSTIFICATIVA..... 35
5 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO..... 37
5.1 Materiais..... 38
5.1.1 Coleta e preparo dos resíduos de Rochas Ornamentais..... 39
5.2 Métodos de Ensaios..... 42
5.3 Análise Estatística..... 49
5.3.1 Teste de Tukey..... 49
5.3.2 Tratamento da Referência..... 51
6 RESULTADOS..... 52

6.1 Caracterização granulométrica dos resíduos.....52
6.2 Índice de consistência..... 54
6.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado.....55
6.3 Absorção de água por capilaridade.....58
6.4 Ensaio de resistência à tração na flexão..... 60
6.5 Resistência à compressão..... 65
6.6 Resistência de aderência à tração.....71
6.7 Análise Estatística.....77
6.7.1 Índice de consistência..... 77
6.7.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado..... 80
6.7.3 Absorção de água por capilaridade.....85
6.7.4 Resistência à tração na flexão..... 87
6.7.5 Resistência à compressão..... 90
6.7.6 Resistência de aderência à tração..... 92
7 CONCLUSÃO..... 94
REFERÊNCIAS.....95
APÊNDICE..... 100

1 INTRODUÇÃO

A crescente geração de resíduos provenientes da indústria de rochas ornamentais representa um desafio ambiental, principalmente em razão das dificuldades relacionadas à sua destinação adequada. Durante as etapas de corte, acabamento e beneficiamento de mármores e granitos, são gerados grandes volumes de resíduos que, quando descartados irregularmente, podem ocasionar impactos ambientais, como a contaminação do solo, o assoreamento de corpos hídricos e a degradação dos ecossistemas. Apesar desses impactos, os materiais apresentam potencial de reaproveitamento, uma vez que são constituídos predominantemente por partículas minerais, o que possibilita investigar sua aplicação em diferentes setores, especialmente na construção civil (Moreira *et al.*, 2021).

Nesse contexto, a busca por alternativas de aproveitamento tem motivado pesquisas sobre a utilização de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) em matrizes cimentícias, especialmente como substitutos parciais de agregados naturais. Conforme discutido por John e Agopyan (2000), a reciclagem de resíduos na construção civil constitui uma estratégia para reduzir os impactos ambientais associados à exploração de recursos naturais e ao descarte de materiais. Estudos desenvolvidos por Leite *et al.* (2018), Leite (2019), Silva *et al.* (2019), Lopes (2020), Bahiense (2021), Macêdo (2025) e Soares *et al.* (2025) apontam possibilidades de utilização desses resíduos em materiais cimentícios, destacando a importância da caracterização de suas propriedades físicas, granulométricas e mineralógicas para compreender sua influência sobre o comportamento das misturas.

As características dos materiais incorporados e os percentuais de substituição empregados podem provocar alterações nas propriedades físicas e mecânicas das matrizes cimentícias. Nesse sentido, Erba (2022) e Macêdo (2021) demonstram que a inserção parcial de subprodutos industriais pode modificar o comportamento das misturas, enquanto Silva Montenegro (2025) destaca a influência de diferentes adições sobre o comportamento reológico e a resistência das argamassas. De forma complementar, Queiroz Júnior (2022) aponta que fatores como granulometria, teor de substituição e características físicas dos materiais incorporados influenciam propriedades relacionadas à trabalhabilidade, à absorção de água e à resistência

mecânica. Esses aspectos evidenciam a necessidade de avaliações experimentais para identificar os efeitos da substituição e verificar o desempenho dos materiais produzidos.

Entre as possíveis aplicações, destacam-se as argamassas de revestimento, que desempenham funções de proteção do sistema de vedação, regularização das superfícies e acabamento das edificações. Para atender a essas finalidades, devem apresentar características adequadas tanto no estado fresco, como consistência, trabalhabilidade e retenção de água, quanto no estado endurecido, a exemplo da resistência mecânica, absorção de água e aderência ao substrato. O atendimento aos requisitos técnicos aplicáveis é fundamental para assegurar a funcionalidade e a durabilidade dos revestimentos, reduzindo a ocorrência de falhas e manifestações patológicas ao longo de sua vida útil (Bauer, 2013).

Diante desse cenário, a presente pesquisa apresenta relevância ambiental e técnica ao investigar resíduos provenientes de marmorarias de Porto Velho, Rondônia, considerando a disponibilidade local desses materiais e sua possível aplicação na produção de argamassas de revestimento. A avaliação de diferentes tipos de rochas ornamentais e percentuais de substituição do agregado miúdo natural permite analisar as alterações provocadas nas propriedades das misturas, contribuindo para ampliar o conhecimento sobre o comportamento desses materiais em aplicações na construção civil.

Assim, a problemática deste estudo é sintetizada na seguinte questão de pesquisa: como diferentes tipos de resíduos de rochas ornamentais e percentuais de substituição do agregado miúdo natural influenciam as propriedades das argamassas de revestimento e seu potencial de aplicação na construção civil?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a influência da substituição parcial do agregado miúdo natural por resíduos de rochas ornamentais nas propriedades das argamassas de revestimento, nos estados fresco e endurecido.

2.2 Objetivos Específicos

- Processar e classificar granulometricamente resíduos de diferentes tipos de rochas ornamentais, visando à obtenção de agregados miúdos para utilização na produção de argamassas de revestimento;
- Caracterizar as propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido, considerando diferentes tipos de rochas ornamentais e teores de substituição do agregado miúdo natural;
- Analisar e comparar estatisticamente os resultados obtidos por meio da Análise de Variância (ANOVA) e do teste de comparação múltipla de Tukey, a fim de identificar a influência do tipo de resíduo e do teor de substituição nas propriedades das argamassas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais foram discutidos com base em suas características, formas de geração e impactos ambientais associados ao descarte inadequado. Além disso, foi analisado seu potencial de reaproveitamento na construção civil, especialmente em matrizes cimentícias, com ênfase na aplicação em argamassas de revestimento e na avaliação de sua contribuição ao desempenho mecânico das misturas. Essa abordagem permitiu compreender a utilidade desses resíduos como alternativa sustentável para reduzir o consumo de recursos naturais e minimizar a disposição inadequada de materiais descartados.

3.1 Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos são materiais descartados provenientes das atividades humanas, que podem apresentar diferentes características físicas e químicas, além de graus distintos de periculosidade. O aumento da geração de resíduos está diretamente relacionado ao crescimento populacional, ao consumo excessivo de recursos naturais e ao desenvolvimento das atividades industriais e urbanas (Pereira, 2019).

De acordo com Sisinno e Oliveira (2000), o descarte inadequado de resíduos sólidos pode provocar impactos ambientais e riscos à saúde pública, como contaminação do solo, da água e proliferação de agentes transmissores de doenças. Nesse contexto, torna-se necessária a adoção de práticas voltadas ao gerenciamento, à reutilização e à destinação adequada desses materiais.

A gestão adequada dos resíduos sólidos, portanto, configura-se como uma importante necessidade ambiental e social, envolvendo ações de redução, reutilização, reciclagem e destinação final adequada dos materiais descartados. Tais práticas contribuem para a preservação dos recursos naturais e para a redução dos impactos ambientais decorrentes do acúmulo de resíduos (Pereira, 2019).

No Brasil, a gestão dos resíduos sólidos é orientada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305/2010, que estabelece princípios voltados à não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos. Nesse sentido, o reaproveitamento de resíduos industriais e da construção civil apresenta-se como uma estratégia

importante para reduzir impactos ambientais e ampliar o ciclo de vida dos materiais descartados (BRASIL, 2010).

A construção civil é uma das atividades que mais consomem recursos naturais e, consequentemente, uma das maiores geradoras de resíduos sólidos. Esses resíduos provêm de diferentes etapas das obras, como construção, reformas, demolições e processos de acabamento. Segundo Nagalli (2016), a elevada geração de resíduos no setor está relacionada tanto às perdas de materiais quanto à falta de planejamento e controle durante a execução das atividades construtivas.

Os resíduos da construção civil (RCC) apresentam composição heterogênea e são formados principalmente por concreto, argamassa, cerâmica, madeira, metais e solos provenientes de escavações. Segundo a Resolução nº 307 do CONAMA (2002), esses resíduos representam uma parcela significativa da massa sólida urbana, e sua gestão inadequada é um fator determinante para a degradação da qualidade ambiental. Quando descartados de forma inadequada, esses resíduos podem causar impactos ambientais significativos, como a obstrução de vias públicas, o assoreamento de corpos hídricos e a degradação de áreas urbanas (Mesquita, 2012).

Camilo *et al.* (2022) destacam que o crescimento acelerado do setor tem intensificado os problemas relacionados à gestão de resíduos, exigindo medidas que favoreçam o reaproveitamento de materiais e a minimização dos impactos ambientais. Nesse sentido, o gerenciamento adequado desses resíduos contribui para minimizar impactos ambientais e promover maior eficiência no uso dos recursos naturais. A gestão eficiente dos resíduos sólidos na construção civil possibilita benefícios ambientais, econômicos e sociais, reduzindo desperdícios e incentivando práticas mais sustentáveis no setor (Coelho *et al.*, 2018).

O reaproveitamento de RCC consiste na reutilização de materiais descartados em novas aplicações construtivas, reduzindo a necessidade de extração de matérias-primas naturais. Essa prática tem sido incentivada como alternativa para promover maior sustentabilidade no setor, especialmente diante do elevado consumo de recursos naturais pela indústria da construção. Segundo Lacorte (2013), o aproveitamento de resíduos contribui para a redução dos custos de produção e para o desenvolvimento de materiais alternativos.

Os resíduos recicláveis podem passar por processos de separação, britagem e classificação granulométrica, o que permite sua utilização em diferentes produtos

construtivos (Fernandez, 2012). Entre as aplicações mais comuns estão a produção de agregados reciclados para aplicação em pavimentação, blocos e materiais cimentícios. O autor destaca, ainda, que o reaproveitamento adequado depende das características físicas e químicas dos resíduos utilizados.

A reciclagem de resíduos representa uma importante estratégia para aumentar a eficiência produtiva da construção civil, além de reduzir perdas de materiais durante as obras. Diante disso, o uso de resíduos reciclados também favorece práticas relacionadas à economia circular, ampliando o ciclo de vida dos materiais empregados no setor (John e Agopyan, 2000).

Além dos benefícios ambientais, a reutilização de resíduos pode contribuir para maior eficiência produtiva e redução de custos na construção civil, ampliando o aproveitamento de materiais anteriormente descartados. Conforme Gerolli, Florian e De Marco (2021), a inserção de materiais reciclados nas obras contribui para reduzir a dependência de matérias-primas naturais e ampliar alternativas sustentáveis no setor da construção.

3.2 Resíduos de Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais são materiais naturais extraídos de jazidas minerais e utilizados principalmente para fins de revestimento, acabamento e decoração na construção civil. Entre os tipos mais utilizados destacam-se granitos, mármores, quartzitos e ardósias, empregados em pisos, fachadas, bancadas e elementos arquitetônicos. Segundo Mendes, Lima e Marques (2014), essas rochas possuem elevado valor comercial devido às suas características estéticas, resistência mecânica e durabilidade.

O setor de rochas ornamentais possui grande relevância econômica no Brasil, tanto pela ampla utilização dos materiais quanto pela geração de empregos e movimentação do mercado da construção civil. O beneficiamento dessas rochas envolve processos como extração, corte, serragem, polimento e acabamento, etapas responsáveis pela transformação da matéria-prima em produtos destinados ao mercado consumidor (Leite, 2018).

O Brasil apresenta grande diversidade geológica, favorecendo a exploração de diferentes tipos de rochas ornamentais em várias regiões do país. Essa variedade contribui para o desenvolvimento do setor e para o crescimento das atividades relacionadas à extração e beneficiamento mineral (Moreira *et al.* 2021).

No estado de Rondônia, o levantamento mais abrangente sobre o setor de rochas ornamentais foi realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), por meio de informe técnico publicado em 2015. O estudo reuniu informações obtidas em campanhas de campo realizadas entre 2009 e 2011, além de dados provenientes de órgãos oficiais, como o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e o antigo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) (Iza; Mendes, 2015).

Segundo Iza e Mendes (2015), Rondônia apresenta ocorrência de materiais com potencial ornamental em municípios como Ariquemes, Jaru, Ouro Preto do Oeste, Ji-Paraná e Porto Velho, indicando disponibilidade significativa de matéria-prima e perspectivas de expansão do setor. Entretanto, grande parte da exploração dessas rochas ainda está voltada ao mercado interno e ao uso como agregado na construção civil, evidenciando limitações tecnológicas e estruturais relacionadas ao aproveitamento ornamental desses materiais.

Os resíduos de rochas ornamentais são gerados principalmente durante as etapas de extração, corte, serragem, polimento e acabamento das rochas. Esses processos provocam perdas significativas de material, resultando na geração de resíduos sólidos com diferentes granulometrias. Segundo Mendes, Lima e Marques (2014), parte considerável da matéria-prima extraída é descartada durante o beneficiamento, o que representa desperdício de recursos naturais e aumento dos impactos ambientais.

Os resíduos são compostos predominantemente por partículas minerais oriundas de mármores e granitos, com potencial de reaproveitamento em diversas aplicações (Moreira *et al.,* 2021). Entretanto, o descarte inadequado desses materiais pode causar problemas ambientais, como assoreamento de corpos hídricos, poluição do solo e acúmulo de resíduos em áreas abertas.

Além dos impactos ambientais, a elevada geração desses resíduos também está relacionada às limitações técnicas dos processos de beneficiamento das rochas. O setor ainda apresenta desafios relacionados à eficiência produtiva e ao aproveitamento adequado dos materiais descartados, especialmente em regiões com menor desenvolvimento tecnológico (Iza e Mendes, 2015)

3.2.1 Resíduos de Rochas Ornamentais como Agregado Alternativo

A partir disso, diferentes pesquisas vêm avaliando formas de incorporar esses resíduos a materiais construtivos, buscando ampliar seu aproveitamento e reduzir os impactos associados ao descarte industrial. Almeida *et al.* (2023) destacam que esses materiais possuem potencial para utilização em produtos da construção civil, contribuindo para a redução do descarte inadequado e para o uso mais racional dos recursos naturais.

O uso de resíduos de rochas ornamentais na construção civil tem sido estudado como alternativa para a incorporação de materiais reciclados em diferentes produtos construtivos. Esses resíduos podem ser utilizados como substitutos parciais de agregados naturais em concretos, argamassas, blocos e pavimentação, contribuindo para a redução do consumo de matérias-primas convencionais.

Segundo Vinco *et al.* (2017), a incorporação de RBRO em argamassas de revestimento pode apresentar resultados satisfatórios quanto ao desempenho técnico e à viabilidade econômica, desde que sejam realizados controles adequados de dosagem e granulometria. Da mesma forma, Macêdo (2025) destaca que os resíduos provenientes do corte de mármore e granito apresentam potencial para utilização em materiais cimentícios devido às suas características físicas e minerais.

Assunção, Carvalho e Barata (2007) observaram que a utilização de resíduos minerais em argamassas pode contribuir para a melhoria de determinadas propriedades físicas e mecânicas, além de reduzir impactos ambientais relacionados ao descarte inadequado desses materiais. Em consonância com esses resultados, Guacelli (2024) verificou que materiais alternativos oriundos de britagem mineral podem apresentar comportamento compatível com aplicações em revestimentos argamassados.

O reaproveitamento de resíduos de rochas ornamentais em materiais cimentícios tem sido investigado como alternativa para reduzir os impactos ambientais e ampliar o uso de materiais reciclados, que outrora seriam descartados, na construção civil. Esses resíduos, provenientes de processos de corte, acabamento e beneficiamento de mármores e granitos, podem ser processados e classificados granulometricamente para utilização em argamassas, concretos e outros produtos construtivos (Campos *et al.*, 2009).

Silva *et al.* (2019) analisaram argamassas de cimento Portland produzidas com diferentes teores de substituição da areia por RBRO, observando que baixos percentuais de incorporação (10% e 20%) proporcionaram comportamento satisfatório no estado fresco e desempenho mecânico compatível com aplicações em revestimentos. Os autores destacam, ainda, que a presença de partículas finas provenientes dos resíduos influenciou diretamente a retenção de água e a homogeneidade, ressaltando que o teor de 10% proporcionou maior resistência à compressão e menor absorção de água, enquanto a substituição de até 20% apresentou comportamento capilar semelhante ao da argamassa de referência.

Lopes (2020) também verificou alterações na trabalhabilidade e na consistência das argamassas produzidas com resíduos de rochas ornamentais. Segundo o estudo, a elevada finura das partículas incorporadas influenciou diretamente o comportamento reológico das misturas, modificando sua fluidez e coesão. Apesar das modificações nas propriedades no estado fresco, os resultados indicaram potencial de utilização do material como substituto parcial do agregado miúdo.

Bahiense (2021), ao estudar dosagem, propriedades mecânicas e durabilidade de argamassas incorporadas com resíduos de rochas ornamentais e argilominerais, verificou que determinados teores de substituição, especificamente os traços de 1:1:5, 1:1:6 e 1:1:7 (em massa de cimento:resíduo+argila:areia) otimizados pelo modelo de empacotamento de Alfred (q = 0,45), contribuíram para a melhoria da compacidade da matriz cimentícia e para a redução da porosidade. Segundo o autor, o efeito filler, promovido pelas partículas finas, favoreceu o preenchimento dos vazios internos da argamassa, o que influenciou positivamente as propriedades de resistência mecânica e de durabilidade do material.

O efeito filler corresponde ao preenchimento dos vazios existentes entre partículas maiores por materiais minerais finos, promovendo maior empacotamento da matriz cimentícia. Esse fenômeno tende a reduzir a porosidade interna e favorecer propriedades relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade. Entretanto, o excesso de finos pode aumentar a demanda de água da mistura e comprometer sua trabalhabilidade (Bahiense, 2021).

No contexto da sustentabilidade, Leite *et al.* (2018) e Leite (2019) investigaram o potencial de utilização dos resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais em argamassas, sob a perspectiva da análise do ciclo de vida (ACV) do

tipo *cradle-to-gate* (do berço ao portão), que mede o impacto ambiental de um produto desde a extração da matéria-prima até a saída da fábrica. Os estudos demonstraram que a incorporação desses resíduos, nos teores de 10%, 20% e 30%, contribui para a redução dos impactos ambientais em 9 das 11 categorias avaliadas, com destaque para a menor depleção de recursos minerais e fósseis. Constatou-se que, quanto maior a quantidade de resíduo incorporada, menores são os impactos potenciais, sendo o teor de substituição de 30% por resíduo de polimento apontado como o cenário ambientalmente mais adequado.

Complementando essa discussão, Ghirardi *et al.* (2019), em revisão sistemática sobre resíduos da indústria de rochas ornamentais em matrizes cimentícias, verificaram que a maior parte das pesquisas aponta resultados promissores para substituições parciais de agregados naturais, principalmente em baixos teores de incorporação. Os autores ressaltam, contudo, que o desempenho das argamassas depende diretamente das características mineralógicas dos resíduos, da granulometria e do controle adequado da dosagem.

Neto *et al.* (2023) realizaram análises de resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais do Seridó Potiguar, identificando predominância de partículas finas com potencial de aplicação em matrizes cimentícias. Os autores observaram que características como granulometria e composição mineralógica influenciam propriedades relacionadas à compacidade, trabalhabilidade e resistência mecânica das argamassas.

Pesquisas mais recentes, como as de Soares et al. (2025), reforçam a viabilidade técnica da utilização de resíduos de rochas ornamentais em argamassas ao avaliarem a substituição parcial do cimento nos teores de 5%, 15% e 25%, demonstrando que a dosagem de 5% é a mais eficiente por manter a consistência esperada (210 mm) e atingir resistência à compressão superior a 24 MPa aos 28 dias. No mesmo sentido, Xavier (2025) investigou substituições de 15%, 25% e 35% por resíduo de mármore branco dolomítico, concluindo que o percentual de 25% é o ideal para otimizar o empacotamento granular e a microestrutura por meio do efeito filler, o que resultou em ganhos de resistência de 48% aos 7 dias e 15% aos 28 dias em relação ao traço de referência.

Dessa forma, os estudos demonstram que a utilização de resíduos de rochas ornamentais em argamassas deve ser analisada de forma experimental, considerando o tipo de resíduo, o processamento adotado e o percentual de

substituição, para garantir desempenho compatível com os requisitos normativos aplicáveis às argamassas.

3.3 Propriedades das Argamassas de Revestimento

As argamassas de revestimento são utilizadas na regularização, proteção e acabamento de superfícies internas e externas das edificações. Além do aspecto estético, esses revestimentos contribuem para a durabilidade das vedações, proteção contra infiltrações e melhoria do desempenho térmico e acústico. Conforme a NBR 15575-4 (ABNT, 2021), os sistemas de vedação devem atender a requisitos mínimos relacionados à segurança, estanqueidade, durabilidade e desempenho em uso.

A NBR 13281-1 (ABNT, 2023) estabelece os requisitos para argamassas destinadas ao assentamento e revestimento de paredes e tetos, servindo como referência para a avaliação do desempenho desses materiais. Dessa forma, argamassas produzidas com substituição parcial de agregados naturais por resíduos devem ser analisadas quanto ao atendimento aos parâmetros normativos, a fim de garantir sua aplicabilidade técnica e sua durabilidade em sistemas de revestimento.

Segundo Carasek (2010), as argamassas são compostas basicamente por aglomerantes, agregados miúdos, água e, em alguns casos, aditivos e adições minerais. A escolha e proporção desses materiais condicionam o comportamento da argamassa tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

A consistência e a retenção de água são propriedades importantes para o desempenho das argamassas durante a execução do revestimento. A NBR 13276 (ABNT, 2016) estabelece os procedimentos para avaliação da consistência, enquanto a NBR 13277 (ABNT, 2005) define os métodos relacionados à retenção de água. Essas propriedades estão associadas à trabalhabilidade, à aderência ao substrato e à qualidade final do revestimento (Bauer, Sousa e Guimarães, 2005).

Além das propriedades relacionadas à aplicação da argamassa, Bauer, Sousa e Guimarães (2005) ressaltam que o comportamento do material após o endurecimento também é fundamental para garantir o desempenho e a durabilidade dos revestimentos. No estado endurecido, as argamassas devem apresentar resistência mecânica adequada e baixa permeabilidade, garantindo maior durabilidade ao sistema construtivo. A NBR 13279 (ABNT, 2005) estabelece os ensaios para determinação da resistência mecânica, enquanto a NBR 15259 (ABNT,

2005) avalia a absorção capilar das argamassas. Salomão (2016) ressalta que a estrutura porosa do material influencia diretamente o transporte de água e a durabilidade dos revestimentos.

Quando se fala de desempenho das argamassas, outro fator a considerar é o módulo de elasticidade. Mayer e De Mello (2023) afirmam que argamassas com comportamento mais compatível com as deformações da base apresentam menor tendência ao surgimento de fissuras e manifestações patológicas.

Diante da possibilidade de utilização de resíduos de rochas ornamentais em materiais cimentícios, torna-se importante compreender as propriedades das argamassas de revestimento, uma vez que alterações na composição podem influenciar diretamente o desempenho desses materiais. Segundo Macêdo (2025), a incorporação de resíduos minerais pode modificar características físicas e mecânicas das argamassas, exigindo avaliação adequada de suas propriedades. Dessa forma, a análise dessas características torna-se fundamental para verificar a viabilidade da incorporação de resíduos em revestimentos, garantindo desempenho compatível com os requisitos normativos.

3.3.1 Propriedades das Argamassas no Estado Fresco

As propriedades das argamassas no estado fresco são fundamentais para garantir adequada aplicação, aderência e qualidade dos revestimentos. Essas características estão relacionadas ao comportamento da argamassa logo após sua mistura, influenciando diretamente a trabalhabilidade, consistência e retenção de água durante a execução.

Segundo Carasek (2010), o desempenho das argamassas depende da composição dos materiais utilizados e do controle da dosagem. Conforme Bauer, Sousa e Guimarães (2005), o adequado controle dessas propriedades contribui para melhorar a aplicação da argamassa e aumentar a durabilidade dos revestimentos.

Queiroz Júnior (2022) e Macêdo (2021) demonstram que a incorporação de materiais alternativos pode modificar significativamente o comportamento das argamassas no estado fresco. Queiroz Júnior (2022), ao avaliar argamassas produzidas com resíduos provenientes do corte de rochas ornamentais, observou mudanças na trabalhabilidade e na retenção de água, indicando que as características físicas do resíduo incorporado interferem nas condições de aplicação do revestimento.

Resultados semelhantes foram verificados por Macêdo (2021), que identificou mudanças nas propriedades físicas das argamassas produzidas com substituição parcial do agregado natural por resíduos minerais.

3.3.1.1 Trabalhabilidade das Argamassas

A trabalhabilidade corresponde à capacidade da argamassa de ser facilmente misturada, transportada, aplicada e acabada, sem apresentar segregação dos materiais. Essa característica é essencial durante a execução dos revestimentos, pois interfere diretamente na produtividade e na uniformidade da aplicação.

As propriedades das argamassas no estado fresco exercem influência significativa na qualidade e no comportamento dos revestimentos durante a execução. Diversos fatores podem influenciar a trabalhabilidade das argamassas, entre eles, a relação água/aglomerante, a granulometria dos agregados e o uso de aditivos (Bauer *et al.,* 2013).

Conforme Maciel, Barros e Sabbatini (1998), a utilização de aditivos plastificantes e incorporadores de ar pode melhorar a plasticidade e facilitar o manuseio durante a aplicação.

A análise da trabalhabilidade normalmente está associada ao ensaio de índice de consistência, que permite avaliar o espalhamento da argamassa. Bauer, Sousa e Guimarães (2005) destacam que o controle dessas propriedades é importante para garantir melhor coesão e adequada aplicação do revestimento.

Queiroz Júnior (2022) verificou aumento da plasticidade em baixos teores de substituição, favorecendo a aplicação do revestimento. Entretanto, o autor observou que o aumento excessivo (teor de 20%) da incorporação de resíduos reduziu a fluidez, devido à maior presença de partículas finas. Em seu estudo, ele estabeleceu o limite de 15%, pois observou que, nesse patamar, a mistura já apresentava alta plasticidade e adesão às paredes da argamassadeira. Resultados semelhantes foram identificados por Soares *et al.* (2025), que observaram que, embora a consistência em teores de 25% apresente pouca variação, o desempenho mecânico é progressivamente prejudicado, registrando-se as menores resistências à compressão nessa dosagem máxima.

3.3.1.2 Consistência

A consistência corresponde à capacidade de deformação e espalhamento da argamassa durante sua aplicação, influenciando diretamente a estabilidade e a homogeneidade do revestimento. Essa propriedade depende da quantidade de água presente na argamassa e das características físicas dos materiais utilizados na composição (Bauer; Sousa; Guimarães, 2005)

A determinação da consistência é realizada conforme a NBR 13276 (ABNT, 2016), por meio do ensaio de espalhamento em mesa de consistência. Segundo Rodrigues Filho (2013), a consistência adequada é importante para garantir melhores condições de aplicação e reduzir problemas relacionados à segregação e exsudação.

Erba (2022) destaca que materiais provenientes de britagem podem modificar o espalhamento e a coesão das argamassas devido às características físicas das partículas incorporadas. O autor verificou ainda que a ausência de controle granulométrico pode comprometer a estabilidade e a homogeneidade.

Resultados semelhantes foram identificados por Guacelli (2024), que constatou alterações na fluidez das argamassas produzidas com agregados britados de rochas basálticas. Apesar da redução da consistência em alguns traços, o estudo demonstrou que ajustes na dosagem possibilitaram manter condições adequadas de aplicação e desempenho no estado fresco.

3.3.1.3 Retenção de água

A retenção de água corresponde à capacidade da argamassa de manter parte da água de amassamento durante sua aplicação, reduzindo a perda de água para o substrato e para o ambiente. Essa propriedade possui grande importância no desempenho dos revestimentos, pois influencia diretamente a hidratação do cimento, a aderência da argamassa e o tempo disponível para aplicação e acabamento (Maciel, Barros e Sabbatini, 1998).

Segundo Maciel, Barros e Sabbatini (1998), argamassas com baixa retenção de água tendem a perder plasticidade rapidamente, dificultando a execução do revestimento e favorecendo o surgimento de fissuras e falhas de aderência. Além disso, a perda excessiva de água pode comprometer o processo de hidratação dos

aglomerantes, reduzindo o desempenho mecânico da argamassa após o endurecimento.

A avaliação da retenção de água é realizada conforme a NBR 13277 (ABNT, 2005), sendo essa propriedade influenciada pela composição, pelo teor de materiais finos e pelas características dos agregados utilizados. Bauer, Sousa e Guimarães (2005) destacam que argamassas com retenção adequada de água apresentam melhor estabilidade e comportamento durante a aplicação.

Vinco *et al.* (2017) verificaram que argamassas produzidas com resíduos de rochas ornamentais apresentaram aumento na retenção de água em relação às feitas com agregados convencionais, comportamento associado à presença de partículas finas provenientes do beneficiamento das rochas. Os autores destacam que essa condição favoreceu a manutenção da plasticidade durante a aplicação, contribuindo para melhor trabalhabilidade.

Comportamentos semelhantes foram observados por Macêdo (2025), que identificou melhora na retenção de água em argamassas contendo resíduos de mármore e granito. Entretanto, o autor ressalta que elevados teores de substituição podem aumentar excessivamente a demanda de água, interferindo em propriedades mecânicas após o endurecimento.

3.3.1.4 Densidade de massa e teor de ar incorporado

A densidade de massa no estado fresco corresponde à relação entre a massa e o volume da argamassa, sendo influenciada pela composição, pelo tipo de agregados utilizados e pela quantidade de ar presente no material. O teor de ar incorporado está relacionado à presença de vazios no interior da argamassa, afetando diretamente propriedades como plasticidade, coesão e trabalhabilidade (Rodrigues Filho, 2013).

A determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado em argamassas no estado fresco é realizada conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005). Segundo Bauer *et al.* (2015), o teor de ar incorporado exerce influência significativa no comportamento das argamassas, podendo favorecer a plasticidade e facilitar a aplicação quando presente em quantidades adequadas. Entretanto, valores elevados podem aumentar a porosidade e reduzir a resistência mecânica do material após o endurecimento.

Em estudos realizados por De Assunção, Carvalho e Barata (2007), argamassas produzidas com materiais alternativos apresentaram redução da densidade de massa em comparação às composições convencionais, indicando aumento da presença de vazios na estrutura do material. Apesar disso, os autores observaram melhora na trabalhabilidade das argamassas, favorecendo a aplicação do revestimento.

Queiroz Júnior (2022) verificou alterações no teor de ar incorporado em argamassas produzidas com resíduos de rochas ornamentais. O autor destaca que o aumento do teor de finos presentes nos resíduos contribuiu para mudanças nas propriedades no estado fresco, promovendo maior plasticidade.

3.3.2 Propriedades das Argamassas no Estado Endurecido

As propriedades das argamassas no estado endurecido estão relacionadas ao desempenho do revestimento após o processo de hidratação dos materiais cimentícios. Essas características influenciam a durabilidade, resistência mecânica e comportamento do material ao longo de sua vida útil (Carasek, 2010). Entre os principais parâmetros avaliados, destacam-se a densidade de massa, resistência à tração na flexão, resistência à compressão, absorção de água por capilaridade e resistência de aderência à tração.

3.3.2.1 Resistência à tração na flexão e resistência à compressão

As argamassas apresentam diversas propriedades mecânicas importantes para avaliação do desempenho dos revestimentos no estado endurecido. Entre essas propriedades destacam-se a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão, amplamente utilizadas para análise do comportamento mecânico das argamassas frente às solicitações atuantes durante sua vida útil.

A determinação dessas propriedades é realizada conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 13279 (ABNT, 2005), que define os critérios para execução dos ensaios mecânicos em argamassas endurecidas. Segundo Bauer *et al.* (2015), fatores como relação água/cimento, granulometria dos agregados, teor de finos, condições de cura e estrutura porosa da matriz cimentícia exercem influência significativa sobre o desempenho mecânico das argamassas.

A resistência à tração na flexão está relacionada à capacidade da argamassa de suportar deformações antes da ruptura, influenciando diretamente o

comportamento do revestimento quanto ao surgimento de fissuras. Conforme Veiga (1998), materiais com maior capacidade de deformação tendem a apresentar comportamento mais dúctil, favorecendo a absorção de tensões sem ocorrência imediata de ruptura.

Já a resistência à compressão está associada à capacidade do material de resistir a esforços compressivos, sendo um dos principais parâmetros utilizados para avaliação da qualidade mecânica das argamassas. Segundo Carasek (2010), o desempenho mecânico das argamassas endurecidas está diretamente relacionado à compacidade da matriz cimentícia e à presença de vazios internos no material.

Em estudos envolvendo resíduos de rochas ornamentais, Bahiense (2021) observou que baixos teores de substituição favoreceram o empacotamento das partículas devido ao efeito filler promovido pelos finos minerais, contribuindo para a redução da porosidade e melhoria das propriedades mecânicas. Resultados semelhantes foram identificados por Xavier (2025) e Soares *et al.* (2025), que verificaram desempenho satisfatório em argamassas produzidas com resíduos minerais quando empregados teores controlados de incorporação.

3.3.2.2 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade é uma importante propriedade das argamassas no estado endurecido, estando relacionada à capacidade do material de absorver água por meio de seus poros. Segundo Salomão (2016), esse fenômeno ocorre devido à presença e à conectividade dos vazios existentes na matriz cimentícia, influenciando diretamente a durabilidade e o desempenho dos revestimentos.

Para determinação da absorção de água por capilaridade em argamassas endurecidas, a NBR 15259 (ABNT, 2005) estabelece os procedimentos para execução dos ensaios e obtenção dos resultados. Materiais com elevada porosidade tendem a apresentar maior transporte de água em seu interior, favorecendo o surgimento de manifestações patológicas, como eflorescências, fissuras e destacamentos (Bauer *et al.*,2015).

Vinco *et al.* (2017) verificaram que a adição de partículas finas (em teores de 50%, 100% e 150% do volume de cimento) aprimorou as propriedades físicas das argamassas. Esse desempenho é atribuído ao efeito filler, que favorece a colmatação (preenchimento) de vazios, reduzindo a porosidade e elevando a

retenção de água. Comportamento semelhante foi observado por Bahiense (2021), que realizou a substituição integral da cal hidratada por uma mistura de resíduo e argilominerais (proporção 1:1 em massa relativa ao cimento). O autor associa a menor absorção ao empacotamento otimizado de partículas e à consequente redução da porosidade matricial.

Em contrapartida, Queiroz Júnior (2022) adverte que a substituição parcial da areia natural (agregado miúdo), especificamente nos teores de 10% e 15%, pode elevar os índices de vazios e a absorção. O autor atribui esse comportamento à natureza porosa da calcita presente no resíduo e ao aumento da demanda de água de amassamento para envolver os finos, cuja posterior evaporação amplia a rede de poros. No mesmo sentido, Soares *et al.* (2025) investigaram a substituição parcial do cimento (de 5% a 25%) por resíduos de rochas ornamentais e destacaram que a elevada quantidade de finos altera significativamente o comportamento físico, resultando em uma tendência de aumento da porosidade e redução progressiva da resistência à compressão à medida que o percentual de resíduo é incrementado.

Dessa forma, os estudos demonstram que a incorporação de resíduos de rochas ornamentais pode influenciar significativamente a absorção de água das argamassas, podendo contribuir tanto para redução quanto para aumento dessa propriedade, dependendo das características dos resíduos e dos teores de substituição empregados.

3.3.2.3 Resistência de aderência à tração

A resistência de aderência à tração avalia a capacidade do revestimento argamassado de permanecer aderido ao substrato quando submetido a esforços perpendiculares à superfície. Essa propriedade é importante para verificar o desempenho do revestimento, pois falhas de aderência podem comprometer sua durabilidade e ocasionar destacamentos.

No caso das argamassas com substituição parcial do agregado miúdo por resíduos de rochas ornamentais, esse ensaio permite analisar se as alterações na granulometria, na retenção de água e na compacidade da mistura interferem na fixação da argamassa à base, considerando que essas propriedades já são apontadas no estudo como relacionadas à aderência e ao desempenho do revestimento (Bauer, Sousa e Guimarães, 2005).

A determinação da resistência de aderência deve seguir a NBR 15258 (ABNT, 2021), referente à resistência potencial de aderência à tração de argamassas para revestimento, a NBR 13528-1 (ABNT, 2019) e a NBR 13528-2 (ABNT, 2019), que estabelecem os requisitos gerais do ensaio e o procedimento para avaliação da aderência ao substrato.

4 JUSTIFICATIVA

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade de ampliar alternativas para o aproveitamento de resíduos gerados por marmorarias, especialmente sobras de placas e fragmentos provenientes dos processos de corte e acabamento de rochas ornamentais.

Esses materiais, embora possuam origem mineral e potencial de reaproveitamento, muitas vezes são descartados sem processamento ou classificação adequada, contribuindo para o acúmulo de resíduos e para impactos ambientais associados ao setor. De acordo com Vidal, Azevedo e Castro (2014), cerca de 40% do material obtido nas etapas de produção de rochas ornamentais pode ser perdido na forma de resíduos, o que evidencia a relevância de investigar novas formas de aproveitamento desses materiais.

No contexto da construção civil, a utilização desses resíduos torna-se relevante pela possibilidade de transformá-los, por meio de cominuição e classificação granulométrica, em material com características próximas às do agregado miúdo natural. Essa abordagem permite investigar uma alternativa à areia natural, material amplamente consumido na produção de argamassas de revestimento, contribuindo para a redução do consumo de recursos naturais e para o aproveitamento de materiais anteriormente descartados (John; Agopyan, 2000).

A escolha por avaliar a substituição parcial da areia em diferentes percentuais está relacionada à necessidade de compreender o comportamento das argamassas quando submetidas à incorporação gradual do resíduo cominuído. Essa análise é importante porque alterações na granulometria e na composição dos agregados podem interferir em propriedades como consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado, resistência mecânica e absorção de água por capilaridade.

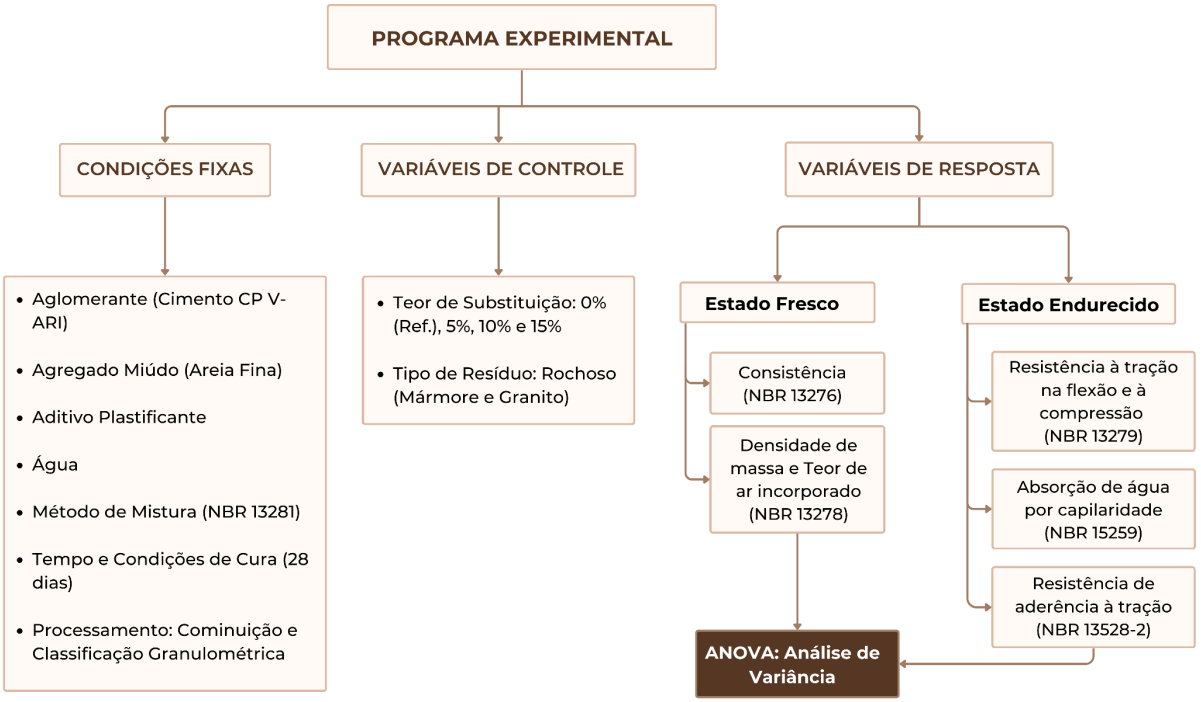
Além do aspecto ambiental, a pesquisa apresenta relevância técnica por avaliar resíduos disponíveis localmente e provenientes de marmorarias de Porto Velho - RO. Considerando que a disponibilidade de insumos convencionais pode variar conforme a região, o aproveitamento de resíduos minerais pode representar uma alternativa complementar para a produção de argamassas, desde que seu desempenho seja devidamente verificado por meio de ensaios laboratoriais.

Dessa forma, a pesquisa justifica-se por associar reaproveitamento de resíduos, redução do consumo de agregados naturais e avaliação do desempenho de argamassas de revestimento. A investigação poderá contribuir para a definição de parâmetros técnicos de uso dos resíduos de rochas ornamentais cominuídos, indicando se sua incorporação parcial como agregado miúdo é viável sob os pontos de vista ambiental e tecnológico.

5 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Para atender aos objetivos propostos, o processo metodológico foi desenvolvido de acordo com as etapas estabelecidas no fluxograma ilustrado na Figura 01.

Figura 01 – Fluxograma do Programa Experimental.



Fonte: Autor (2026).

O programa experimental foi estruturado a partir de condições fixas, variáveis de controle e variáveis de resposta. As condições fixas correspondem aos materiais constituintes das argamassas, ao procedimento de mistura, ao tempo de cura de 28 dias e ao processamento por cominuição e classificação granulométrica dos resíduos de rochas ornamentais, mantidas constantes para permitir a comparação entre os diferentes traços.

As variáveis de controle compreendem os teores de substituição do agregado miúdo por resíduos de rochas ornamentais, sendo adotados os percentuais de 0% para a argamassa de referência, 5%, 10% e 15% para as argamassas modificadas. Além dos percentuais de substituição, também foi considerada a influência do tipo de rocha, abrangendo resíduos de mármore, granito e suas respectivas variações mineralógicas e comerciais, uma vez que diferentes

tipos de rochas podem apresentar características físicas e granulométricas distintas, capazes de influenciar o comportamento das argamassas.

As variáveis de resposta foram definidas com base no comportamento das argamassas nos estados fresco e endurecido. Na condição fresca, avaliaram-se o índice de consistência, a densidade de massa e o teor de ar incorporado, parâmetros diretamente associados à trabalhabilidade e à aplicação do material. Na condição endurecida, analisaram-se a resistência à tração na flexão, a resistência à compressão, a absorção de água por capilaridade e a resistência de aderência à tração, características determinantes para o desempenho mecânico, a estanqueidade e a durabilidade dos revestimentos em uso. Por fim, os dados obtidos em ambas as etapas foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) para verificar a significância estatística dos fatores avaliados.

5.1 Materiais

Os materiais utilizados na pesquisa foram definidos com base na produção de argamassas de revestimento com substituição parcial do agregado miúdo por resíduos de rochas ornamentais.

O aglomerante utilizado foi o cimento Portland CP V-ARI, escolhido em razão de sua elevada resistência inicial e de sua aplicação em estudos laboratoriais por apresentar menor percentual de adições. Esse material foi mantido constante em todos os traços, de modo que as variações observadas nos resultados estejam associadas principalmente à substituição parcial do agregado miúdo pelos resíduos de rochas ornamentais.

Como agregado miúdo natural (areia fina), foi utilizado $D_{máx}$ 1,18mm, empregado como material de referência para comparação com as argamassas modificadas. O agregado miúdo natural foi parcialmente substituído pelos resíduos processados nos teores de 5%, 10% e 15%, além da produção da argamassa de referência, sem substituição. Essa variação permitiu analisar o comportamento das argamassas em função do aumento gradual da incorporação dos resíduos.

A água foi utilizada no processo de amassamento das argamassas, mantendo-se as mesmas condições de preparo para todos os traços. Também empregado aditivo plastificante, com a finalidade de melhorar as condições de aplicação das misturas, favorecendo a homogeneização dos materiais e contribuindo para o desempenho do revestimento. Segundo o fabricante (Viapol), o produto

proporciona alta plasticidade, reduz fissuras por retração, melhora a aderência ao substrato, previne o aparecimento de manchas esbranquiçadas decorrentes de saponificação e eflorescências, aumenta o rendimento da argamassa, não contém cloretos e pode dispensar o uso de cal na composição.

As características técnicas do produto, conforme informações fornecidas pelo fabricante, estão apresentadas na Tabela 01.

Tabela 01 – Características técnicas do aditivo plastificante.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Aspecto	Líquido Viscoso
Cor	Castanho Avermelhado
Massa específica	1,00 a 1,10 g/cm³
pH	~9,5 a 11,0

Fonte: Viapol (2026).

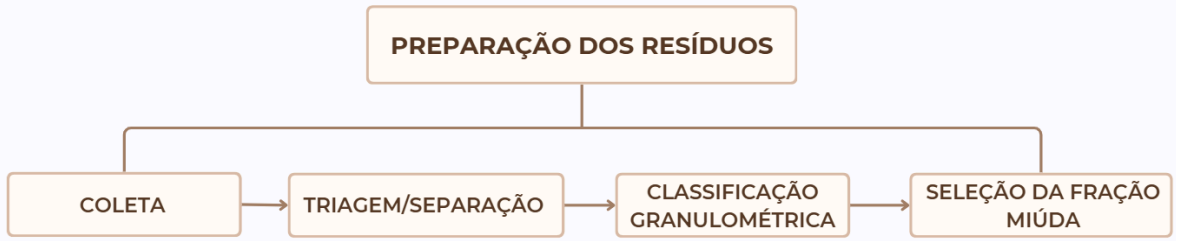
Essas características tornam o aditivo adequado para uso em argamassas de revestimento, especialmente quando se avalia a incorporação de resíduos minerais, uma vez que o produto pode auxiliar na manutenção da trabalhabilidade e na estabilidade das misturas produzidas com materiais alternativos.

Tanto a água quanto o aditivo serão mantidos constantes durante a produção das argamassas, garantindo maior controle experimental e permitindo que as variações observadas nos resultados sejam atribuídas principalmente à influência do tipo e do teor de resíduo incorporado.

5.1.1 Coleta e preparo dos resíduos de Rochas Ornamentais

A preparação dos resíduos constituiu uma etapa fundamental da pesquisa, pois permitiu transformar os fragmentos provenientes das marmorarias em material com granulometria compatível com o agregado miúdo. Essa etapa envolveu a coleta, triagem, cominuição, classificação granulométrica e seleção da fração miúda, conforme apresentado na Figura 02.

Figura 02 – Etapas de preparação dos resíduos de rochas ornamentais.



Fonte: Autor (2026).

Os resíduos de rochas ornamentais foram coletados em marmorarias do município de Porto Velho - RO, abrangendo tanto os sedimentos gerados durante os processos de corte e retidos nas instalações dos estabelecimentos, conforme apresentado na Figura 03, quanto os materiais disponibilizados pelas empresas e aqueles descartados em pilhas de entulho a céu aberto, em frente aos estabelecimentos.

Figura 03 – Coleta dos resíduos de corte de rochas ornamentais.

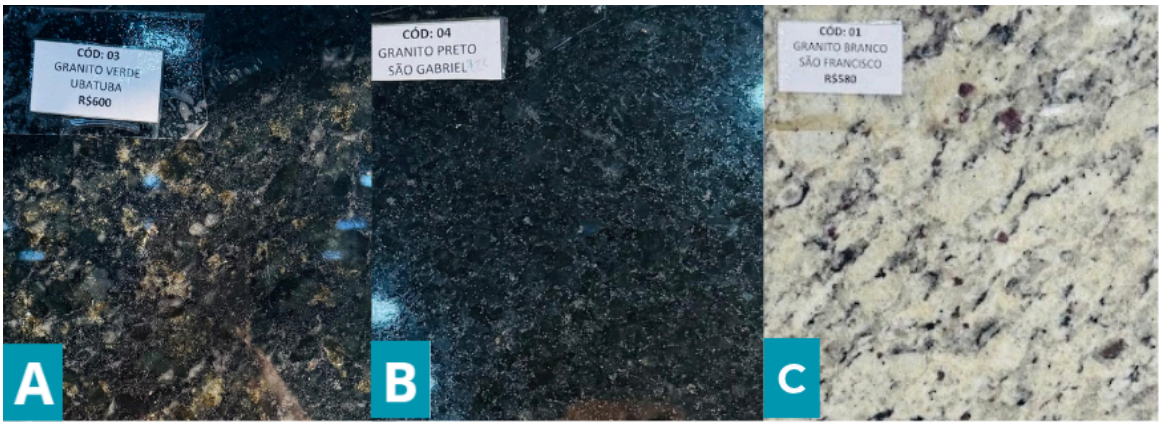


Fonte: Autor (2025).

(a) Material presente nas instalações das marmorarias; (b) Material descartado pelas marmorarias.

Durante a coleta, foram identificados 29 tipos de rochas ornamentais. Para o desenvolvimento da pesquisa, selecionaram-se três variedades com maior disponibilidade de material e ampla comercialização no estado de Rondônia, conforme informações das empresas parceiras. Foram escolhidas as rochas comercialmente denominadas Verde Ubatuba (Amostra A), São Gabriel (Amostra B) e São Francisco (Amostra C), apresentadas na Figura 04.

Figura 04 – Rochas ornamentais selecionadas para o estudo.



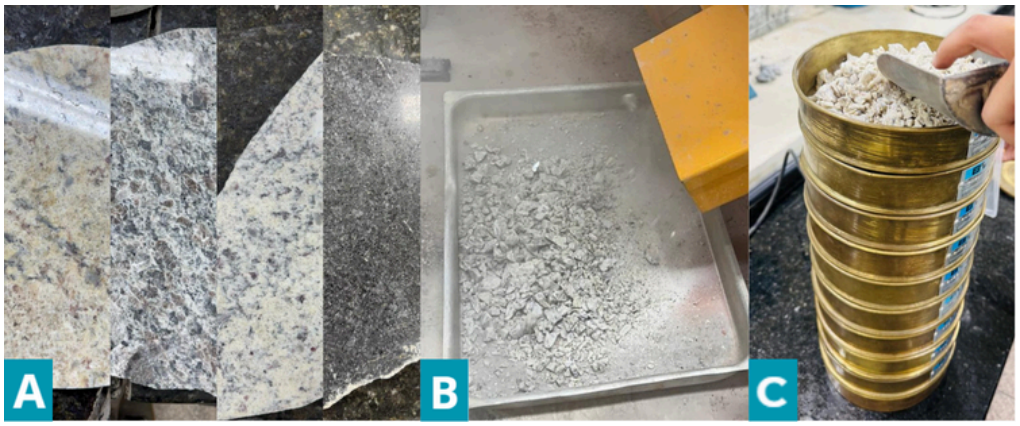
Fonte: Autor (2025).

(a) Verde Ubatuba; (b) São Gabriel; (c) São Francisco.

Quanto à caracterização petrográfica, a literatura apresenta descrições de diferentes variedades de rochas ornamentais, com características mineralógicas distintas. Vargas, Motoki e Akihisa (2001) classificam o Verde Ubatuba como um charnockito de composição predominantemente félsica, cuja coloração verde-escura está associada à presença de minerais como quartzo e feldspatos. O São Gabriel, por sua vez, é descrito por Branco (2010) como um gabro, constituído predominantemente por plagioclásio (andesina-labradorita), além de biotita, hiperstênio, quartzo e hornblenda. Saar (2013) caracteriza o São Francisco como um gnaisse sienogranítico, composto principalmente por microclínio, plagioclásio e quartzo, com menores proporções de granada e biotita.

Após a coleta, os resíduos foram submetidos a um processo de triagem, com a separação dos materiais por similaridade litológica. Em seguida, foi realizada a cominuição dos resíduos, em britador mecânico, visando à redução da granulometria e à obtenção de partículas menores, conforme os critérios estabelecidos pela NBR 17054 (ABNT, 2022), ilustrado na Figura 05. Essa etapa permitiu quantificar a distribuição entre frações graúdas e miúdas geradas por cada tipo de rocha, possibilitando a avaliação do seu potencial de aplicação na construção civil, bem como em outras possíveis destinações,mediante análise de rendimento.

Figura 05 – Processamento dos resíduos de rochas ornamentais.



Fonte: Autor (2025).

(a) Separação das rochas por similaridade litológica; (b) Cominuição dos resíduos; (c) Classificação granulométrica dos grãos.

Para a produção das argamassas de revestimento, selecionou-se a fração retida na peneira com abertura de malha de 0,6 mm, cuja aparência apresentou maior semelhança com a areia fina utilizada na composição de referência. A seleção foi realizada por análise visual, considerando as características dos resíduos após o processamento.

A partir dos materiais selecionados, foram definidos três teores de substituição da areia natural por RBRO: 5%, 10% e 15%, em massa. A combinação desses percentuais com os três tipos de rocha (A, B e C) resultou em nove composições de argamassa, identificadas como A5%, A10%, A15%, B5%, B10%, B15%, C5%, C10% e C15%. Essa organização permitiu avaliar a influência do tipo de resíduo e do teor de substituição no desempenho das argamassas de revestimento, considerando o uso do material processado como agregado miúdo.

5.2 Métodos de Ensaios

O método de mistura das argamassas seguiu as orientações da NBR 16541 (ABNT, 2016). Inicialmente, foram adicionados os materiais secos, compostos pelo cimento Portland CP V-ARI e pelo agregado miúdo. Nos traços com substituição parcial, parte da areia foi substituída por resíduos de rochas ornamentais previamente classificados granulometricamente.

Após uma pré-mistura de 30 segundos para homogeneização, foram incorporados, de forma uniforme, a água e o aditivo plastificante, conforme preconizado pela norma. Esse procedimento foi adotado para a argamassa de

referência, sem substituição. Para as argamassas com substituição parcial, a fração de areia foi substituída proporcionalmente pelo resíduo, mantendo-se a mesma metodologia de mistura (Figura 06).

Figura 06 – Argamassadeira utilizada para a homogeneização dos materiais.



Fonte: Autor (2025).

O traço adotado para a produção das argamassas foi de 1:5, correspondente a uma parte de cimento para cinco partes de agregado miúdo. O coeficiente água/cimento (a/c) utilizado foi de 0,98 calculado pela relação entre a massa de água e a massa de cimento empregadas em cada mistura.

Para a argamassa de referência, adotou-se como parâmetro de controle o índice de consistência de 280 ± 5 mm. Embora a NBR 13276 (ABNT, 2016) estabeleça o valor de 260 ± 5 mm como referência para o ensaio, optou-se por um índice superior considerando que os finos presentes nos resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) podem aumentar a demanda de água das misturas e reduzir sua trabalhabilidade, conforme observado por Lopes (2020). Assim, estabeleceu-se um parâmetro de consistência compatível com as condições de aplicação pretendidas para as argamassas de revestimento.

Os ensaios no estado fresco foram realizados imediatamente após o preparo das argamassas, com o objetivo de caracterizar suas propriedades nessa condição. Foram determinados o índice de consistência, a densidade de massa e o teor de ar incorporado.

Para índice de consistência, seguiu-se os procedimentos estabelecidos pela NBR 13276 (ABNT, 2016), por meio do ensaio de espalhamento em mesa de consistência. O procedimento consistiu na aplicação de 30 quedas da mesa, à frequência de uma queda por segundo. Em seguida, foram medidos três diâmetros

de espalhamento, cuja média aritmética foi considerada o resultado do ensaio, conforme ilustrado na Figura 07.

Figura 07 – Ensaio de índice de consistência da argamassa.



Fonte: Autor (2025).

Em seguida, foi realizado o ensaio de densidade de massa e o teor de ar incorporado, conforme descrito na NBR 13278 (ABNT, 2005). Para isso, recipientes previamente pesados foram preenchidos com argamassa em três camadas de altura praticamente iguais, realizando-se o adensamento com vinte golpes em cada camada.

Após o adensamento, cada recipiente foi submetido a três quedas de aproximadamente 3 cm de altura, com o objetivo de acomodar a argamassa e minimizar a formação de vazios junto às paredes internas. Posteriormente, a superfície foi nivelada e os recipientes preenchidos foram pesados, conforme ilustrado na Figura 08. Com base nesses dados, calculou-se a densidade de massa da argamassa fresca e estimou-se o teor de ar incorporado.

Figura 08 – Moldes preenchidos pela argamassa para o ensaio.

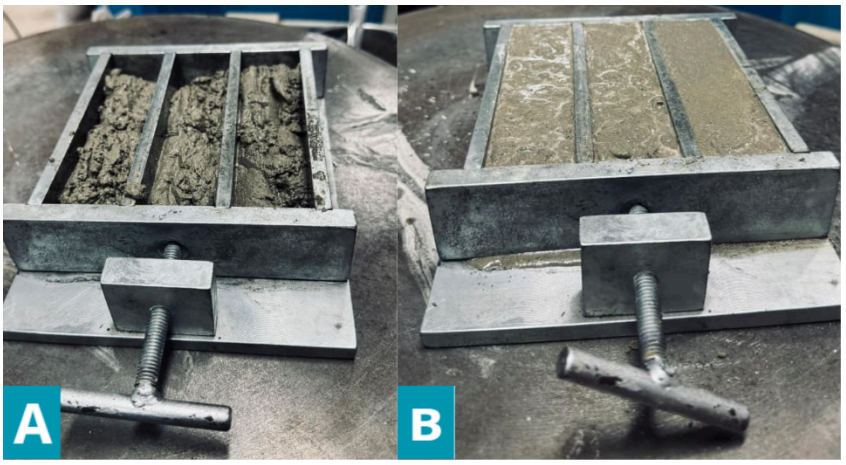


Fonte: Autor (2026).

Após a realização dos ensaios no estado fresco, foram moldados seis corpos de prova, três para cada ensaio no estado endurecido. A moldagem foi realizada em moldes prismáticos, com a argamassa aplicada em duas camadas. Cada camada foi compactada por meio de mesa de adensamento por queda, aplicando-se 30 quedas por camada, conforme o procedimento estabelecido pela NBR 16541 (ABNT,2016).

Após o adensamento, a superfície dos corpos de prova foi nivelada com auxílio de régua metálica, removendo-se o excesso de argamassa e garantindo o preenchimento adequado dos moldes, conforme Figura 09.

Figura 09 – Moldes preenchidos com argamassa.



Fonte: Autor (2026).

(a) Primeira camada de argamassa nos moldes dos corpos de prova; (b) Moldes preenchidos com argamassa e rasados.

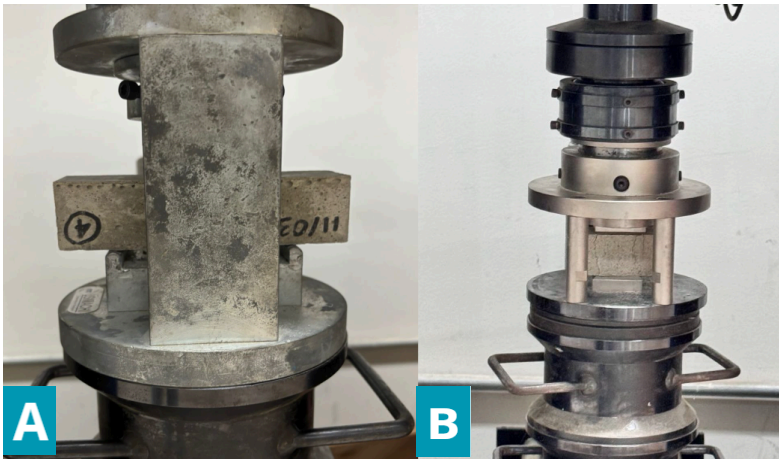
Decorridas 24 horas da moldagem, foi realizado o desmolde dos corpos de prova. Após essa etapa, os corpos de prova foram desmoldados e acondicionados em caixas plásticas, sem adição de água, permanecendo armazenados no ambiente interno do laboratório até completarem 28 dias de idade.

Ao final do período de cura, os ensaios no estado endurecido foram realizados, abrangendo a determinação da resistência à tração na flexão, da resistência à compressão, da absorção de água por capilaridade e da resistência de aderência à tração. Para cada teor de incorporação de resíduos de rochas ornamentais, foram destinados três corpos de prova aos ensaios de resistência mecânica e outros três ao ensaio de absorção de água por capilaridade. Os

resultados obtidos permitiram comparar o desempenho das argamassas de referência com o das argamassas produzidas com a incorporação dos resíduos.

A resistência à tração na flexão e a resistência à compressão foram determinadas conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005). Inicialmente, os corpos de prova prismáticos foram medidos e posicionados no dispositivo de apoio do equipamento, conforme apresentado na Figura 10, e submetidos ao ensaio de tração na flexão até a ruptura. Em seguida, as duas metades resultantes de cada corpo de prova foram utilizadas no ensaio de resistência à compressão, mediante aplicação de carga vertical até a ruptura. As forças de ruptura foram registradas em newtons, e os valores de resistência foram calculados conforme os procedimentos estabelecidos pela referida norma. Os resultados obtidos permitem avaliar a influência da incorporação dos resíduos de mármore e granito no desempenho mecânico das argamassas endurecidas.

Figura 10 – Rompimento de corpos de prova.



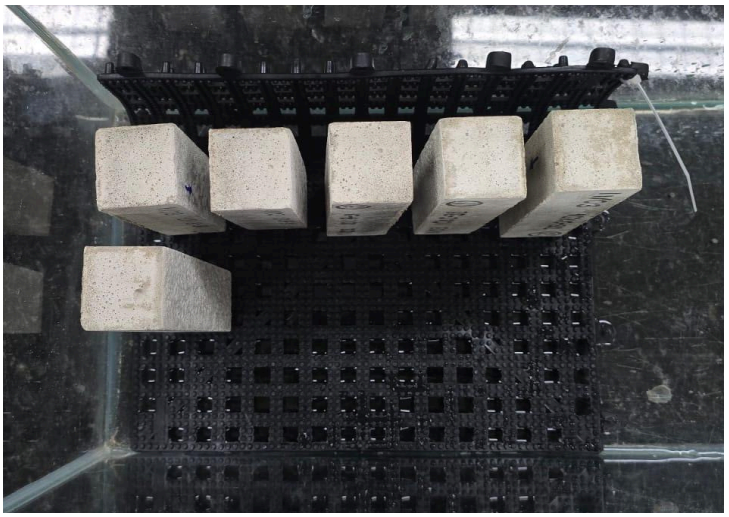
Fonte: Autor (2026).

(a) Ensaio de tração na flexão; (b) Ensaio de resistência à compressão.

A absorção de água por capilaridade foi determinada conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005). Para o ensaio, os três corpos de prova restantes foram posicionados em um aquário de vidro, sobre um suporte de silicone, utilizado como patamar para facilitar o posicionamento e a aferição do nível da água, conforme ilustrado na Figura 11. O procedimento foi conduzido de modo a manter uma lâmina de água de 5 ± 1 mm em contato com a base dos corpos de prova. As massas foram aferidas nos intervalos de 0, 1, 5, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 minutos, permitindo acompanhar a evolução da absorção de água por capilaridade ao longo

do tempo. Esse ensaio possibilita avaliar a influência da incorporação dos RBRO no comportamento das argamassas endurecidas quanto à absorção de água.

Figura 11 – Corpos de prova posicionados para o ensaio de capilaridade.



Fonte: Autor (2026).

Em cada intervalo estabelecido, as amostras foram retiradas do recipiente, secas superficialmente com pano ou material absorvente, para remover apenas o excesso de água da superfície, e pesadas em balança. Com os valores obtidos, realizou-se o cálculo da absorção de água por capilaridade, conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 15259 (ABNT, 2005).

Ao final, foram realizados os ensaios de aderência à tração. Inicialmente, vinte blocos cerâmicos (09x19x19cm) foram separados, seis para cada teor de substituição escolhido, juntamente com os materiais necessários para a produção da mistura de chapisco (proporção 1:3). Em seguida, os traços de chapiscos foram preparados e aplicados nos substratos conforme as diretrizes da NBR 7200 (ABNT, 1998).

Após aproximadamente três dias da aplicação do chapisco, as argamassas foram preparadas na proporção de 1:5, conforme a NBR 16541 (ABNT, 2016). Em seguida, foram aplicadas sobre os substratos previamente chapiscados, utilizando-se moldes de EVA com seção circular e diâmetro de 50 mm, fixados com fita adesiva, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Moldagem da argamassa sobre o substrato.



Fonte: Autor (2026).

(a) Tijolo cerâmico chapiscado; (b) Fixação dos moldes de EVA sobre o tijolo chapiscado; (c) Argamassa moldada no substrato.

Após as moldagens das argamassas, esperou-se um período de vinte e oito dias para realizar o ensaio de aderência à tração conforme estabelecido na NBR 15258 (ABNT, 2021). Um dia antes da realização do ensaio, as pastilhas metálicas circulares, com diâmetro de 50 ± 1 mm, foram coladas nos substratos utilizando uma cola à base de resina epóxi, conforme especificado na NBR 13528-1 (ABNT, 2019).

Após passado o dia para secagem da cola, procedeu-se à execução do ensaio. Foram testados 14 corpos de prova para a amostra A10%, 12 para a amostra B10% (observando-se a perda de duas unidades durante o ensaio) e 14 para a amostra C5% (também com a perda de duas unidades). Os carregamentos foram aplicados por meio de uma prensa modelo EMIC, equipada com célula de carga de 5 kN e operando a uma velocidade constante de 0,08 mm/s, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Ensaio de aderência à tração.



Fonte: Autor (2026).

(a) Pastilha colada sobre a argamassa; (b) Rompimento dos corpos de prova.

Os resultados dos ensaios foram organizados e comparados entre os diferentes traços, considerando a argamassa de referência e as argamassas com substituição de 5%, 10% e 15%. Essa comparação permitiu identificar o comportamento das argamassas em função do tipo de resíduo e do percentual incorporado.

5.3 Análise Estatística

Os resultados obtidos nos ensaios nos estados fresco e endurecido foram organizados e processados em planilhas eletrônicas, avaliando-se individualmente cada propriedade. Inicialmente, determinou-se a estatística descritiva de cada variável de resposta por meio da média aritmética, do desvio padrão amostral e do coeficiente de variação (CV), permitindo caracterizar a dispersão dos dados entre as diferentes composições de argamassa.

Para verificar a influência dos fatores experimentais, empregou-se a Análise de Variância (ANOVA) de dois fatores com repetição, adotando-se um nível de significância de 5% (α = 0,05). Os fatores avaliados foram:

- **Fator A:** Tipo de resíduo de rocha ornamental (amostras A, B e C);
- **Fator B:** Teor de substituição do agregado miúdo (5%, 10% e 15%).

A ANOVA permitiu decompor a variabilidade total dos resultados para avaliar os efeitos individuais de cada fator, bem como a interação entre eles ($A \times B$). A verificação da significância estatística de cada efeito foi estabelecida pelo teste F (razão entre o quadrado médio do efeito e o quadrado médio do erro). Quando o valor de probabilidade foi inferior ao nível de significância (p < 0,05), rejeitou-se a hipótese nula de igualdade das médias.

Como os cálculos de somas de quadrados, graus de liberdade, quadrados médios e os valores de F e p foram processados computacionalmente em planilha eletrônica, detalham-se a seguir os critérios estatísticos complementares aplicados na interpretação dos resultados.

5.3.1 Teste de Tukey

Nos casos em que a ANOVA apontou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ou na interação entre os fatores, aplicou-se o

teste de comparações múltiplas de Tukey (α = 0,05) para identificar quais médias diferem especificamente entre si. Para grupos com o mesmo número de observações, a comparação foi estabelecida com base na Diferença Mínima Significativa (DMS), calculada pela equação (1).

$$DMS = q_{\alpha;k;gl_E} \cdot \sqrt{\frac{QM_{Erro}}{n}} \quad (1)$$

Onde:

- DMS = Diferença mínima significativa para que duas médias sejam consideradas estatisticamente diferentes;
- $q_{\alpha;k;gl_E}$ = Representa o valor crítico da distribuição da amplitude studentizada;
- QM_{Erro} = Quadrado médio do erro experimental obtido na ANOVA;
- n = Número de observações que compõem cada média comparada;
- α = Nível de significância adotado (0,05);
- k = Número total de médias ou tratamentos comparados;
- gl_E = Graus de liberdade do erro experimental.

O parâmetro q é obtido em tabelas estatísticas padrão da distribuição da amplitude studentizada. Sua determinação requer três parâmetros de entrada principais:

1. O nível de significância (α), fixado em $0,05$ (5%).
2. O número de médias ou tratamentos (k) sob comparação direta.
3. Os graus de liberdade do erro (gl_E) extraídos diretamente da tabela.

Caso a diferença absoluta entre duas médias excedesse o valor da DMS calculada, considerava-se que elas apresentavam diferença estatisticamente significativa. Para tamanhos amostrais distintos entre os grupos comparados, adotou-se a formulação adaptada de Tukey-Kramer.

5.3.2 Tratamento da Referência

A argamassa de referência (com 0% de substituição) serviu como parâmetro comparativo visual e técnico. Por não pertencer ao arranjo fatorial cruzado das amostras A, B e C com os teores de 5%, 10% e 15%, sua avaliação em relação às misturas modificadas foi conduzida por meio de análises comparativas complementares.

Por fim, a confiabilidade da ANOVA foi assegurada mediante a verificação prévia dos pressupostos estatísticos fundamentais, com destaque para a normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias (homocedasticidade), cujos testes preliminares confirmaram a adequação dos modelos aplicados a cada propriedade avaliada.

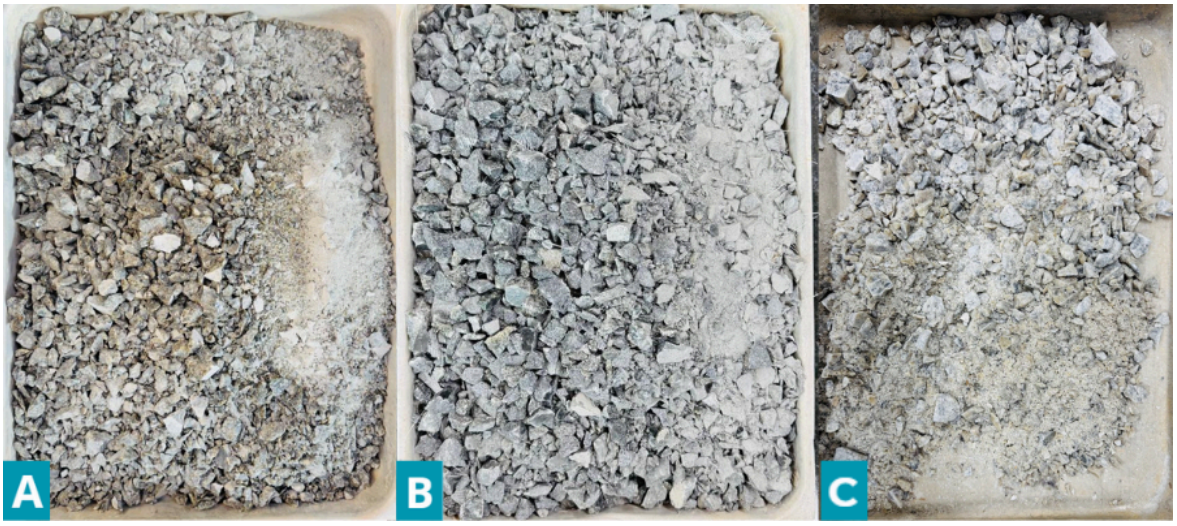
6 RESULTADOS

Os resultados foram apresentados conforme as variáveis de respostas propostas e objetivos específicos definidos no estudo.

6.1 Caracterização granulométrica dos resíduos

Após o processo de cominuição dos resíduos de rochas ornamentais, os materiais obtidos apresentaram as características visuais ilustradas na Figura 14. Observam-se diferenças de coloração e aspecto entre as três amostras, associadas às particularidades de cada tipo de rocha. Na amostra B, foram observados filamentos esbranquiçados provenientes da tela de fibra de vidro aplicada no tardoz das placas. Durante o preparo do material, a maior parte desses filamentos foi removida manualmente, embora pequenas quantidades tenham permanecido na fração selecionada para a produção das argamassas.

Figura 14 – Resíduos de rochas ornamentais após a cominuição.

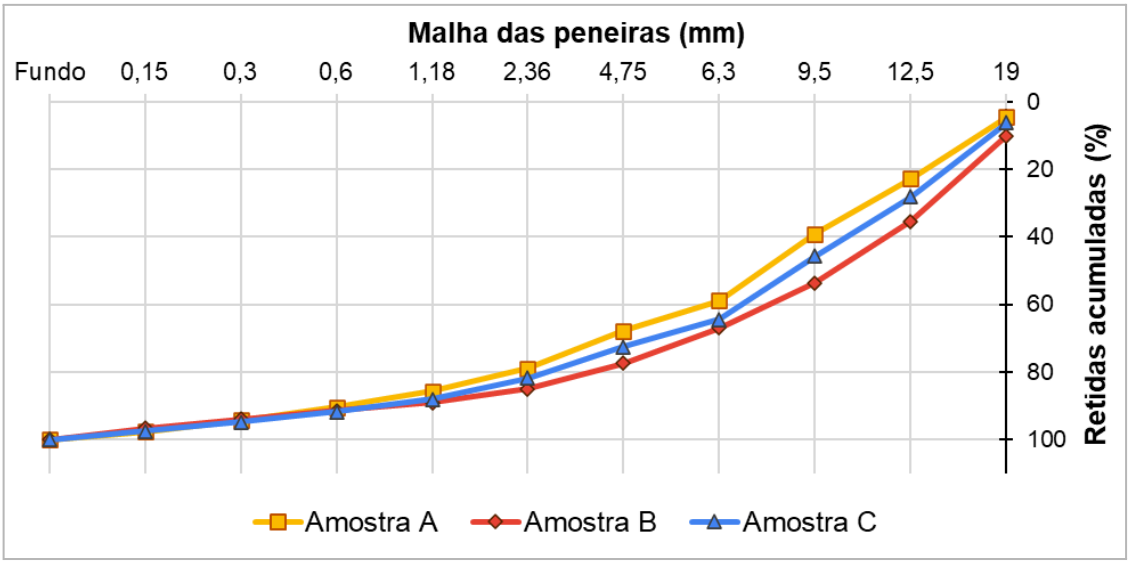


Fonte: Autor (2025).

(a) Verde Ubatuba; (b) São Gabriel; (c) São Francisco.

Na sequência, os resíduos foram submetidos à classificação granulométrica por peneiramento, conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 17054 (2022). As curvas granulométricas resultantes são apresentadas na Figura 15, permitindo comparar a distribuição dos tamanhos das partículas entre as três amostras.

Figura 15 – Curva Granulométrica das amostras.



Fonte: Autor (2025).

De modo geral, as curvas indicam distribuições granulométricas semelhantes, embora sejam observadas diferenças na proporção das partículas retidas nas peneiras. A Amostra B apresentou maior concentração nas frações mais grossas, enquanto a Amostra A apresentou maior participação das frações mais finas.

Para a produção das argamassas de revestimento, selecionou-se a fração retida na peneira com abertura de malha de 0,6 mm. A escolha considerou a semelhança visual desse material com a areia fina empregada na mistura de referência, conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Resíduos de rochas ornamentais selecionados para a produção das argamassas.



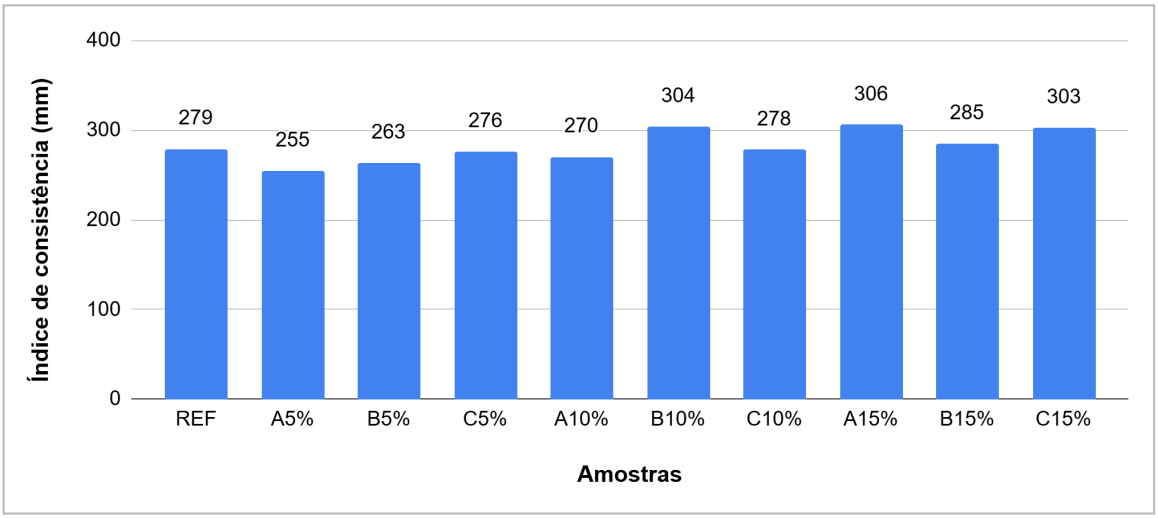
Fonte: Autor (2026).

(a) Amostra A: Verde Ubatuba; (b) Amostra B: São Gabriel; (c) Amostra C: São Francisco.

6.2 Índice de consistência

Após a conclusão do procedimento metodológico conforme descrito no item 6, referentes ao ensaio da mesa de consistência, foram obtidos os resultados que estão representados na Figura 17.

Figura 17 – Resultado dos ensaios de índice de consistência.



Fonte: Autor (2026).

A NBR 16541 (ABNT, 2016) estabelece o procedimento para o preparo das argamassas destinadas à realização de ensaios. Neste estudo, adotou-se como parâmetro de controle o índice de consistência de 280 ± 5 mm, correspondente ao espalhamento obtido pela argamassa de referência (279 mm). Essa escolha considerou que a utilização do valor de 260 ± 5 mm, indicado como referência no procedimento normativo, poderia resultar em espalhamentos ainda menores após a substituição parcial da areia natural pelos finos de rochas ornamentais, comprometendo a trabalhabilidade das argamassas de revestimento.

Os resultados das argamassas produzidas com substituição parcial do agregado miúdo apresentaram valores de espalhamento entre 255 e 306 mm, evidenciando diferentes respostas conforme o tipo de resíduo e o teor empregado. A Amostra A apresentou aumento progressivo do espalhamento, de 255 mm (5%) para 270 mm (10%) e 306 mm (15%). Na Amostra B, observou-se comportamento irregular, com 263 mm (5%), elevação para 304 mm (10%) e redução para 285 mm (15%). Já a Amostra C apresentou valores próximos nos teores de 5% (276 mm) e 10% (278 mm), seguidos de aumento para 303 mm (15%).

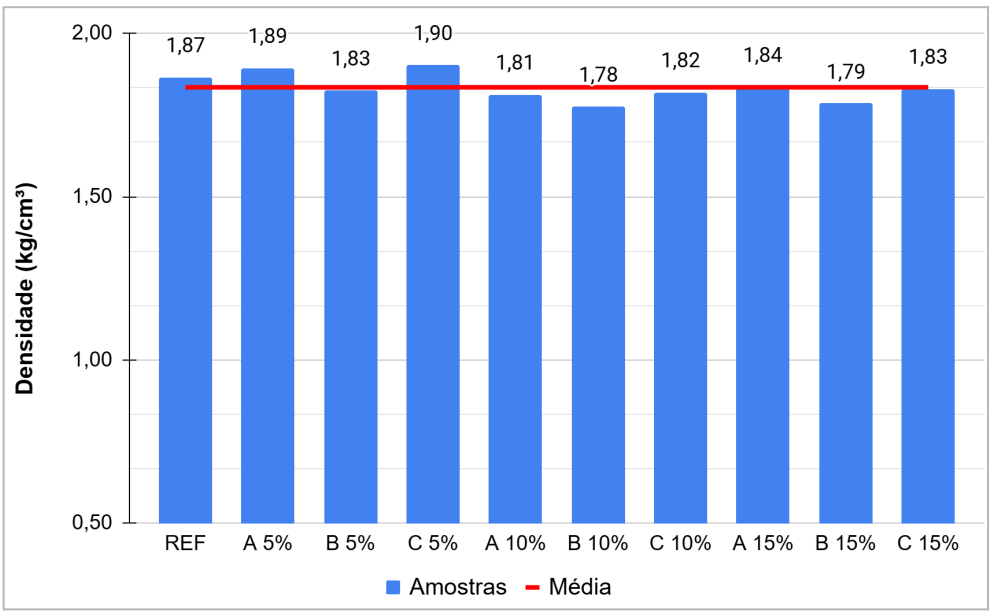
As diferenças observadas podem estar relacionadas à distribuição granulométrica dos resíduos. Embora as três amostras tenham apresentado curvas granulométricas próximas, foram identificadas variações na proporção de partículas retidas nas diferentes peneiras. A Amostra B apresentou maior concentração de partículas nas frações mais grossas, enquanto a Amostra A apresentou maior participação relativa das frações mais finas. Essas características podem influenciar o empacotamento das partículas, a superfície específica do agregado e a demanda de água da mistura. Além disso, o aumento do teor de substituição modifica a proporção entre as partículas de areia natural e de resíduo, podendo alterar a interação entre os materiais e, consequentemente, o espalhamento. Esses fatores podem ter contribuído para as variações no índice de consistência entre as amostras, uma vez que o aumento do teor de substituição não resultou em alterações proporcionais no espalhamento das argamassas.

Lopes (2020) observou redução da trabalhabilidade das argamassas com o aumento dos teores de RBRO, especialmente nas misturas em que o resíduo substituiu a areia natural, relacionando esse comportamento à maior quantidade de partículas finas e à demanda de água das misturas. De forma semelhante, Erba (2022) verificou uma redução progressiva do índice de consistência, de 282 mm na argamassa de referência para 202 mm na composição com substituição integral da areia por areia de britagem. Entretanto, no presente estudo, não foi observada uma tendência uniforme de redução do espalhamento, indicando que a influência da substituição também está relacionada às características do tipo de rocha utilizado.

6.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

A Figura 18 apresenta os resultados da densidade de massa no estado fresco das argamassas, considerando as médias para cada teor de substituição do agregado miúdo por RBRO.

Figura 18 – Densidade de massa no estado fresco das argamassas.

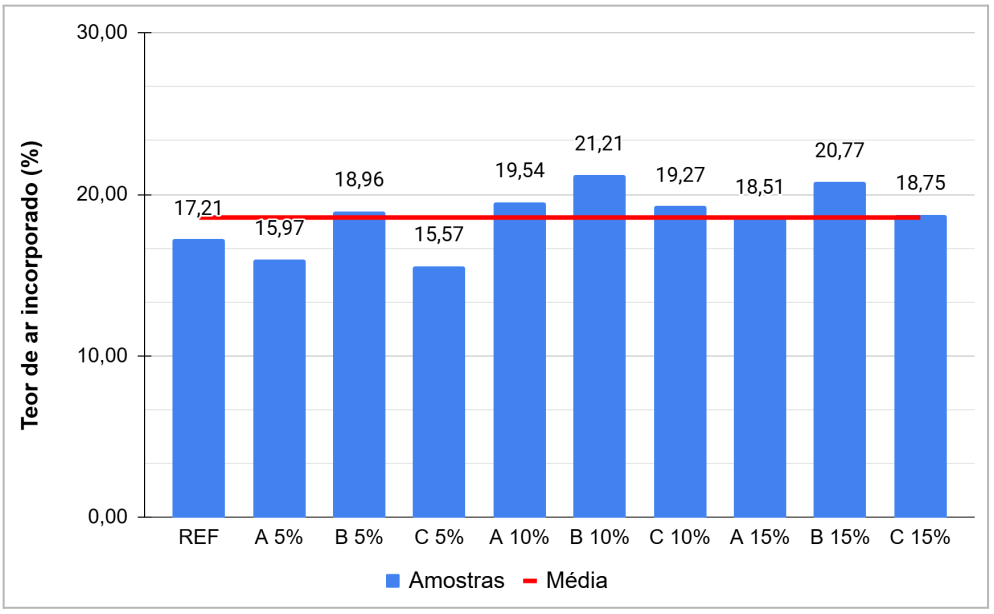


Fonte: Autor (2026).

Os resultados apresentaram valores próximos entre as composições, sem uma tendência uniforme de variação com o aumento do teor de RBRO. A argamassa de referência apresentou densidade de massa média de 1,87 g/cm³, enquanto as misturas com resíduo registraram valores entre 1,78 e 1,90 g/cm³. Apenas três composições apresentaram valores inferiores à média geral dos resultados: B10%, C10% e B15%. Essas diferenças indicam que a variação da densidade dependeu da combinação entre o tipo de resíduo e o teor de substituição, não sendo observado um aumento ou uma redução progressiva em função desse teor.

A Figura 19 apresenta os resultados do teor de ar incorporado nas diferentes composições.

Figura 19 – Teor de ar incorporado das argamassas.

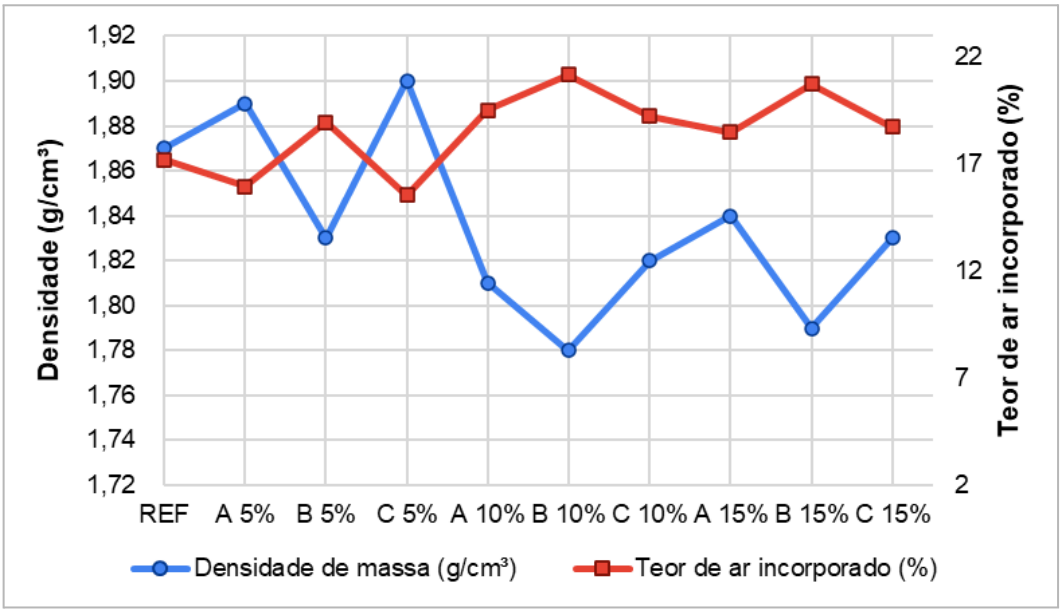


Fonte: Autor (2026).

O teor de ar incorporado apresentou variações conforme o tipo de resíduo e o percentual de substituição. As amostras A e C apresentaram aumento entre os teores de 5% e 10%, seguido de redução em 15%. A amostra B, por sua vez, apresentou os maiores valores, passando de 18,96% em 5% para 21,21% em 10%, com pequena redução para 20,77% em 15%. Em todos os teores avaliados, essa amostra apresentou valores superiores aos da argamassa de referência (17,21%) e à média geral. Em contrapartida, o menor teor de ar incorporado foi observado na composição C5% (15,57%), seguida da composição A5% (15,97%).

A relação entre a densidade de massa e o teor de ar incorporado é apresentada na Figura 20.

Figura 20 – Relação da densidade de massa e teor de ar incorporado.



Fonte: Autor (2026).

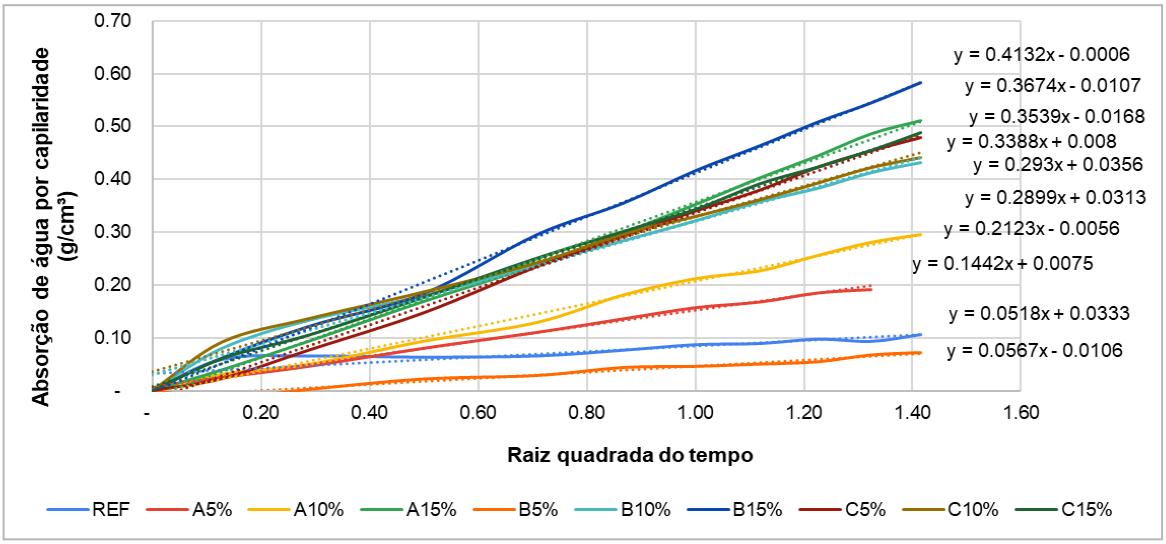
A relação inversa observada entre as propriedades é explicada por Rodrigues Filho (2013) e Carasek (2010), que relacionam o aumento do ar incorporado à formação de vazios na argamassa e à consequente redução de sua densidade de massa. Observa-se na Figura 18 uma tendência consistente da amostra B em apresentar, em todas as dosagens avaliadas, os menores valores de densidade de massa e os maiores teores de ar incorporado em comparação às demais rochas no mesmo teor de substituição.

Essa maior porosidade inicial associada ao ar incorporado tende a influenciar o desempenho mecânico no estado endurecido, uma vez que a presença de vazios reduz a compacidade da matriz cimentícia (Carasek, 2010).

6.3 Absorção de água por capilaridade

A Figura 21 apresenta as curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas, enquanto a Tabela 02 reúne os coeficientes angulares obtidos a partir das equações de regressão linear.

Figura 21 – Resultado dos ensaios de absorção de água por capilaridade.



Fonte: Autor (2026).

Tabela 02 – Coeficientes angulares.

Amostras	Coeficiente angular
REF	0,0518
A5%	0,1442
B5%	0,0567
C5%	0,3539
A10%	0,2123
B10%	0,2899
C10%	0,2930
A15%	0,3674
B15%	0,4132
C15%	0,3388

Fonte: Autor (2026).

Os resultados indicaram que o aumento do teor de substituição esteve associado à elevação dos coeficientes angulares, principalmente nas misturas com 15% de RBRO, nas quais todos os valores foram superiores aos da referência. Esse comportamento difere parcialmente do observado por Miguel et al. (2019), que verificaram redução do coeficiente de absorção capilar até 40% de substituição da areia por resíduo de rocha ornamental, atribuindo esse resultado ao efeito fíler do

material, responsável pelo preenchimento dos vazios da argamassa. Essa diferença evidencia que o efeito da incorporação do resíduo não foi uniforme entre os estudos, podendo estar relacionado às características dos materiais utilizados e aos teores de substituição avaliados. No presente estudo, as diferenças entre as amostras também foram expressivas, especialmente no teor de 5%, em que B5% apresentou coeficiente próximo ao da referência (0,0567), enquanto C5% registrou valor consideravelmente superior (0,3539).

Esse comportamento pode ser relacionado às observações de Salomão (2016), que verificou que modificações na estrutura porosa das argamassas influenciam o transporte de água por capilaridade. O autor também destacou que a composição das misturas e a ação dos aditivos podem interferir nesse processo.

6.4 Ensaio de resistência à tração na flexão

Os resultados da resistência à tração na flexão estão apresentados na Tabela 03 e nas Figuras 22 a 25, permitindo comparar as médias obtidas para os diferentes tipos de RBRO e teores de substituição.

Tabela 03 – Resultado dos ensaios de tração na flexão (RTF e RTFm).

Amostras	CP	RTF (MPa)	RTFm (MPa)	DV (MPa)	CV (%)
Referência	4	4,97	4,57	0,47	10,23
	5	4,06			
	6	4,69			
A5%	4	4,15	3,96	0,27	6,93
	5	4,09			
	6	3,65			
B5%	4	3,49	3,00	1,08	36,03
	5	3,74			
	6	1,76			
C5%	4	3,79	3,64	0,22	6,04
	5	3,39			
	6	3,73			
A10%	3	4,28	4,49	0,21	4,77
	4	4,49			
	5	4,71			
B10%	4	4,86	4,06	0,83	19,96
	5	3,21			
	6	4,11			

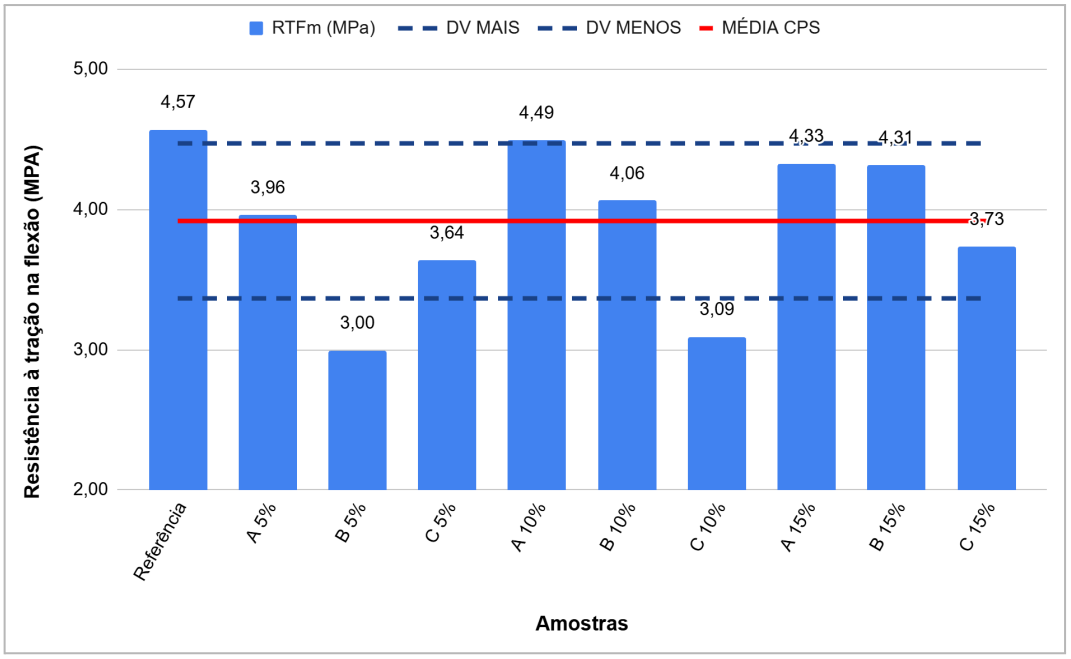
Amostras	CP	RTF (MPa)	RTFm (MPa)	DV (MPa)	CV (%)
C10%	4	2,94	3,09	0,17	5,49
	5	3,06			
	6	3,27			
A15%	1	4,35	4,33	0,30	7,48
	2	4,62			
	3	4,01			
B15%	1	4,87	4,31	0,48	10,90
	2	4,10			
	3	3,98			
C15%	1	3,69	3,73	0,24	6,93
	2	3,51			
	3	3,99			

Fonte: Autor (2026).

DV: Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação.

A Figura 22 apresenta as resistências médias à tração na flexão das argamassas, incluindo a referência e as composições com RBRO.

Figura 22 – Resultado dos ensaios de resistência à tração na flexão.



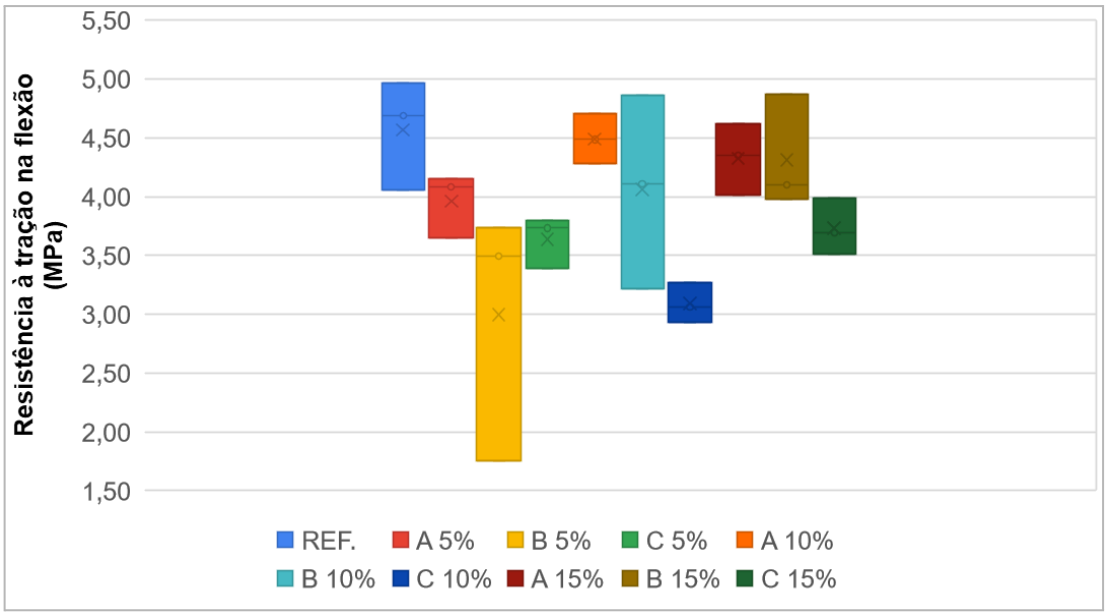
Fonte: Autor (2026).

DV MAIS: Desvio padrão somado a média geral dos resultados; DV MENOS: Desvio padrão subtraído a média geral dos resultados.

A argamassa de referência apresentou média de 4,57 MPa. Entre as misturas com resíduo, os maiores valores foram observados em A10% (4,49 MPa), A15% (4,33 MPa) e B15% (4,31 MPa), próximos ao resultado da referência. Em contrapartida, B5% (3,00 MPa) e C10% (3,09 MPa) apresentaram as menores médias. Esses resultados indicam que a resistência variou conforme a combinação entre o tipo de resíduo e o teor de substituição, sem uma tendência uniforme de aumento ou redução com a incorporação de RBRO.

A Figura 23 permite observar a distribuição dos resultados individuais em relação às médias de cada composição.

Figura 23 – Resultado dos ensaios de resistência à tração na flexão.

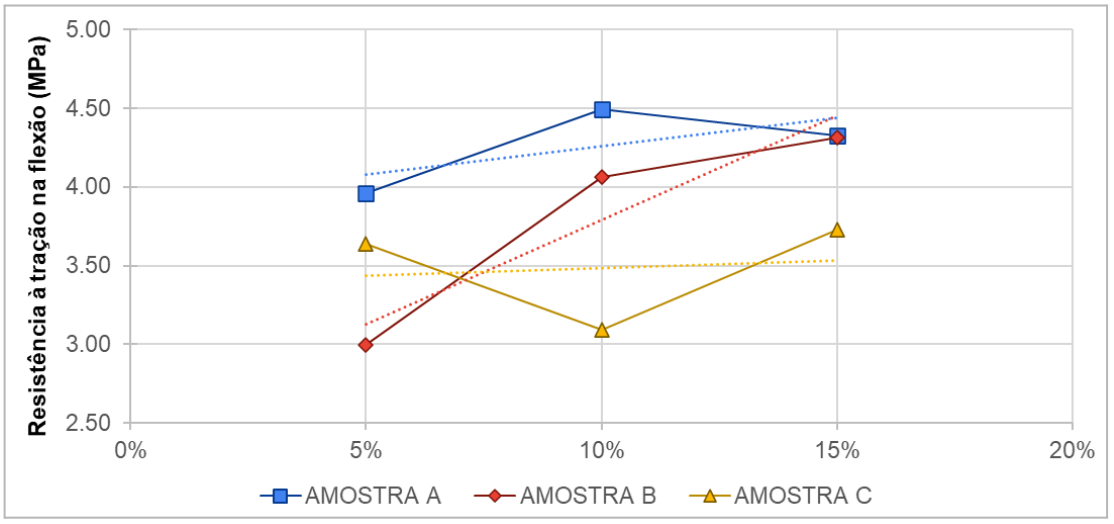


Fonte: Autor (2026).

A dispersão foi mais acentuada em B5%, cujo desvio padrão foi de 1,08 MPa, e em B10%, com 0,83 MPa. Em contrapartida, A10% apresentou desvio padrão de 0,21 MPa, enquanto C10% registrou 0,17 MPa, indicando menor variabilidade entre os corpos de prova dessas composições. Portanto, além das diferenças entre as médias, a variabilidade dos resultados também deve ser considerada na comparação do desempenho mecânico.

A Figura 24 apresenta a evolução da resistência média à tração na flexão de cada tipo de resíduo conforme se aumenta o teor de substituição de 5% para 15%.

Figura 24 – Resultado dos ensaios de resistência à tração na flexão por amostra.

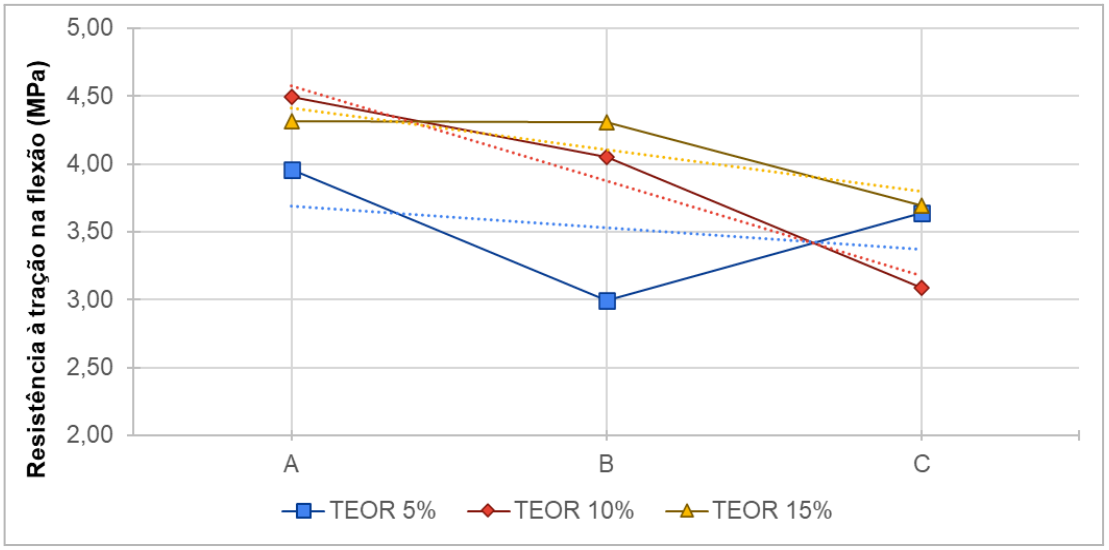


Fonte: Autor (2026).

A amostra A manteve médias próximas entre os teores, atingindo seu maior valor em 10%. A amostra B apresentou crescimento contínuo ao longo das porcentagens avaliadas, partindo de 3,00 MPa (5%) até 4,31 MPa (15%). Já a amostra C teve queda em 10% (3,09 MPa) e leve recuperação em 15% (3,73 MPa). Esse comportamento mostra que o aumento do teor não produziu a mesma tendência de ganho ou perda para todas as rochas.

A Figura 25 complementa essa análise ao comparar o desempenho das amostras A, B e C em cada teor de substituição.

Figura 25 – Resultado dos ensaios de resistência à tração na flexão por teor de substituição.



Fonte: Autor (2026).

No teor de 5%, a Amostra A apresentou a maior resistência média à tração na flexão, seguida pelas Amostras C e B. Esse comportamento se repetiu em 10%, com a Amostra A novamente apresentando o melhor desempenho, seguida das amostras B e C. Já em 15%, as amostras A e B registraram valores próximos entre si, ambos superiores ao da amostra C. Dessa forma, enquanto a Figura 24 permite analisar a variação da resistência em função do teor de substituição para cada tipo de resíduo, a Figura 25 evidencia o desempenho comparativo das rochas em cada percentual avaliado.

As diferenças observadas indicam a influência das características de cada resíduo sobre o comportamento mecânico das argamassas. Nesse contexto, os resultados dos ensaios no estado fresco também contribuem para a interpretação do desempenho obtido. A amostra B apresentou maior teor de ar incorporado e menor densidade de massa em todas as dosagens avaliadas, características que podem estar relacionadas à redução da resistência à tração na flexão nos teores iniciais, especialmente em B5%, além da maior dispersão dos resultados entre os corpos de prova. Entretanto, em B15%, a resistência alcançou 4,31 MPa, valor próximo ao da argamassa de referência, indicando uma recuperação do desempenho mecânico nessa composição.

Bahiense (2021), ao avaliar argamassas com incorporação de resíduos de rochas ornamentais em substituição parcial ao cimento, verificou resistência média à tração na flexão superior à da argamassa convencional na condição sem degradação, com valores de 2,44 MPa e 1,46 MPa, respectivamente. De maneira semelhante, Lopes (2020), ao investigar a substituição parcial da areia por resíduos de corte e de corte queimado de rochas ornamentais, observou resistências à tração na flexão similares ou superiores às da argamassa de referência para teores de até 30%, embora os resultados variassem conforme o tipo de resíduo. No presente estudo, também foram identificadas diferenças entre as composições, com algumas apresentando valores próximos à referência e outras inferiores, evidenciando a influência conjunta do tipo de resíduo e do teor de substituição nas propriedades mecânicas das argamassas.

6.5 Resistência à compressão

Os resultados da resistência à compressão estão apresentados na Tabela 04 e nas Figuras 26 a 29, permitindo avaliar o desempenho mecânico das argamassas em função do tipo de RBRO e do teor de substituição do agregado miúdo.

Tabela 04 – Resultado dos ensaios de resistência à compressão (RC e RCm).

Amostras	CP	RC (MPa)	RCm (MPa)	DV (MPa)	CV (%)
Referência	4 A	12,42	12,71	0,69	5,46
	4 B	11,70			
	5 A	12,25			
	5 B	13,15			
	6 A	13,24			
	6 B	13,50			
A5%	4 A	10,70	11,90	0,69	5,78
	4 B	11,55			
	5 A	12,35			
	5 B	12,56			
	6 A	11,95			
	6 B	12,29			
B5%	4 A	12,90	11,09	2,03	18,25
	4 B	8,95			
	5 A	12,57			
	5 B	12,86			
	6 A	8,39			
	6 B	10,88			
C5%	4 A	12,56	12,03	0,53	4,42
	4 B	11,66			
	5 A	11,27			
	5 B	11,85			
	6 A	12,62			
	6 B	12,22			
A10%	3 A	11,35	11,62	0,99	8,48
	3 B	12,29			
	4 A	12,37			
	4 B	12,46			
	5 A	11,38			
	5 B	9,88			
B10%	4 A	11,61	10,96	1,27	11,87
	4 B	10,06			

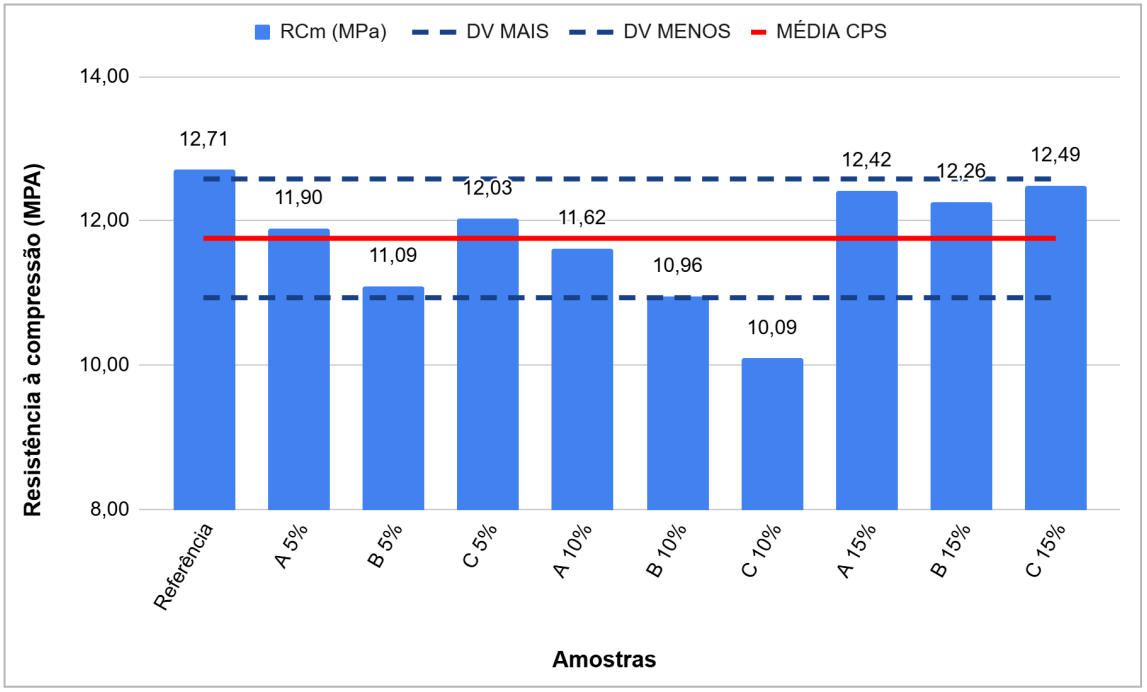
Amostras	CP	RC (MPa)	RCm (MPa)	DV (MPa)	CV (%)
	5 A	11,09			
	5 B	8,88			
	6 A	12,22			
	6 B	11,90			
C10%	4 A	10,33	10,09	0,52	5,13
	4 B	10,59			
	5 A	9,48			
	5 B	9,89			
	6 A	10,69			
	6 B	9,59			
A15%	1 A	12,47	12,42	0,88	7,08
	1 B	12,07			
	2 A	11,10			
	2 B	12,17			
	3 A	13,04			
	3 B	13,66			
B15%	1 A	11,62	12,26	0,48	3,98
	1 B	12,54			
	2 A	12,66			
	2 B	12,34			
	3 A	11,81			
	3 B	12,59			
C15%	1 A	12,78	12,49	0,95	7,62
	1 B	13,39			
	2 A	10,78			
	2 B	12,23			
	3 A	13,30			
	3 B	12,45			

Fonte: Autor (2026).

DV: Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação.

A Figura 26 apresenta as resistências médias à compressão das composições, em comparação com a média geral do ensaio e os limites definidos pelo desvio padrão.

Figura 26 – Resultado dos ensaios de resistência à compressão.



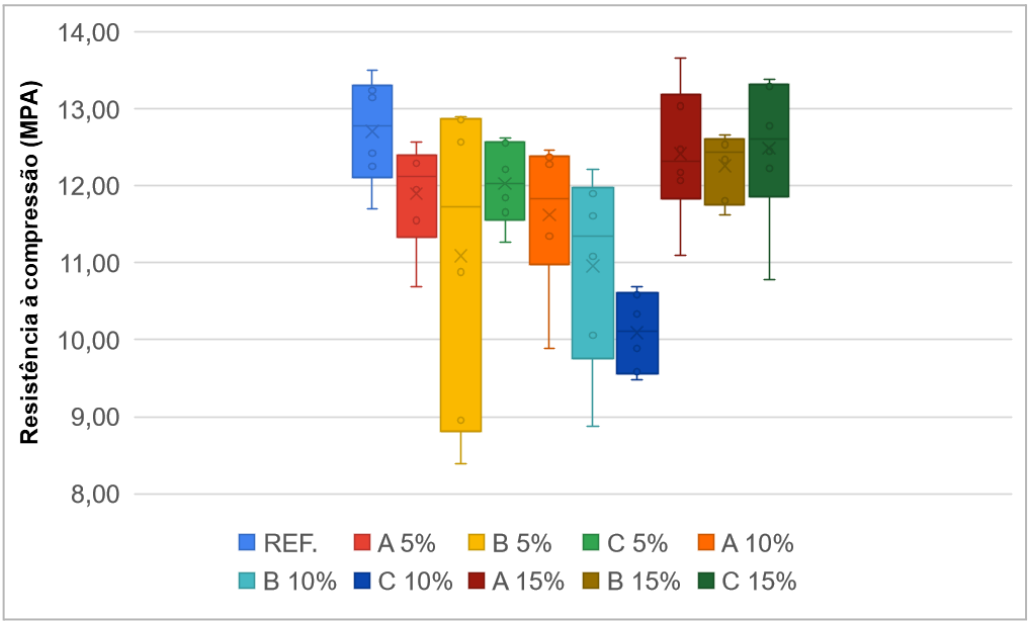
Fonte: Autor (2026).

DV MAIS: Desvio padrão somado a média geral dos resultados; DV MENOS: Desvio padrão subtraído a média geral dos resultados.

A argamassa de referência apresentou a maior resistência média, de 12,71 MPa. Entre as misturas com RBRO, destacaram-se os teores de 15%, cujas médias variaram de 12,26 a 12,49 MPa, aproximando-se do valor obtido para a referência. Em contrapartida, a composição C 10% apresentou a menor resistência, de 10,09 MPa, evidenciando uma redução em relação às demais formulações. De modo geral, os resultados indicam melhor desempenho das misturas com 15% de substituição, independentemente do tipo de resíduo utilizado.

A Figura 27 permite analisar a distribuição dos resultados individuais e a variabilidade das resistências em cada composição.

Figura 27 – Resultado dos ensaios de resistência à compressão.

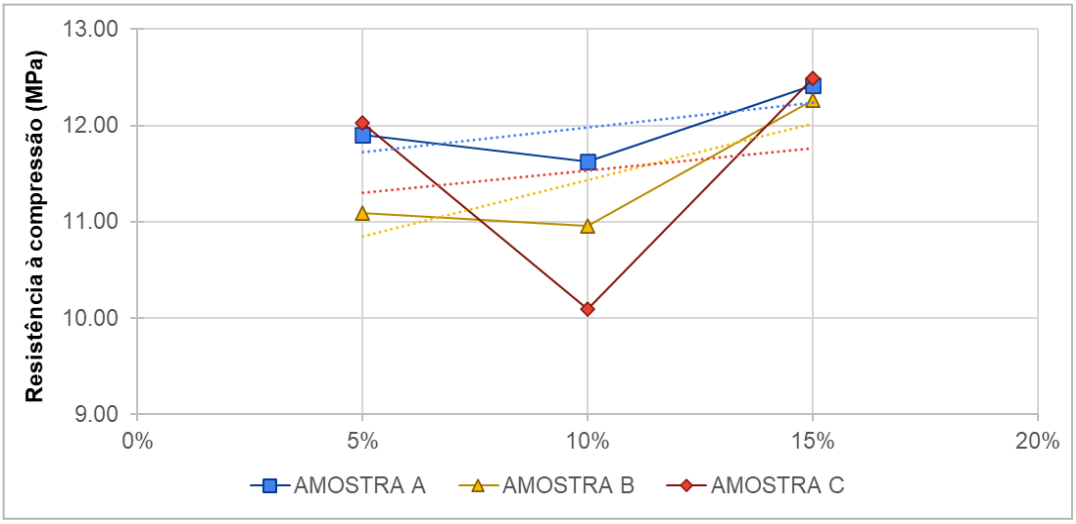


Fonte: Autor (2026).

As misturas de referência e aquelas com 15% de substituição apresentaram médias elevadas, acompanhadas de dispersão relativamente reduzida. Por outro lado, a composição B 5% apresentou maior variabilidade, enquanto C 10% reuniu a menor média entre os traços avaliados. Essa diferença evidencia que o desempenho mecânico depende tanto do teor de substituição quanto das características do resíduo empregado.

A Figura 28 ilustra a evolução da resistência à compressão por amostra (A, B e C) em função dos teores de substituição.

Figura 28 – Resultado dos ensaios de resistência à compressão por amostra.

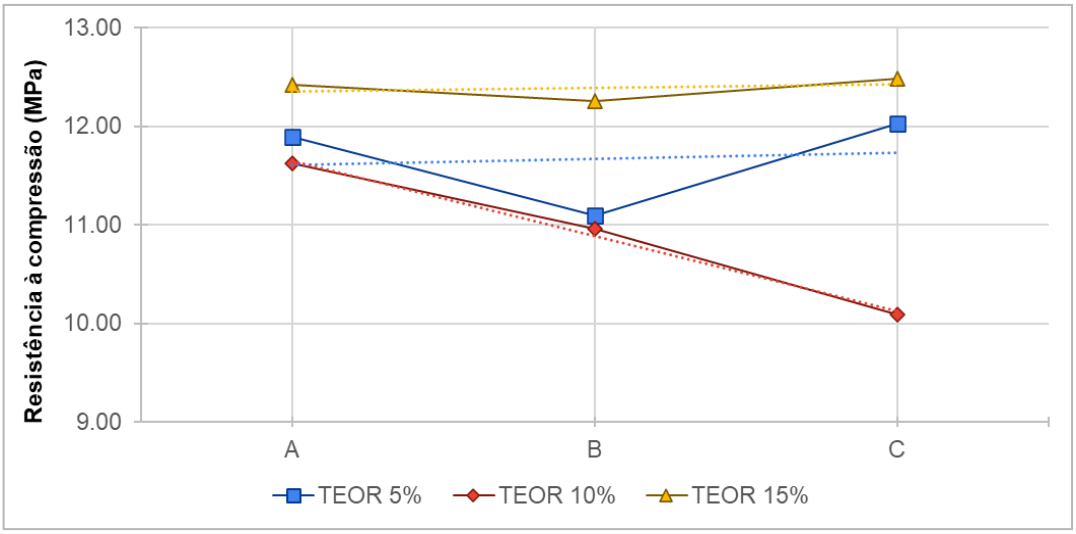


Fonte: Autor (2026).

A análise das médias evidencia comportamentos distintos entre as amostras. A amostra A apresentou menor variação entre os teores avaliados, com redução da resistência em 10% e posterior aumento em 15%. As amostras B e C também apresentaram redução em 10%, seguida de recuperação no teor de 15%. Apesar dessas diferenças, as três amostras alcançaram suas maiores resistências médias no teor de 15%.

A Figura 29 apresenta os resultados da resistência à compressão agrupados por teor de substituição em função do tipo de amostra (A, B e C).

Figura 29 – Resultado dos ensaios de compressão por teor de substituição.



Fonte: Autor (2026).

Ao comparar as amostras, observa-se que, aos 5%, A e C apresentaram médias próximas, enquanto B registrou o menor resultado. Aos 10%, as diferenças entre os tipos de resíduo foram mais acentuadas, com destaque para a menor resistência da amostra C. Já aos 15%, as três amostras apresentaram resultados próximos, com médias entre 12,26 e 12,49 MPa. Portanto, nesse teor, a variação da resistência entre os diferentes tipos de RBRO foi menos expressiva.

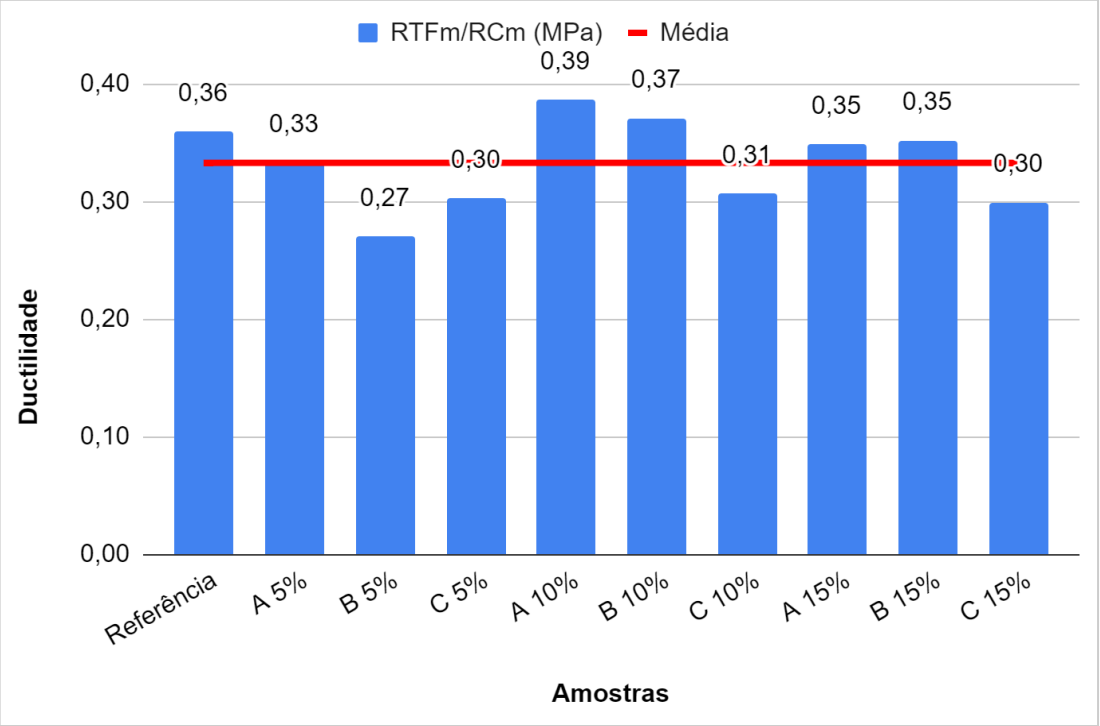
Os resultados também se aproximaram daqueles apresentados por Lopes (2020), que obteve resistências à compressão entre 10,9 e 14,1 MPa em argamassas com incorporação de RBRO. No presente estudo, os valores variaram de 10,09 a 12,49 MPa, situando-se em faixa próxima à observada pela autora. Embora existam diferenças entre os materiais e os percentuais de substituição empregados, essa comparação permite contextualizar os resultados obtidos em relação a outras pesquisas sobre a utilização de resíduos de rochas ornamentais em argamassas.

Silva (2019), por sua vez, identificou redução da resistência à compressão com o aumento dos teores de substituição da areia por resíduos de rochas ornamentais, sendo a composição com 10% a de melhor desempenho entre as misturas com resíduo. A autora relacionou esse comportamento, entre outros fatores, à granulometria fina do material e ao aumento da demanda de água para manutenção da trabalhabilidade, especialmente nos maiores teores de incorporação. No presente estudo, também foram observadas reduções das resistências médias nas composições com 10%. Entretanto, aos 15%, houve recuperação dos valores, que se aproximaram dos obtidos pela argamassa de referência.

Essa recuperação também foi observada na análise dos resultados da amostra B, que apresentou maior teor de ar incorporado e menor densidade de massa em todas as dosagens. Essas características podem ter contribuído para o desempenho inferior de B5% e B10%, considerando a possível influência do maior volume de vazios na resistência mecânica. Em B15%, contudo, a resistência alcançou 12,26 MPa, aproximando-se dos resultados de A15% e C15%. Embora esse comportamento possa estar relacionado a alterações no empacotamento das partículas, não é possível atribuí-lo exclusivamente a esse mecanismo com os resultados disponíveis.

Na sequência, a Figura 30 apresenta os resultados do índice de ductilidade, determinado pela razão entre a resistência média à tração na flexão e a resistência média à compressão (RTFm/RCm), para as diferentes composições analisadas.

Figura 30 – Resultado da ductilidade (RTFm/RCm).



Fonte: Autor (2026).

O índice calculado pela razão entre a resistência média à tração na flexão e a resistência média à compressão (RTFm/RCm) apresentou variações entre as composições avaliadas. Os maiores valores foram observados nas misturas A10% (0,39) e B10% (0,37), enquanto B5% apresentou o menor índice (0,27). A argamassa de referência registrou 0,36, e as composições C5% e C15% apresentaram valores de 0,30. Considerando que essa relação expressa a resistência à tração na flexão em relação à resistência à compressão, os resultados indicam que A10% e B10% apresentaram maior resistência relativa à tração na flexão. Em contrapartida, o menor valor observado em B5% indica uma menor proporção entre essas propriedades.

6.6 Resistência de aderência à tração

Para o ensaio de resistência de aderência à tração, foram selecionadas três composições, não sendo avaliados todos os traços inicialmente propostos. A seleção foi baseada nos resultados de resistência à tração na flexão, considerando

os valores médios e a dispersão dos resultados de cada mistura. Assim, foram escolhidas as composições A10%, B10% e C5%, conforme os dados apresentados na Tabela 05.

Tabela 05 – Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão.

Teor escolhido	AMOSTRA A			
10%	Teor (%)	Média (MPa)	DV (MPa)	CV (%)
	5	3,96	0,27	6,93
	10	4,49	0,21	4,77
	15	4,33	0,30	7,05
	AMOSTRA B			
10%	5	3,00	1,08	36,03
	10	4,06	0,83	20,33
	15	4,31	0,48	11,18
	AMOSTRA C			
5%	5	3,64	0,22	6,04
	10	3,09	0,17	5,50
	15	3,73	0,24	6,40

Fonte: Autor (2026).

A composição A10% foi selecionada por apresentar a maior resistência média à tração na flexão entre os teores avaliados para a amostra A (4,49 MPa), associada ao menor coeficiente de variação (4,77%), indicando menor dispersão dos resultados.

Para a amostra B, selecionou-se o teor de 10%, que apresentou resistência média à tração na flexão de 4,06 MPa, superior à obtida com 5% (3,00 MPa). Embora o teor de 15% tenha apresentado resistência média mais elevada (4,31 MPa), optou-se pela composição B10% devido à diferença expressiva entre os coeficientes de variação dos teores de 5% (36,03%) e 15% (11,18%). Assim, o teor de 10%, com coeficiente de variação de 20,33%, foi considerado uma condição intermediária de dispersão dos resultados, permitindo avaliar o comportamento da argamassa entre essas duas condições.

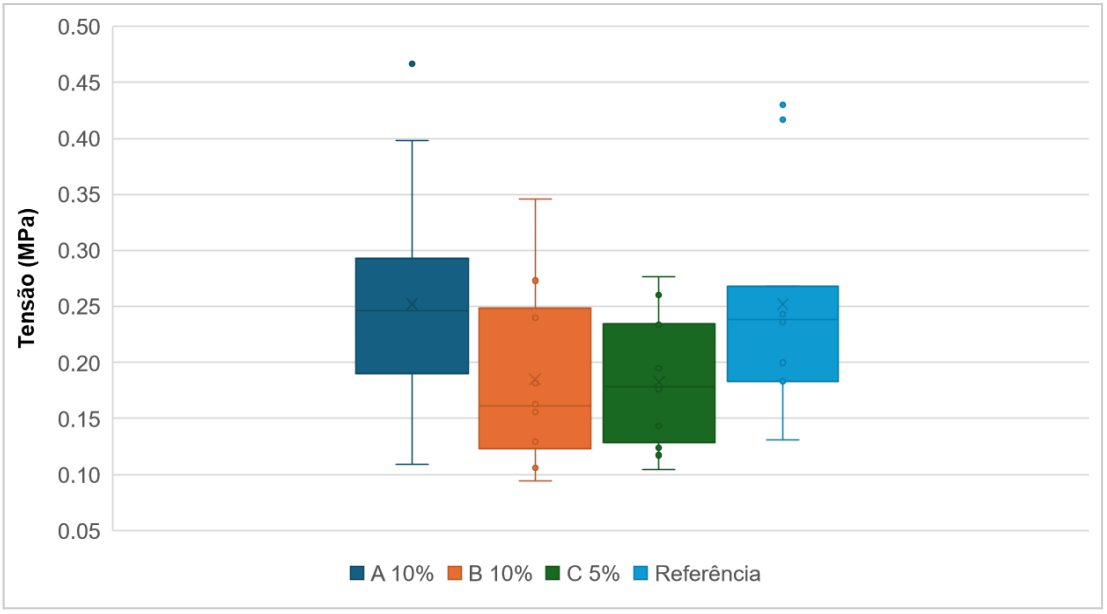
Para a amostra C, selecionou-se o teor de 5%, que apresentou resistência média de 3,64 MPa, superior à obtida com 10% (3,09 MPa), e baixa dispersão dos resultados, com coeficiente de variação de 6,04%. Embora o teor de 15% tenha alcançado média ligeiramente superior (3,73 MPa), a escolha do teor de 5%

considerou o conjunto dos resultados e os critérios definidos para a seleção das composições.

Dessa forma, foram definidas três misturas para a avaliação da resistência de aderência à tração. Essa seleção permitiu limitar o número de composições ensaiadas, utilizando como referência o comportamento observado na resistência à tração na flexão.

A Figura 31 apresenta a distribuição dos resultados de resistência de aderência à tração das composições selecionadas e da argamassa de referência, permitindo comparar as médias e a variabilidade dos valores obtidos.

Figura 31 – Resultado dos ensaios de aderência à tração.



Fonte: Autor (2026).

A composição A10% apresentou resistência média de aderência à tração de 0,25 MPa, igual à da argamassa de referência. As misturas B10% e C5% registraram médias inferiores, de 0,18 MPa e 0,19 MPa, respectivamente. A distribuição dos resultados também evidencia diferenças na dispersão dos valores entre as composições, com a ocorrência de observações isoladas em níveis mais elevados de resistência para A10% e para a referência. Esses resultados indicam que o desempenho de aderência variou conforme a composição da argamassa, sendo que A10% apresentou média equivalente à do traço de referência.

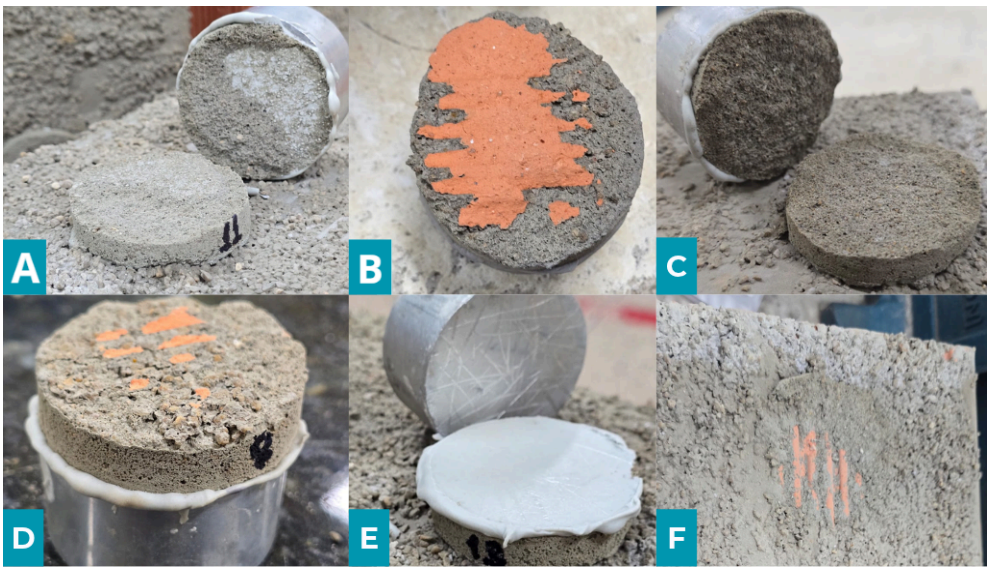
Carasek (2010) destaca que a granulometria do agregado miúdo exerce influência sobre a trabalhabilidade e a resistência de aderência das argamassas. Segundo a autora, areias excessivamente grossas podem dificultar a aplicação da

argamassa ao substrato, reduzindo sua extensão de aderência. Por outro lado, entre as composições que apresentam trabalhabilidade adequada, aquelas produzidas com areias de granulometria relativamente mais grossa podem alcançar maiores valores de resistência de aderência em comparação às que utilizam areias muito finas. A autora também ressalta que teores elevados de partículas finas, especialmente inferiores a 0,075 mm, podem prejudicar a aderência, uma vez que interferem na sucção de água pelo substrato e na formação da interface.

Nesse contexto, as alterações granulométricas decorrentes da substituição parcial da areia pelo resíduo de beneficiamento de RBRO podem ter contribuído para as diferenças observadas nos resultados de resistência de aderência à tração. A incorporação do resíduo modifica a composição do agregado miúdo e, consequentemente, as características da mistura, podendo influenciar sua trabalhabilidade e a interação com as camadas do sistema de revestimento. Cabe ressaltar, entretanto, que essa relação representa uma possível explicação para o comportamento observado, uma vez que a influência específica da distribuição granulométrica sobre a aderência depende também do teor de finos e das características do substrato.

Além da resistência de aderência, foi realizada uma avaliação visual dos corpos de prova após a ruptura, com o objetivo de identificar os planos de falha no sistema de revestimento. Foram observados seis tipos de ruptura, apresentados na Figura 32, considerando as interfaces e os materiais constituintes do sistema, incluindo substrato, chapisco, argamassa, cola e pastilha. A identificação dessas ocorrências auxilia na interpretação dos resultados, uma vez que a resistência medida está associada ao local em que ocorre a ruptura.

Figura 32 – Tipos de ruptura observados nos ensaios de resistência de aderência à tração.



Fonte: Autor (2026).

(a) Ruptura na cola/argamassa; (b) Ruptura no substrato; (c) Ruptura na argamassa; (d) Ruptura no substrato/chapisco; (e) Ruptura na cola; (f) Ruptura no chapisco.

A distribuição dos tipos de ruptura nas três composições está apresentada na Tabela 06, permitindo identificar a frequência de ocorrência de cada plano de falha e complementar a interpretação dos resultados de resistência de aderência.

Tabela 06 – Resultado dos ensaios de aderência à tração.

Amostras			
Forma de ruptura	**A10%**	**B10%**	**C5%**
	Quantidade		
Chapisco	6	3	4
Cola / Argamassa	2		
Cola	1	3	2
Argamassa	2		2
Substrato / Chapisco	1	2	2
Substrato	2	2	2

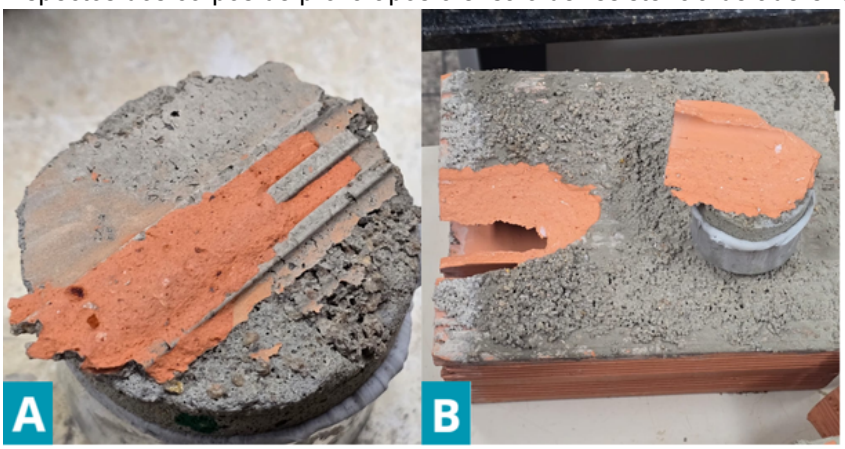
Fonte: Autor (2026).

Observa-se que a ruptura no chapisco foi predominante nas três composições. Também foram registradas rupturas na interface (cola/argamassa), no interior da argamassa, na interface (substrato/chapisco), no substrato e na própria cola.

A análise dos locais de ruptura permite complementar os resultados de resistência de aderência, uma vez que, conforme Carasek (2010), as falhas podem ser classificadas como coesivas, quando ocorrem no interior dos materiais, ou adesivas, quando ocorrem nas interfaces. Nas composições avaliadas, a predominância de rupturas no chapisco pode indicar menor resistência dessa camada. Já as falhas no interior da argamassa podem estar relacionadas à sua coesão ou à integração entre as camadas durante a aplicação.

Além dessas ocorrências, foram observadas rupturas dos blocos, indicando que, nesses pontos, a resistência do substrato foi inferior à da ligação entre as camadas do revestimento. Também houve casos em que a argamassa permaneceu aderida diretamente ao substrato, com o destacamento do chapisco, conforme ilustrado na Figura 33.

Figura 33 – Aspectos dos corpos de prova após o ensaio de resistência de aderência à tração.



Fonte: Autor (2026).

(a) Ruptura no substrato com arrancamento parcial do bloco cerâmico aderido à pastilha de ensaio; (b) Ruptura no substrato evidenciando a separação e o destacamento do bloco cerâmico na base.

Assim, embora A 10% tenha apresentado resistência média equivalente à da referência (0,25 MPa), a distribuição das rupturas demonstra que as falhas ocorreram em diferentes regiões do sistema, indicando a influência tanto das propriedades dos materiais quanto das condições de ligação entre as camadas.

6.7 Análise Estatística

6.7.1 Índice de consistência

Para avaliar a influência do tipo de resíduo de rocha ornamental e do teor de substituição sobre o índice de consistência das argamassas, os resultados foram organizados em função desses dois fatores, conforme apresentado na Tabela 07. Para cada combinação entre tipo de rocha e teor de substituição, foram considerados três resultados experimentais.

Tabela 07 – Resultado do ensaio de índice de consistência das argamassas (mm).

Tipo de Rocha	Teores de Substituição		
	5%	10%	15%
A	256	275	310
A	250	270	305
A	258	266	303
B	264	305	281
B	256	306	286
B	270	300	287
C	281	279	305
C	278	280	303
C	268	275	300

Fonte: Autor (2026).

A análise estatística foi realizada por meio da análise de variância (ANOVA) de dois fatores com repetição, considerando o tipo de rocha, o teor de substituição e a interação entre esses fatores. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 08 e 09.

Tabela 08 – ANOVA do ensaio de índice de consistência das argamassas.

Anova: fator duplo com repetição				
RESUMO	**0,05**	**0,1**	**0,15**	**Total**
A				
Contagem	3	3	3	9

Soma	764	811	918	2493
Média	254,6666667	270,3333333	306	277
Variância	17,33333333	20,33333333	13	531,75
B				
Contagem	3	3	3	9
Soma	790	911	854	2555
Média	263,3333333	303,6666667	284,6666667	283,8888889
Variância	49,33333333	10,33333333	10,33333333	322,8611111
C				
Contagem	3	3	3	9
Soma	827	834	908	2569
Média	275,6666667	278	302,6666667	285,4444444
Variância	46,33333333	7	6,333333333	182,7777778
Total				
Contagem	9	9	9	
Soma	2381	2556	2680	
Média	264,5555556	284	297,7777778	
Variância	111,7777778	238	106,1944444	

Fonte: Autor (2026).

Tabela 09 – Síntese do ANOVA para o ensaio de consistência.

ANOVA						
Fonte da variação	***SQ***	***gl***	***MQ***	***F***	***valor-P***	***F crítico***
Amostra	363,555556	2	181,777778	9,072089	0,001884115	3,554557
Colunas	5014,888889	2	2507,444444	125,140481	2,75514E-11	3,554557
Interações	2923,555556	4	730,888889	36,476895	2,09346E-08	2,927744
Dentro	360,666667	18	20,037037			
Total	8662,666667	26				

Fonte: Autor (2026).

A ANOVA indicou efeitos estatisticamente significativos para o tipo de rocha ($p = 0,00188$), para o teor de substituição ($p < 0,001$) e para a interação entre os fatores ($p < 0,001$), considerando nível de significância de 5%. Esses resultados indicam que o índice de consistência variou em função dos dois fatores e que o efeito do teor de substituição dependeu do tipo de resíduo utilizado.

Diante da interação significativa, foi necessário realizar o desdobramento dos efeitos por meio de comparações entre as médias das nove combinações de rocha e teor. O teste de Tukey foi utilizado para identificar quais tratamentos diferiram estatisticamente entre si, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Demonstrativo dos resultados do teste de Tukey para o ensaio de consistência.

Comparação das Amostras (Linhas: A, B e C)			
Rocha A vs Rocha B	há diferença estatística		
	6,89 mm	>	5,39 mm
Rocha A vs Rocha C	há diferença estatística		
	8,44 mm	>	5,39 mm
Rocha B vs Rocha C	não há diferença estatística		
	1,56 mm	<	5,39 mm
Comparação dos Teores (Colunas: 0,05; 0,10 e 0,15)			
10% vs 5%	há diferença estatística		
	19,44 mm	>	5,39 mm
10% vs 15%	há diferença estatística		
	33,22 mm	>	5,39 mm
5% vs 15%	há diferença estatística		
	13,78 mm	>	5,39 mm

Fonte: Autor (2026).

Como a interação entre o tipo de amostra e o teor de substituição foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$), a interpretação dos resultados deve considerar as nove combinações individuais entre amostras e teores. Para essa comparação, adotou-se o valor de $q = 4,96$, resultando em uma diferença mínima significativa (DMS) de 12,82 mm. Assim, diferenças entre as médias das

combinações iguais ou superiores a 12,82 mm foram consideradas estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade.

Os agrupamentos das médias obtidas pelo teste de Tukey para cada tratamento estão sintetizados na Tabela 11.

Tabela 11 – Agrupamento das médias do índice de consistência.

Amostras	Teores de Substituição		
	5%	10%	15%
A	a	b	c
B	a	b	c
C	a	a	b

Fonte: Autor (2026).

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey.

A análise do desdobramento da interação apresentada na Tabela 11 revela comportamentos distintos entre as rochas avaliadas:

- Amostra A: Todos os teores de substituição (5%, 10% e 15%) apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si, evidenciando um aumento progressivo e contínuo do índice de consistência conforme se elevou o percentual do resíduo.
- Amostra B: O teor de 10% destacou-se por apresentar um pico isolado de fluidez, diferindo significativamente tanto do teor de 5% quanto do teor de 15%.
- Amostra C: Não foi observada diferença estatisticamente significativa entre os teores de 5% e 10% ($p > 0,05$); contudo, ambos diferiram significativamente do teor de 15%, no qual se registou o maior espalhamento para esta rocha.

6.7.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Os resultados do ensaio de densidade de massa foram submetidos à ANOVA de dois fatores com repetição, considerando o tipo de resíduo, o teor de substituição e a interação entre ambos. As estatísticas descritivas e os resultados da análise de variância estão apresentados nas Tabelas 12 e 13, respectivamente.

Tabela 12 – Análise do ensaio de densidade.

Anova: fator duplo com repetição				
RESUMO	**0,05**	**0,1**	**0,15**	**Total**
A				
Contagem	3	3	3	9
Soma	5,68020	5,43940	5,50880	16,62840
Média	1,89340	1,81313	1,83627	1,84760
Variância	0,00062	0,00066	0,00108	0,00187
B				
Contagem	3	3	3	9
Soma	5,47813	5,32616	5,35568	16,15997
Média	1,82604	1,77539	1,78523	1,79555
Variância	0,00032	0,00109	0,00117	0,00118
C				
Contagem	3	3	3	9
Soma	5,70777	5,45765	5,49243	16,65786
Média	1,90259	1,81922	1,83081	1,85087
Variância	0,00044	0,00114	0,00090	0,00215
Total				
Contagem	9	9	9	
Soma	16,86610	16,22322	16,35692	
Média	1,87401	1,80258	1,81744	
Variância	0,00166	0,00114	0,00138	

Fonte: Autor (2026).

Tabela 13 – Síntese do ANOVA para o ensaio de densidade.

ANOVA						
Fonte da variação	***SQ***	***gl***	***MQ***	***F***	***valor-P***	***F crítico***
Amostra	0,017340	2	0,008670	10,529590	0,000937	3,554557
Colunas	0,025571	2	0,012786	15,528048	0,000121	3,554557

Interações	0,001236	4	0,000309	0,375384	0,823153	2,927744
Dentro	0,014821	18	0,000823			
Total	0,058969	26				

Fonte: Autor (2026).

A análise identificou efeitos estatisticamente significativos do tipo de rocha (p = 0,00094) e do teor de substituição (p = 0,00012). Entretanto, a interação entre os fatores não foi significativa (p = 0,82315), indicando que não houve evidência estatística de que o efeito do teor de substituição sobre a densidade variasse conforme o tipo de resíduo.

Diante da ausência de interação significativa, foram avaliados os efeitos principais separadamente, por meio do teste de Tukey, considerando nível de significância de 5%, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Demonstrativo dos resultados do teste de Tukey para ensaio de densidade.

Comparação das Amostras (Linhas: A, B e C)			
Rocha A vs Rocha B	há diferença estatística		
	0,052 kg/m³	>	0,035 kg/m³
Rocha A vs Rocha C	não há diferença estatística		
	0,003 kg/m³	<	0,035 kg/m³
Rocha B vs Rocha C	há diferença estatística		
	0,055 kg/m³	>	0,035 kg/m³
Comparação dos Teores (Colunas: 0,05; 0,10 e 0,15)			
10% vs 5%	há diferença estatística		
	0,071 kg/m³	>	0,035 kg/m³
10% vs 15%	não há diferença estatística		
	0,015 kg/m³	<	0,035 kg/m³
5% vs 15%	há diferença estatística		
	0,057 kg/m³	>	0,035 kg/m³

Fonte: Autor (2026).

Pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$), constatou-se que a Rocha B resultou em uma densidade estatisticamente inferior às Rochas A e C, as quais não diferiram entre si. Em relação aos teores, a substituição de 5% proporcionou a maior densidade média (1,8740 g/cm³), sendo estatisticamente superior aos teores de 10% e 15%, os quais apresentaram desempenho equivalente.

A avaliação do teor de ar incorporado também foi realizada por ANOVA de dois fatores com repetição. Os resultados descritivos e a análise de variância estão apresentados nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15 – Análise do ensaio de ar incorporado à mistura.

Anova: fator duplo com repetição				
RESUMO	**0,05**	**0,1**	**0,15**	**Total**
A				
Contagem	3	3	3	9
Soma	47,92	58,61	55,52	162,05
Média	15,97333333	19,53666667	18,50666667	18,00555556
Variância	1,228133333	1,295233333	2,112233333	3,680902778
B				
Contagem	3	3	3	9
Soma	56,89	63,63	62,31	182,83
Média	18,96333333	21,21	20,77	20,31444444
Variância	0,640033333	2,1424	2,2963	2,332827778
C				
Contagem	3	3	3	9
Soma	46,7	57,8	56,25	160,75
Média	15,56666667	19,26666667	18,75	17,86111111
Variância	0,870533333	2,245633333	1,7823	4,235936111
Total				
Contagem	9	9	9	
Soma	151,51	180,04	174,08	
Média	16,83444444	20,00444444	19,34222222	
Variância	3,265027778	2,252002778	2,705494444	

Fonte: Autor (2026).

Tabela 16 – Síntese do ANOVA para o ensaio de ar incorporado à mistura.

ANOVA						
Fonte da variação	***SQ***	***gl***	***MQ***	***F***	***valor-P***	***F crítico***
Amostra	34,112030	2	17,056015	10,504772	0,000948	3,554557
Colunas	50,329163	2	25,164581	15,498825	0,000122	3,554557
Interações	2,442570	4	0,610643	0,376094	0,822662	2,927744
Dentro	29,225600	18	1,623644			
Total	116,109363	26				

Fonte: Autor (2026).

Verificaram-se efeitos estatisticamente significativos para o tipo de rocha (p = 0,00095) e para o teor de substituição (p = 0,00012). A interação entre os fatores não foi significativa (p = 0,82266), permitindo avaliar separadamente seus efeitos principais.

Tabela 17 – Demonstrativo dos resultados do teste de Tukey para ar incorporado.

Comparação das Amostras (Linhas: A, B e C)			
Rocha A vs Rocha B	há diferença estatística		
	2,31 %	>	1,53 %
Rocha A vs Rocha C	não há diferença estatística		
	0,14 %	<	1,53 %
Rocha B vs Rocha C	há diferença estatística		
	2,45 %	>	1,53 %
Comparação dos Teores (Colunas: 0,05; 0,10 e 0,15)			
10% vs 5%	há diferença estatística		
	3,17 %	>	1,53 %
10% vs 15%	não há diferença estatística		
	0,66 %	<	1,53 %

5% vs 15%	há diferença estatística		
	2,51 %	>	1,53 %

Fonte: Autor (2026).

Pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$), constatou-se que a Rocha B resultou num teor de ar incorporado (20,31%) estatisticamente superior às Rochas A (18,01%) e C (17,86%), as quais não diferiram entre si. Em relação aos teores, a substituição de 5% proporcionou o menor teor de ar incorporado médio (16,83%), sendo estatisticamente inferior aos teores de 10% (20,00%) e 15% (19,34%), os quais apresentaram desempenho equivalente entre si.

6.7.3 Absorção de água por capilaridade

Os resultados de absorção de água por capilaridade foram avaliados por ANOVA de dois fatores com repetição, conforme apresentado nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 – Análise do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Anova: fator duplo com repetição				
RESUMO	**0,05**	**0,1**	**0,15**	**Total**
A				
Contagem	3	3	3	9
Soma	0,0648	0,094	0,1628	0,3216
Média	0,0216	0,031333333	0,054266667	0,035733333
Variância	2,191E-05	7,84233E-05	8,62333E-06	0,000238213
B				
Contagem	3	3	3	9
Soma	0,0249	0,1277	0,1825	0,3351
Média	0,0083	0,042566667	0,060833333	0,037233333
Variância	0,00000273	5,85333E-06	7,50333E-06	0,000537475
C				
Contagem	3	3	3	9
Soma	0,1559	0,1291	0,1496	0,4346
Média	0,051966667	0,043033333	0,049866667	0,048288889

Variância	0,000142563	9,05333E-06	2,96133E-05	6,16711E-05
Total				
Contagem	9	9	9	
Soma	0,2456	0,3508	0,4949	
Média	0,027288889	0,038977778	0,054988889	
Variância	0,000417526	5,62444E-05	3,42786E-05	

Fonte: Autor (2026).

Tabela 19 – Síntese do ANOVA para o ensaio de absorção de água por capilaridade.

ANOVA						
Fonte da variação	***SQ***	***gl***	***MQ***	***F***	***valor-P***	***F crítico***
Amostra	0,000846	2	0,000423176	12,435243	0,000406	3,554557
Colunas	0,003481	2	0,001740414	51,142955	0,000000	3,554557
Interações	0,002605	4	0,000651374	19,140953	0,000003	2,927744
Dentro	0,000613	18	3,40304E-05			
Total	0,007545	26				

Fonte: Autor (2026).

Foram identificados efeitos significativos do tipo de rocha (p = 0,00041), do teor de substituição (p < 0,001) e da interação entre esses fatores (p = 0,000003).

A interação significativa indica que a influência do teor de RBRO sobre a absorção capilar variou conforme o tipo de resíduo. Por esse motivo, a interpretação foi direcionada às combinações individuais entre rocha e teor, utilizando o teste de Tukey a 5% de significância.

Conforme apresentado na Tabela 20, a composição B 5% apresentou a menor média de absorção capilar (0,0083, na unidade adotada para o ensaio), enquanto B 15% registrou a maior média (0,0608).

Tabela 20 – Agrupamento das médias da absorção por capilaridade pelo teste de Tukey.

Tratamento	Média (g/cm²)	Grupo Tukey (α=0,05)
B5%	0,0083	**a**
A5%	0,0216	**ab**
A10%	0,0313	**bc**
B10%	0,0426	**cd**
C10%	0,0430	**cd**
C15%	0,0499	**de**
C5%	0,0520	**de**
A15%	0,0543	**de**
B15%	0,0608	**e**

Fonte: Autor (2026).

Médias acompanhadas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

A composição A também apresentou aumento da absorção com a elevação do teor, passando de 0,0216, em 5%, para 0,0543, em 15%. Na amostra C, por sua vez, os valores permaneceram relativamente próximos entre os três teores, variando de 0,0430 a 0,0520.

O comportamento observado demonstra que o aumento do teor de substituição esteve associado à elevação da absorção capilar nas amostras A e B, enquanto a amostra C apresentou menor variação entre os teores. Esses resultados reforçam a existência de uma interação entre os fatores e indicam que o efeito da incorporação do resíduo depende das características da rocha utilizada.

A interpretação das diferenças entre as médias deve considerar os agrupamentos estatísticos do teste de Tukey, apresentados na Tabela 20, uma vez que a proximidade numérica entre dois resultados não determina, isoladamente, a existência ou ausência de diferença significativa.

6.7.4 Resistência à tração na flexão

A resistência à tração na flexão foi analisada por ANOVA de dois fatores com repetição, considerando os tipos de resíduo e os teores de substituição. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 21 e 22.

Tabela 21 – Análise do ensaio de resistência à tração na flexão.

Anova: fator duplo com repetição				
RESUMO	**0,05**	**0,1**	**0,15**	**Total**
A				
Contagem	3	3	3	9
Soma	11,88351563	13,47487348	12,97790264	38,33629175
Média	3,961171875	4,491624494	4,325967548	4,259587972
Variância	0,075392413	0,045849161	0,092949928	0,108785136
B				
Contagem	3	3	3	9
Soma	8,986297164	12,18684832	12,94252404	34,11566953
Média	2,995432388	4,062282774	4,314174679	3,790629947
Variância	1,164750634	0,682357721	0,232532805	0,887497854
C				
Contagem	3	3	3	9
Soma	10,9134718	9,273504192	11,19711538	31,38409138
Média	3,637823933	3,091168064	3,732371795	3,487121264
Variância	0,048293625	0,028938381	0,057014165	0,123425813
Total				
Contagem	9	9	9	
Soma	31,78328459	34,935226	37,11754207	
Média	3,531476065	3,881691777	4,124171341	
Variância	0,503343361	0,575370854	0,181997923	

Fonte: Autor (2026).

Tabela 22 – Síntese do ANOVA para o ensaio de resistência à tração na flexão.

ANOVA						
Fonte da variação	***SQ***	***gl***	***MQ***	***F***	***valor-P***	***F crítico***
Amostra	2,726232	2	1,363116	5,052572	0,018129	3,554557
Colunas	1,598205	2	0,799103	2,961981	0,077260	3,554557

ANOVA						
Fonte da variação	***SQ***	***gl***	***MQ***	***F***	***valor-P***	***F crítico***
Interações	2,503308	4	0,625827	2,319711	0,096314	2,927744
Dentro	4,856158	18	0,269787			
Total	11,683902	26				

Fonte: Autor (2026).

A análise indicou efeito estatisticamente significativo do tipo de rocha (p = 0,01813). Por outro lado, não foram observados efeitos significativos do teor de substituição (p = 0,07726) nem da interação entre os fatores (p = 0,09631), considerando o nível de significância de 5%.

Como a interação não foi significativa, procedeu-se à comparação dos efeitos principais. O teste de Tukey, apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 – Demonstrativo dos resultados do teste de Tukey para o ensaio de tração na flexão.

Comparação das Amostras (Linhas: A, B e C)			
Rocha A vs Rocha B	não há diferença estatística		
	0,47 MPa	<	0,63 MPa
Rocha A vs Rocha C	há diferença estatística		
	0,77 MPa	>	0,63 MPa
Rocha B vs Rocha C	não há diferença estatística		
	0,30 MPa	<	0,63 MPa

Fonte: Autor (2026).

O teste indicou que a amostra A apresentou a maior resistência média à tração na flexão (4,26 MPa), diferindo significativamente da amostra C (3,49 MPa). A amostra B apresentou média de 3,79 MPa, sem diferença estatisticamente significativa em relação às amostras A e C.

Embora as médias tenham aumentado de 3,53 MPa, no teor de 5%, para 3,88 MPa, em 10%, e 4,12 MPa, em 15%, essa tendência não foi estatisticamente

significativa. Portanto, não há evidência suficiente, com base nesta análise, para afirmar que os teores avaliados influenciaram a resistência à tração na flexão.

Os resultados indicam que o tipo de resíduo exerceu influência sobre essa propriedade, com destaque para o desempenho da amostra A em relação à C, enquanto as diferenças entre os teores não atingiram significância estatística.

6.7.5 Resistência à compressão

Os resultados da resistência à compressão foram submetidos à ANOVA de dois fatores com repetição, conforme apresentado nas Tabelas 24 e 25.

Tabela 24 – Análise do ensaio de compressão.

Anova: fator duplo com repetição				
RESUMO	**0,05**	**0,1**	**0,15**	**Total**
A				
Contagem	6	6	6	18
Soma	71,39875	69,73218623	74,50979167	215,6407279
Média	11,89979167	11,62203104	12,41829861	11,98004044
Variância	0,47338026	0,971868535	0,771960894	0,76741961
B				
Contagem	6	6	6	18
Soma	66,55923401	65,74934451	73,55905449	205,867633
Média	11,09320567	10,95822409	12,25984241	11,43709072
Variância	4,100886199	1,614535586	0,193918976	2,099626294
C				
Contagem	6	6	6	18
Soma	72,17114329	60,56589939	74,92948718	207,6665299
Média	12,02852388	10,09431657	12,48824786	11,53702944
Variância	0,282811758	0,267754969	0,905396724	1,567449385
Total				
Contagem	18	18	18	
Soma	210,1291273	196,0474301	222,9983333	
Média	11,67384041	10,8915239	12,3887963	

Variância	1,609961019	1,253680602	0,560042564	

Fonte: Autor (2026).

Tabela 25 – Síntese do ANOVA para o ensaio de compressão.

ANOVA						
Fonte da variação	***SQ***	***gl***	***MQ***	***F***	***valor-P***	***F crítico***
Amostra	3,006245	2	1,503123	1,411749	0,254303	3,204317
Colunas	20,190034	2	10,095017	9,481348	0,000366	3,204317
Interações	7,283816	4	1,820954	1,710260	0,164369	2,578739
Dentro	47,912570	45	1,064724			
Total	78,392665	53				

Fonte: Autor (2026).

O teor de substituição apresentou efeito estatisticamente significativo (p = 0,00037), enquanto o tipo de rocha (p = 0,25430) e a interação entre os fatores (p = 0,16437) não foram significativos.

A ausência de interação significativa permitiu avaliar o efeito principal do teor de substituição. Pelo teste de Tukey, apresentado na Tabela 26, o teor de 15% alcançou a maior resistência média à compressão (12,39 MPa), diferindo significativamente do teor de 10% (10,89 MPa). Já o teor de 5% apresentou média de 11,67 MPa, sem diferença estatisticamente significativa em relação aos teores de 10% e 15%.

Tabela 26 – Demonstrativo dos resultados do teste de Tukey para o ensaio de compressão.

Comparação dos Teores (Colunas: 0,05; 0,10 e 0,15)			
10% vs 5%	não há diferença estatística		
	0,78 MPa	<	0,83 MPa
10% vs 15%	há diferença estatística		
	1,50 MPa	>	0,83 MPa
5% vs 15%	não há diferença estatística		
	0,71 MPa	<	0,83 MPa

Fonte: Autor (2026).

Esses resultados indicam que o teor de substituição influenciou a resistência à compressão, com desempenho superior da composição com 15% em relação à de 10%. Embora as médias das três amostras tenham sido numericamente próximas no teor de 15%, não foi identificada influência estatisticamente significativa do tipo de rocha nem da interação entre os fatores.

6.7.6 Resistência de aderência à tração

A resistência de aderência à tração foi avaliada por ANOVA de fator único, considerando as três composições selecionadas para o ensaio: A10%, B10% e C5%. Os resultados descritivos e da análise de variância estão apresentados nas Tabelas 27 e 28.

Tabela 27 – Análise do ensaio de aderência à tração.

Anova: fator único				
RESUMO				
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
A10%	10	2,640625506	0,264062551	0,004190312
B10%	10	2,186394411	0,218639441	0,008293985
C5%	10	1,952417017	0,195241702	0,003081387

Fonte: Autor (2026).

Tabela 28 – Síntese do ANOVA para o ensaio de aderência à tração.

ANOVA						
Fonte da variação	***SQ***	***gl***	***MQ***	***F***	***valor-P***	***F crítico***
Entre grupos	0,024490	2	0,012245	2,360006	0,113608	3,354131
Dentro dos grupos	0,140091	27	0,005189			
Total	0,164581	29				

Fonte: Autor (2026).

A análise de variância (ANOVA) revela que o valor-P obtido (0,1136) é superior ao nível de significância adotado (α = 0,05), bem como o valor de F calculado (2,3600) se situa abaixo do $Fcrítico$ (3,3541). Assim, conclui-se que não existem diferenças estatisticamente significativas, ao nível de 5% de significância, na resistência de aderência à tração entre as três composições avaliadas. Este resultado indica que as variações observadas nas médias numéricas refletem apenas oscilações amostrais, demonstrando um comportamento mecânico de aderência equivalente entre as diferentes misturas com RBRO.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou a influência da substituição parcial da areia natural por resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO), provenientes de marmorarias de Porto Velho - RO, na produção de argamassas de revestimento. Os resultados demonstraram que a incorporação desses resíduos influenciou as propriedades das argamassas, com comportamentos distintos em função do tipo de rocha e do teor de substituição empregado.

No estado fresco, as composições apresentaram variações na consistência, na densidade de massa e no teor de ar incorporado. No estado endurecido, a amostra A destacou-se na resistência à tração na flexão, com média de 4,26 MPa. Para a resistência à compressão, o teor de 15% apresentou o melhor resultado entre as misturas com RBRO (12,39 MPa), próximo ao da referência (12,71 MPa). Na absorção de água por capilaridade, B 5% apresentou o menor resultado (0,0083 g/cm²), enquanto B 15% registrou o maior (0,0608 g/cm²). Quanto à resistência de aderência à tração, as composições avaliadas apresentaram resultados estatisticamente semelhantes.

A análise estatística evidenciou que a consistência e a absorção capilar foram influenciadas pela interação entre o tipo de rocha e o teor de substituição, indicando que o efeito de cada teor depende das características do resíduo utilizado. Para as propriedades mecânicas, a resistência à tração na flexão foi influenciada pelo tipo de rocha, com desempenho superior da amostra A em relação à C, enquanto a resistência à compressão apresentou influência do teor, com destaque para 15%. Assim, as composições de melhor desempenho variaram conforme a propriedade considerada, não sendo identificado um único traço superior em todos os ensaios.

Diante dos resultados, os resíduos avaliados apresentam potencial de utilização como substitutos parciais da areia natural em argamassas de revestimento, constituindo uma possibilidade de aproveitamento dos materiais gerados pelo beneficiamento de rochas ornamentais.

Para pesquisas futuras, recomenda-se investigar teores de substituição superiores a 15%, outras variedades de rochas ornamentais e propriedades complementares, como retração e durabilidade, aprofundando a análise do potencial de aplicação desses resíduos na produção de argamassas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Kayrone Marvila de et al. **Estudo bibliográfico da aplicação dos resíduos de rochas ornamentais.** 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 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. **ABNT 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. **ABNT 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. **ABNT NBR 13281-1: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos.** Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17054 : Agregados –Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2022.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13528-2: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas — Determinação da resistência de aderência à tração — Parte 2: Aderência ao substrato**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Especificação**. Rio de Janeiro, 2013.

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

BAHIENSE, Alexandre Vianna. **Dosagem, propriedades mecânicas e durabilidade de argamassas incorporadas com resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais e argilominerais.** 2021.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G.; GUIMARÃES, E. A. Estudo da consistência de argamassas pelo método de penetração estática de cone. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI**, p. 95-105, 2005.

BAUER, ELTON *et al*. Análise comparativa dos requisitos e do desempenho de argamassas de revestimento empregadas em obras do Distrito Federal. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, v. 10, 2013.

BAUER, ELTON et al. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, v. 11, 2015.

BRANCO, LAMN. Revestimentos pétreos: estudo de desempenho frente às técnicas e condições de assentamento. **Minas Gerais. Instituto de Geociências da UFMG**, 2010.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 3 ago. 2010.

CAMILO, Beatriz Queiroga et al. Resíduos sólidos na construção civil: analise da gestão frente aos impactos causados ao meio ambiente. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e32711220994-e32711220994, 2022.

CAMPOS, Antonio Rodrigues de, et al. **Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental.** CETEM/MCTI, 2009.

CARASEK, Helena. Argamassas. In: Isaia, G.C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2ª**ed. São Paulo, IBRACON, 2010. Vol.1.p. 893-943.

COELHO, Adilson Rodrigues et al. Importância do gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 10, p. 10, 2018.

DA ROCHA, Keslei Rosendo; JÚNIOR, Arilton Januário Bacelar. Anova medidas repetidas e seus pressupostos: análise passo a passo de um experimento. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia-ISSN: 1984-5693**, v. 10, p.

29-29, 2018.

DA SILVA MONTENEGRO, Aramys Júlio *et al.* Análise da influência do teor de fibras vegetais nas propriedades de argamassas de revestimento. **Encontro Latino-americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis (euroELECS)**, v. 6, p. 1-9, 2025.

DA SILVA VEIGA, Maria do Rosário. **Comportamento de argamassas de revestimento de paredes Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação**. Universidade do Porto (Portugal), 1998.

DE ASSUNÇÃO, Lucinei Tavares; DE CARVALHO, Geraldo Ferreira; BARATA, Márcio Santos. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e demolição como agregado. **Exacta**, v. 5, n. 2, p. 223-230, 2007.

ERBA, Leandro Augusto. **Influência da substituição parcial de areia natural por areia de britagem em argamassas de revestimento: características, propriedades e condutividade térmica.** 2022.

FERNANDEZ, Jaqueline Aparecida Bória. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil**. 2012.

GEROLLI, Murilo; FLORIAN, Fabiana; DE MARCO, Gerson. REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: TCC. **REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE-ISSN 2763-8928**, v. 1, n. 5, p. e1545-e1545, 2021.

GHIRARDI, Giulia Costa et al. AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM PRODUTOS DE MATRIZ CIMENTÍCIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 6, p. 442-449, 2019.

GUACELLI, Paulo Anélio Garcia. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassas de revestimento.** 2024.

IZA, Edgar Romeo Herrera de Figueiredo; MENDES, Vanildo Almeida. **Panorama do setor de rochas ornamentais do estado de Rondônia.** 2015.

JOHN, Vanderley M.; AGOPYAN, Vahan. Reciclagem de resíduos da construção. **São Paulo**, 2000.

LACORTE, Patricia Maria Ribeiro. **Aproveitamento de resíduos na construção civil.** 2013.

LEITE, Florence Rezende et al. Avaliação do ciclo de vida da produção de argamassas com resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO). In: **Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida.** 2018. p. 567-571.

LEITE, Florence Rezende. **O potencial uso de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais como matéria-prima em argamassas e sua avaliação do ciclo de vida (ACV)**. 2019.

LOPES, Karina Leonetti. Avaliação de argamassa com incorporação de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais. 2020.

MACÊDO, Jeandson Willck Nogueira de. **Argamassa de revestimento produzida a partir da substituição do agregado natural por resíduo de scheelita e pó de pedra.** 2021.

MACÊDO, Ryan Teixeira. **Potencial do resíduo de corte de mármore e granito como matéria-prima alternativa para argamassas de revestimento.** 2025.

MACIEL, Luciana Leone; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, Fernando Henrique. Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos. **São Paulo: EPUSP**, 1998.

MAYER, DAIANE; DE MELLO, CÉSAR W. Estudo do módulo de elasticidade dinâmico em argamassas de revestimento. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, v. 14, 2023.

MENDES, Vanildo de Almeida; LIMA, Maria Angélica Batista; MARQUES, Marcos Nunes. **Pesquisa de rochas ornamentais**. CETEM/MCTI, 2014.

MESQUITA, Atila da Silva Gomes de. **Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina**, Piauí. Holos, v. 2, p. 58-65, 2012.

MIGUEL, Thaís Pirovane et al. AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DE ARGAMASSAS COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE ROCHA ORNAMENTAL EM DIFERENTES PORCENTAGENS. 2019.

MOREIRA, Beatriz Carvalheira et al. DEPÓSITOS DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS: COMPOSIÇÃO, DIMENSIONAMENTO E POSSÍVEIS USOS NO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL: Deposits of dimension stone wastes: composition, sizing and use for building. **Geosciences= Geociências**, v. 40, n. 2, p. 525-538, 2021.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil.** Oficina de Textos, 2016.

NETO, Djalma Valério Ribeiro et al. Estudo da caracterização físico-química e microestrutural de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais do Seridó Potiguar. **Peer Review**, v. 5, n. 16, p. 319-334, 2023.

PEREIRA, Eduardo Vinícius. **Resíduos sólidos**. Editora Senac São Paulo, 2019.

QUEIROZ JÚNIOR, Cleanto Carlos de. **Estudo da influência da substituição parcial da areia natural pelo resíduo proveniente do corte de pedras ornamentais nas propriedades de argamassas para impressão 3D**. 2022.

RODRIGUES FILHO, H. **Avaliação dos Requisitos Normativos das Argamassas Industrializadas Associados a Critérios de Emprego e Utilização**. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado) Estruturas e Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF.

SAAR, Lara Cínthia Arndt. Avaliação dos granitos Giallo São Francisco Real, Branco Dallas e Branco Marfim, do muncípio de Barra de São Francisco/ES para aplicação como rocha ornamental e de revestimento. 2013.

SALOMÃO, MC de F. **Estudo da estrutura das argamassas de revestimento e**

sua influência nas propriedades de transporte de água. 2016. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Univ. of Brasília.

SILVA, Polyana Marta da et al. **Argamassa de cimento Portland com diferentes teores de substituição da areia por resíduo de rochas ornamentais.** 2019.

SISINNO, Cristina Lucia Silveira; OLIVEIRA, Rosália Maria de. Resíduos sólidos, ambiente e saúde. In: **Resíduos sólidos, ambiente e saúde**. 2000. p. 137-137.

SOARES, Sara Nunes et al. A influência do resíduo de rocha ornamental na produção de argamassas. **Encontro Latino-americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis (euroELECS)**, v. 6, p. 1-9, 2025.

STOCHERO, Elisandra Lucia Moro; JACOBI, Luciane Flores; LÚCIO, A. D. Imputação de dados na análise de variância em experimentos no Delineamento Inteiramente Casualizado. **Ciência e Natura**, v. 42, p. e37, 2020.

VARGAS, Thais; MOTOKI, Akihisa; NEVES, José Luís Peixoto. Rochas ornamentais do Brasil, seu modo de ocorrência geológica, variedade tipológica, exploração comercial e russas como materiais nobres de construção. **Revista de Geociências**, v. 2, pág. 119-132, 2001.

VIDAL, F. W. H., AZEVEDO, H. C. A., CASTRO, N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento.** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.

VINCO, Luís Gustavo Fiorese et al. Viabilidade técnica e econômica de argamassas de revestimento produzidas com incorporação de resíduos de rochas ornamentais. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, p. 165-182, 2017.

XAVIER, Ana Laura Rodrigues de Aguiar. **Investigação de propriedades de argamassas produzidas a partir de cimentos compostos com resíduos de mármore branco dolomítico**. 2025.

APÊNDICE

COLETA E PREPARO DOS RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Tabela 29 – Caracterização granulométrica das amostras coletadas.

Malha da peneira (mm)	Material retido (g)	Material retido (%)	Retido acumulado (%)
Verde Ubatuba (amostra A)			
19	1.271,80	4,56	4,56
12.5	5.056,80	18,13	22,69
9.5	4.560,20	16,35	39,05
6.3	5.528,70	19,82	58,87
4.75	2.502,40	8,97	67,84
2.36	3.083,50	11,06	78,90
1.18	1.912,20	6,86	85,76
0.6	1.293,80	4,64	90,40
0.3	1.122,30	4,02	94,42
0.15	908,90	3,26	97,68
Fundo	647,10	2,32	100
Total amostra A (g)	**27.887,70**		
São Gabriel (amostra B)			
19	2.973,50	10,02	10,02
12.5	7.514,30	25,33	35,35
9.5	5.428,30	18,29	53,64
6.3	3.974,60	13,40	67,04
4.75	3.102,10	10,45	77,49
2.36	2.220,60	7,48	84,98
1.18	1.218,20	4,11	89,08
0.6	721,70	2,43	91,51
0.3	742,70	2,50	94,02
0.15	804,90	2,71	96,73

Malha da peneira (mm)	Material retido (g)	Material retido (%)	Retido acumulado (%)
Fundo	970,40	3,27	100
Total amostra B (g)	**29,671.30**		
São Francisco (amostra C)			
19	4.345,60	6,26	6,26
12.5	15.192,80	21,88	28,14
9.5	12.227,00	17,61	45,74
6.3	12.943,60	18,64	64,38
4.75	5.663,00	8,15	72,54
2.36	6.429,00	9,26	81,79
1.18	4.364,00	6,28	88,08
0.6	2.568,50	3,70	91,78
0.3	2.190,30	3,15	94,93
0.15	1.789,40	2,58	97,51
Fundo	1.731,30	2,49	100
Total amostra C (g)	**69.444,50**		

Fonte: Autor (2026).

ENSAIO DE DENSIDADE E TEOR DE AR INCORPORADO

Tabela 30 – Cálculo da densidade, segundo a ABNT NBR 13278/2005.

Amostras		Mc (g)	Mv (g)	Vr (g)		*d* (kg/m³)	
REF	1	809,4	114,2	372,8	$d = \frac{mc - mv}{vr} x\ 1000$	1,86	1,87
	2	817,3	119	371,2		1,88	
	3	824	111,2	385,2		1,85	
A5%	1	809,6	114,2	372,8		1,87	1,89
	2	829,1	119	371,2		1,91	
	3	843,8	111,2	385,2		1,90	
B5%	1	791,3	114,2	372,8		1,82	1,83
	2	804,5	119	371,2		1,85	
	3	810,4	111,2	385,2		1,82	
C5%	1	840,1	110,4	388		1,88	1,90
	2	832,4	119,3	370,9		1,92	
	3	860,1	124,4	386,3		1,90	
A10%	1	811,6	110,4	388		1,81	1,81
	2	843,5	124,6	401,4		1,79	
	3	820,6	111	385,4		1,84	
B10%	1	793,8	111,5	384,9		1,77	1,78
	2	790	119,9	370,3		1,81	
	3	823,7	125,8	400,2		1,74	
C10%	1	801,2	110,4	388		1,78	1,82
	2	800,4	119	371,2		1,84	
	3	835,8	124,4	386,3		1,84	
A15%	1	816,9	110,6	387,8		1,82	1,84
	2	852,5	124,7	401,3		1,81	
	3	848,2	124,5	386,2		1,87	
B15%	1	793,9	110,6	387,8		1,76	1,79
	2	834,7	124,7	401,3		1,77	
	3	829,1	124,5	386,2		1,82	
C15%	1	820,5	110,6	387,8		1,83	1,83
	2	847,4	124,7	401,3		1,80	
	3	843,2	124,5	386,2		1,86	

Fonte: Autor (2026).

Tabela 31 – Cálculo da densidade teórica para argamassas.

Mc (g)	Mv (g)	Vr (g)	$dt = \frac{ms + mw}{\frac{ms}{ys} + mw}$	*dt* (g/cm³)
408,33	2500	2,83		2,25

Fonte: Autor (2026).

Tabela 32 – Cálculo do teor de ar incorporado, segundo a ABNT NBR 13278/2005.

Amostras		*d* (g/cm³)	*dt* (g/cm³)		AI (%)	
REF	1	1,86	2,25	$AI = \left(1 - \frac{d}{dt}\right) x\ 100$	17,24	17,21
	2	1,88	2,25		16,51	
	3	1,85	2,25		17,88	
A5%	1	1,87	2,25		17,22	15,97
	2	1,91	2,25		15,10	
	3	1,90	2,25		15,60	
B5%	1	1,82	2,25		19,40	18,96
	2	1,85	2,25		18,04	
	3	1,82	2,25		19,45	
C5%	1	1,88	2,25		16,54	15,57
	2	1,92	2,25		14,68	
	3	1,90	2,25		15,48	
A10%	1	1,81	2,25		19,80	19,54
	2	1,79	2,25		20,52	
	3	1,84	2,25		18,29	
B10%	1	1,77	2,25		21,33	21,21
	2	1,81	2,25		19,69	
	3	1,74	2,25		22,61	
C10%	1	1,78	2,25		20,99	19,27
	2	1,84	2,25		18,54	
	3	1,84	2,25		18,27	
A15%	1	1,82	2,25		19,17	18,51
	2	1,81	2,25		19,51	
	3	1,87	2,25		16,84	
B15%	1	1,76	2,25		21,80	20,77
	2	1,77	2,25		21,48	
	3	1,82	2,25		19,03	

C15%	1	1,83	2,25		18,76	18,75
	2	1,80	2,25		20,08	
	3	1,86	2,25		17,41	

Fonte: Autor (2026).

ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Tabela 33 – Ensaio de absorção de água por capilaridade: argamassa de referência.

Argamassa de referência						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
AMOSTRA 01						
0	0,00	441,96	0	0,00	15,60	0,00
1	0,13	442,36	0,4	0,09	15,60	0,03
5	0,29	442,73	0,77	0,17	15,60	0,05
15	0,50	443,21	1,25	0,28	15,60	0,08
30	0,71	443,67	1,71	0,39	15,60	0,11
45	0,87	444,07	2,11	0,48	15,60	0,14
60	1,00	444,47	2,51	0,57	15,60	0,16
75	1,12	444,8	2,84	0,64	15,60	0,18
90	1,22	445,11	3,15	0,71	15,60	0,20
105	1,32	445,45	3,49	0,79	15,60	0,22
120	1,41	445,85	3,89	0,88	15,60	0,25
AMOSTRA 02						
0	0,00	446,55	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	447,06	0,51	0,11	16,00	0,03
5	0,29	447,45	0,9	0,20	16,00	0,06
15	0,50	447,97	1,42	0,32	16,00	0,09

Argamassa de referência						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
30	0,71	448,49	1,94	0,43	16,00	0,12
45	0,87	448,99	2,44	0,55	16,00	0,15
60	1,00	449,39	2,84	0,64	16,00	0,18
75	1,12	449,73	3,18	0,71	16,00	0,20
90	1,22	450,08	3,53	0,79	16,00	0,22
105	1,32	450,44	3,89	0,87	16,00	0,24
120	1,41	450,9	4,35	0,97	16,00	0,27
AMOSTRA 03						
0	0,00	442,69	0	0,00	15,20	0,00
1	0,13	443,43	0,74	0,17	15,20	0,05
5	0,29	443,84	1,15	0,26	15,20	0,08
15	0,50	444,39	1,7	0,38	15,20	0,11
30	0,71	444,99	2,3	0,52	15,20	0,15
45	0,87	445,51	2,82	0,64	15,20	0,19
60	1,00	446,02	3,33	0,75	15,20	0,22
75	1,12	446,44	3,75	0,85	15,20	0,25
90	1,22	446,84	4,15	0,94	15,20	0,27
105	1,32	447,24	4,55	1,03	15,20	0,30
120	1,41	447,75	5,06	1,14	15,20	0,33

Fonte: Autor (2026).

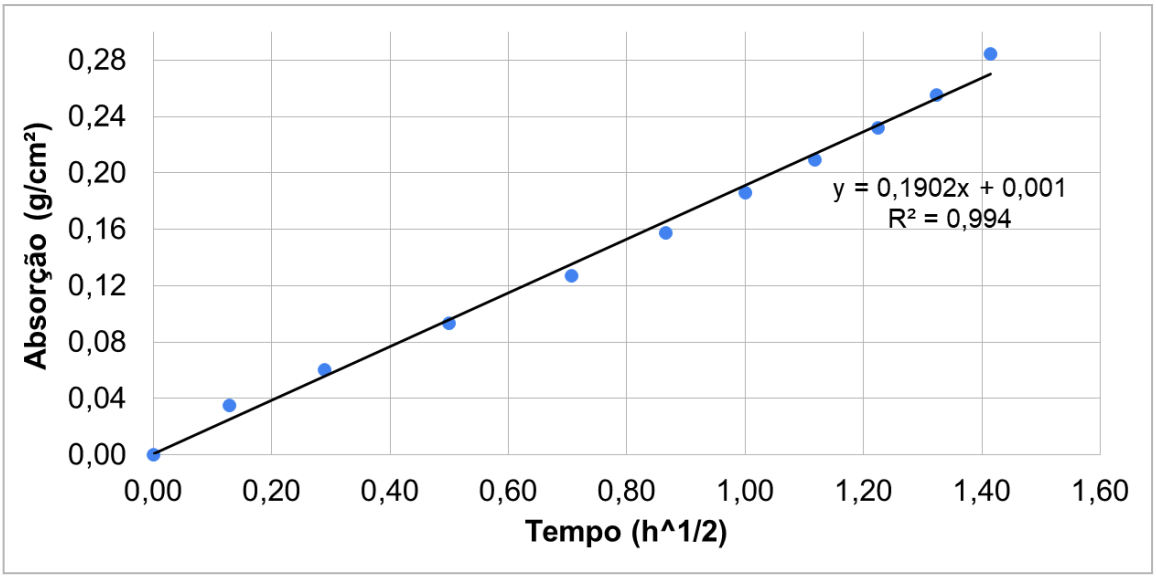
Tabela 34 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média argamassa de referência).

MÉDIA ARGAMASSA DE REFERÊNCIA					
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Média**	**Média peso**	**Diferença (%)**	**Absorvido (%)**
0	0,00	0,00	443,73	443,73	100,00
1	0,13	0,04	443,73	443,70	99,99

MÉDIA ARGAMASSA DE REFERÊNCIA					
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Média**	**Média peso**	**Diferença (%)**	**Absorvido (%)**
5	0,29	0,06	443,73	443,67	99,99
15	0,50	0,09	443,73	443,64	99,98
30	0,71	0,13	443,73	443,61	99,97
45	0,87	0,16	443,73	443,58	99,96
60	1,00	0,19	443,73	443,55	99,96
75	1,12	0,21	443,73	443,52	99,95
90	1,22	0,23	443,73	443,50	99,95
105	1,32	0,26	443,73	443,48	99,94
120	1,41	0,28	443,73	443,45	99,94

Fonte: Autor (2026).

Figura 34 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (REF).



Fonte: Autor (2026).

Tabela 35 – Ensaio de absorção de água por capilaridade: argamassa A5%.

Argamassa - A5%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
AMOSTRA 01						
0	0,00	467,8	0	0,00	15,80	0,00
1	0,13	468,1	0,3	0,06	15,80	0,02
5	0,29	468,4	0,6	0,13	15,80	0,04
15	0,50	468,9	1,1	0,24	15,80	0,07
30	0,71	469,5	1,7	0,36	15,80	0,11
45	0,87	470,1	2,3	0,49	15,80	0,15
60	1,00	470,7	2,9	0,62	15,80	0,18
75	1,12	471	3,2	0,68	15,80	0,20
90	1,22	471,2	3,4	0,73	15,80	0,22
105	1,32	471,5	3,7	0,79	15,80	0,23
120	1,41	471,7	3,9	0,83	15,80	0,25
AMOSTRA 02						
0	0,00	469,5	0	0,00	15,60	0,00
1	0,13	469,6	0,1	0,02	15,60	0,01
5	0,29	469,9	0,4	0,09	15,60	0,03
15	0,50	470,1	0,6	0,13	15,60	0,04
30	0,71	470,7	1,2	0,26	15,60	0,08
45	0,87	471,1	1,6	0,34	15,60	0,10
60	1,00	471,4	1,9	0,40	15,60	0,12
75	1,12	471,8	2,3	0,49	15,60	0,15
90	1,22	471,9	2,4	0,51	15,60	0,15
105	1,32	472	2,5	0,53	15,60	0,16
120	1,41	472,1	2,6	0,55	15,60	0,17
AMOSTRA 03						
0	0,00	473,8	0	0,00	15,60	0,00
1	0,13	473,7	-0,1	-0,02	15,60	-0,01

Argamassa - A5%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
5	0,29	474	0,2	0,04	15,60	0,01
15	0,50	474,3	0,5	0,11	15,60	0,03
30	0,71	474,7	0,9	0,19	15,60	0,06
45	0,87	475,1	1,3	0,27	15,60	0,08
60	1,00	475,4	1,6	0,34	15,60	0,10
75	1,12	475,7	1,9	0,40	15,60	0,12
90	1,22	475,9	2,1	0,44	15,60	0,13
105	1,32	476,3	2,5	0,53	15,60	0,16
120	1,41	476,3	2,5	0,53	15,60	0,16

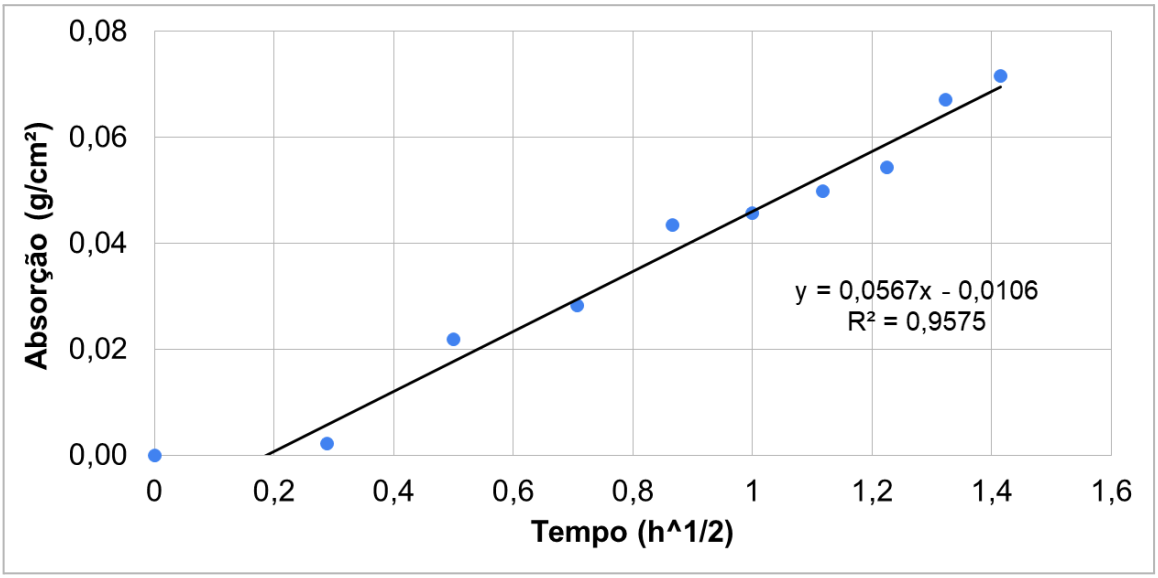
Fonte: Autor (2026).

Tabela 36 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média A5%).

MÉDIA ARGAMASSA - A5%					
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Média**	**Média peso**	**Diferença (%)**	**Absorvido (%)**
0	0,00	0,00	470,37	470,37	100,00
1	0,13	0,01	470,37	470,36	100,00
5	0,29	0,03	470,37	470,34	99,99
15	0,50	0,05	470,37	470,32	99,99
30	0,71	0,08	470,37	470,29	99,98
45	0,87	0,11	470,37	470,26	99,98
60	1,00	0,14	470,37	470,23	99,97
75	1,12	0,16	470,37	470,21	99,97
90	1,22	0,17	470,37	470,20	99,96
105	1,32	0,18	470,37	470,18	99,96
120	1,41	0,19	470,37	470,18	99,96

Fonte: Autor (2026).

Figura 35 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (A5%).



Fonte: Autor (2026).

Tabela 37 – Ensaio de absorção de água por capilaridade: argamassa B5%.

Argamassa - B5%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
AMOSTRA 01						
0	0,00	461,3	0	0,00	15,80	0,00
1	0,13	460,9	-0,4	-0,09	15,80	-0,03
5	0,29	461,3	0	0,00	15,80	0,00
15	0,50	461,5	0,2	0,04	15,80	0,01
30	0,71	461,6	0,3	0,07	15,80	0,02
45	0,87	461,9	0,6	0,13	15,80	0,04
60	1,00	461,9	0,6	0,13	15,80	0,04
75	1,12	462,1	0,8	0,17	15,80	0,05
90	1,22	462,1	0,8	0,17	15,80	0,05
105	1,32	462,4	1,1	0,24	15,80	0,07
120	1,41	462,5	1,2	0,26	15,80	0,08
AMOSTRA 02						

Argamassa - B5%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
0	0,00	458,1	0	0,00	15,40	0,00
1	0,13	457,9	-0,2	-0,04	15,40	-0,01
5	0,29	458,1	0	0,00	15,40	0,00
15	0,50	458,4	0,3	0,07	15,40	0,02
30	0,71	458,5	0,4	0,09	15,40	0,03
45	0,87	458,7	0,6	0,13	15,40	0,04
60	1,00	458,7	0,6	0,13	15,40	0,04
75	1,12	458,7	0,6	0,13	15,40	0,04
90	1,22	458,8	0,7	0,15	15,40	0,05
105	1,32	458,9	0,8	0,17	15,40	0,05
120	1,41	458,9	0,8	0,17	15,40	0,05
AMOSTRA 03						
0	0,00	450,2	0	0,00	15,00	0,00
1	0,13	450,1	-0,1	-0,02	15,00	-0,01
5	0,29	450,3	0,1	0,02	15,00	0,01
15	0,50	450,7	0,5	0,11	15,00	0,03
30	0,71	450,8	0,6	0,13	15,00	0,04
45	0,87	451	0,8	0,18	15,00	0,05
60	1,00	451,1	0,9	0,20	15,00	0,06
75	1,12	451,1	0,9	0,20	15,00	0,06
90	1,22	451,2	1	0,22	15,00	0,07
105	1,32	451,4	1,2	0,27	15,00	0,08
120	1,41	451,5	1,3	0,29	15,00	0,09

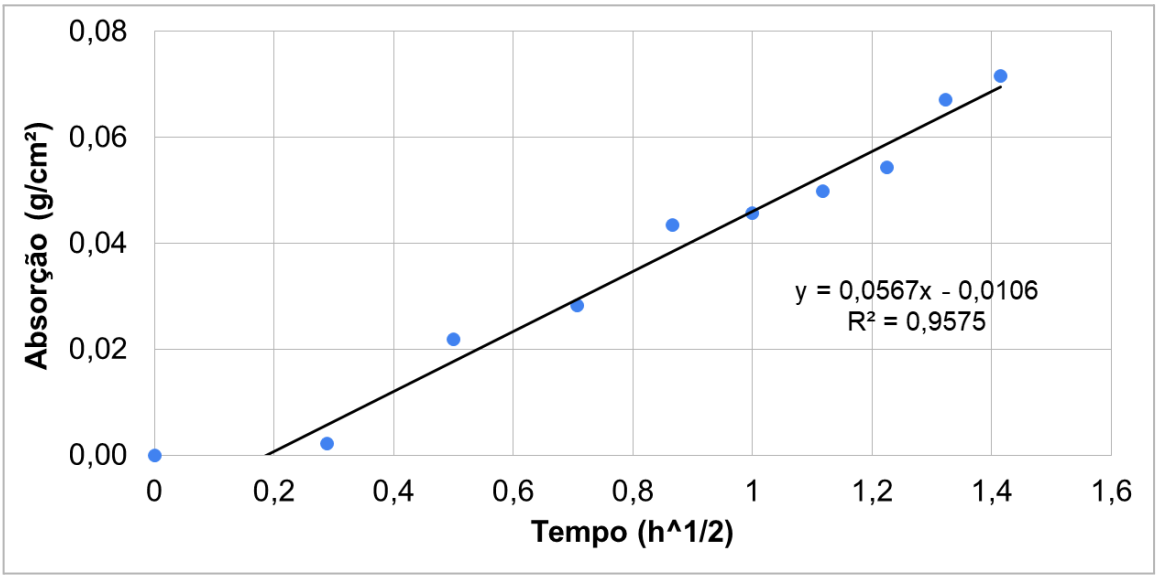
Fonte: Autor (2026).

Tabela 38 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média B5%).

MÉDIA ARGAMASSA - B5%					
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Média**	**Média peso**	**Diferença (%)**	**Absorvido (%)**
0	0,00	0,00	456,53	456,53	100,00
1	0,13	-0,01	456,53	456,55	100,00
5	0,29	0,00	456,53	456,53	100,00
15	0,50	0,02	456,53	456,51	100,00
30	0,71	0,03	456,53	456,51	99,99
45	0,87	0,04	456,53	456,49	99,99
60	1,00	0,05	456,53	456,49	99,99
75	1,12	0,05	456,53	456,48	99,99
90	1,22	0,05	456,53	456,48	99,99
105	1,32	0,07	456,53	456,47	99,99
120	1,41	0,07	456,53	456,46	99,98

Fonte: Autor (2026).

Figura 36 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (B5%).



Fonte: Autor (2026).

Tabela 39 – Ensaio de absorção de água por capilaridade: argamassa C5%

Argamassa - C5%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
AMOSTRA 01						
0	0,00	475,9	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	476,9	1	0,21	16,00	0,06
5	0,29	477,7	1,8	0,38	16,00	0,11
15	0,50	479,1	3,2	0,67	16,00	0,20
30	0,71	480,6	4,7	0,99	16,00	0,29
45	0,87	481,6	5,7	1,20	16,00	0,36
60	1,00	482,3	6,4	1,34	16,00	0,40
75	1,12	483,1	7,2	1,51	16,00	0,45
90	1,22	483,8	7,9	1,66	16,00	0,49
105	1,32	484,4	8,5	1,79	16,00	0,53
120	1,41	484,8	8,9	1,87	16,00	0,56
AMOSTRA 02						
0	0,00	479,3	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	479,8	0,5	0,10	16,00	0,03
5	0,29	480,9	1,6	0,33	16,00	0,10
15	0,50	482,3	3	0,63	16,00	0,19
30	0,71	483,9	4,6	0,96	16,00	0,29
45	0,87	484,9	5,6	1,17	16,00	0,35
60	1,00	485,8	6,5	1,36	16,00	0,41
75	1,12	486,5	7,2	1,50	16,00	0,45
90	1,22	487,2	7,9	1,65	16,00	0,49
105	1,32	487,7	8,4	1,75	16,00	0,52
120	1,41	488,1	8,8	1,84	16,00	0,55
AMOSTRA 03						
0	0,00	492,4	0	0,00	16,40	0,00
1	0,13	492	-0,4	-0,08	16,40	-0,02

Argamassa - C5%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
5	0,29	492,7	0,3	0,06	16,40	0,02
15	0,50	493,3	0,9	0,18	16,40	0,05
30	0,71	494,4	2	0,41	16,40	0,12
45	0,87	495,2	2,8	0,57	16,40	0,17
60	1,00	495,9	3,5	0,71	16,40	0,21
75	1,12	496,3	3,9	0,79	16,40	0,24
90	1,22	497	4,6	0,93	16,40	0,28
105	1,32	497,4	5	1,02	16,40	0,30
120	1,41	497,8	5,4	1,10	16,40	0,33

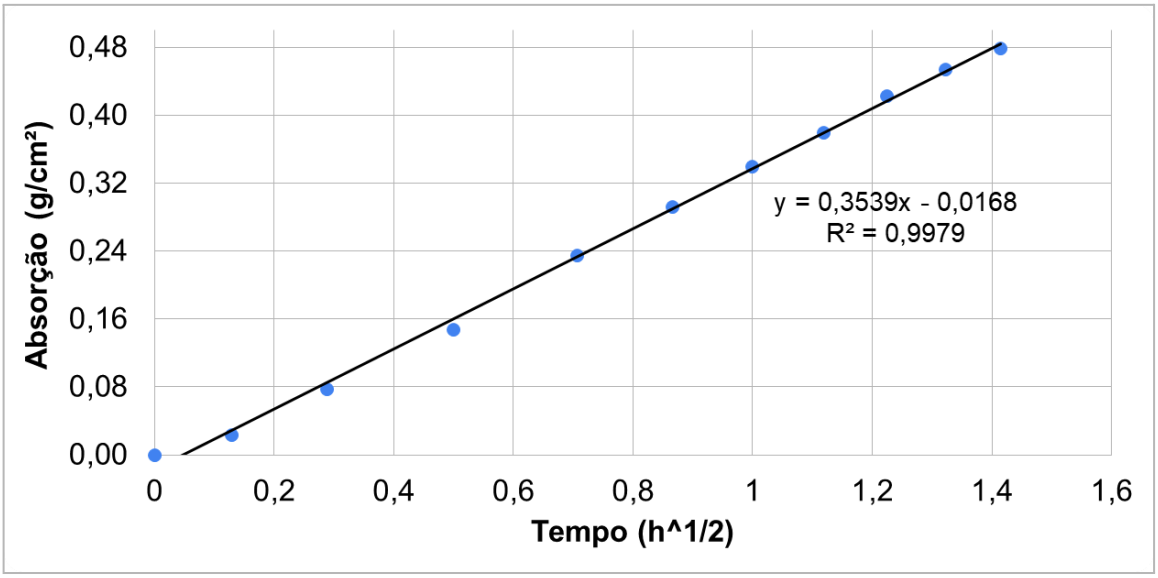
Fonte: Autor (2026).

Tabela 40 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média C5%).

MÉDIA ARGAMASSA - C5%					
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Média**	**Média peso**	**Diferença (%)**	**Absorvido (%)**
0	0,00	0,00	482,53	482,53	100,00
1	0,13	0,02	482,53	482,51	100,00
5	0,29	0,08	482,53	482,46	99,98
15	0,50	0,15	482,53	482,39	99,97
30	0,71	0,23	482,53	482,30	99,95
45	0,87	0,29	482,53	482,24	99,94
60	1,00	0,34	482,53	482,19	99,93
75	1,12	0,38	482,53	482,15	99,92
90	1,22	0,42	482,53	482,11	99,91
105	1,32	0,45	482,53	482,08	99,91
120	1,41	0,48	482,53	482,05	99,90

Fonte: Autor (2026).

Figura 37 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média C5%).



Fonte: Autor (2026).

Tabela 41 – Ensaio de absorção de água por capilaridade: argamassa A10%

Argamassa - A10%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
AMOSTRA 01						
0	0,00	477,6	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	477,9	0,3	0,06	16,00	0,02
5	0,29	478,1	0,5	0,10	16,00	0,03
15	0,50	478,6	1	0,21	16,00	0,06
30	0,71	479	1,4	0,29	16,00	0,09
45	0,87	479,8	2,2	0,46	16,00	0,14
60	1,00	480,2	2,6	0,54	16,00	0,16
75	1,12	480,4	2,8	0,59	16,00	0,17
90	1,22	480,8	3,2	0,67	16,00	0,20
105	1,32	481,2	3,6	0,75	16,00	0,22
120	1,41	481,3	3,7	0,77	16,00	0,23
AMOSTRA 02						

Argamassa - A10%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
0	0,00	472	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	472,3	0,3	0,06	16,00	0,02
5	0,29	472,6	0,6	0,13	16,00	0,04
15	0,50	473,3	1,3	0,28	16,00	0,08
30	0,71	473,6	1,6	0,34	16,00	0,10
45	0,87	474,4	2,4	0,51	16,00	0,15
60	1,00	474,9	2,9	0,61	16,00	0,18
75	1,12	475	3	0,64	16,00	0,19
90	1,22	475,5	3,5	0,74	16,00	0,22
105	1,32	475,8	3,8	0,81	16,00	0,24
120	1,41	476,1	4,1	0,87	16,00	0,26
AMOSTRA 03						
0	0,00	465,2	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	466,1	0,9	0,19	16,00	0,06
5	0,29	466,5	1,3	0,28	16,00	0,08
15	0,50	467,4	2,2	0,47	16,00	0,14
30	0,71	468,4	3,2	0,69	16,00	0,20
45	0,87	469,3	4,1	0,88	16,00	0,26
60	1,00	469,9	4,7	1,01	16,00	0,29
75	1,12	470,3	5,1	1,10	16,00	0,32
90	1,22	470,8	5,6	1,20	16,00	0,35
105	1,32	471,3	6,1	1,31	16,00	0,38
120	1,41	471,6	6,4	1,38	16,00	0,40

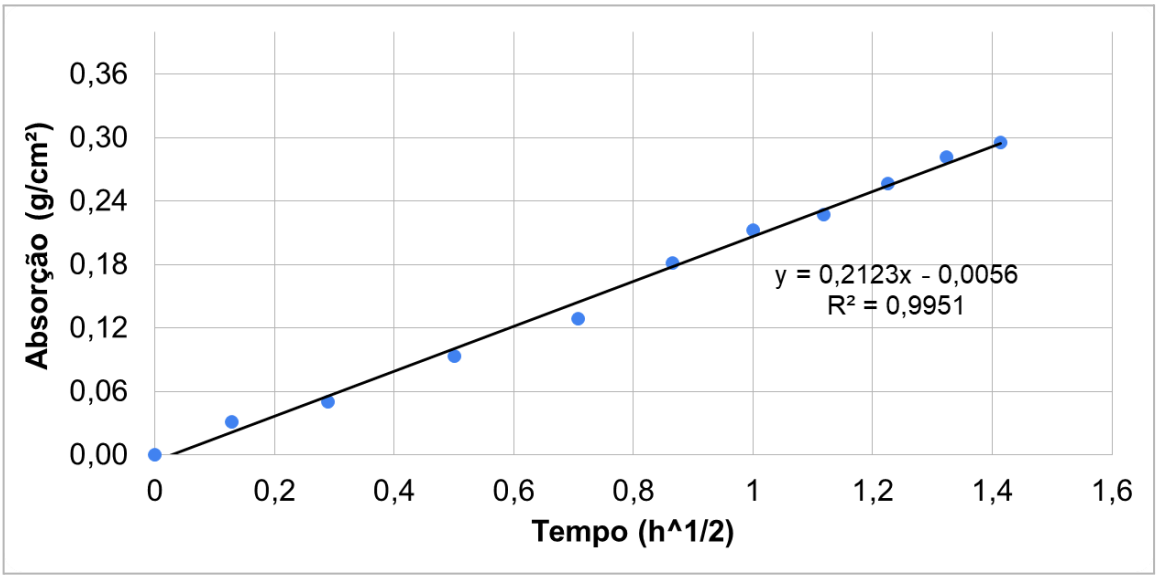
Fonte: Autor (2026).

Tabela 42 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média A10%).

MÉDIA ARGAMASSA - A10%					
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Média**	**Média peso**	**Diferença (%)**	**Absorvido (%)**
0	0,00	0,00	471,60	471,60	100,00
1	0,13	0,03	471,60	471,57	99,99
5	0,29	0,05	471,60	471,55	99,99
15	0,50	0,09	471,60	471,51	99,98
30	0,71	0,13	471,60	471,47	99,97
45	0,87	0,18	471,60	471,42	99,96
60	1,00	0,21	471,60	471,39	99,95
75	1,12	0,23	471,60	471,37	99,95
90	1,22	0,26	471,60	471,34	99,95
105	1,32	0,28	471,60	471,32	99,94
120	1,41	0,30	471,60	471,30	99,94

Fonte: Autor (2026).

Figura 38 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média A10%).



Fonte: Autor (2026).

Tabela 43 – Ensaio de absorção de água por capilaridade: argamassa B10%

Argamassa - B10%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
AMOSTRA 01						
0	0,00	453,1	0	0,00	15,60	0,00
1	0,13	454,8	1,7	0,38	15,60	0,11
5	0,29	455,8	2,7	0,60	15,60	0,17
15	0,50	456,5	3,4	0,75	15,60	0,22
30	0,71	457,6	4,5	0,99	15,60	0,29
45	0,87	458,2	5,1	1,13	15,60	0,33
60	1,00	458,9	5,8	1,28	15,60	0,37
75	1,12	459,4	6,3	1,39	15,60	0,40
90	1,22	459,8	6,7	1,48	15,60	0,43
105	1,32	460,2	7,1	1,57	15,60	0,46
120	1,41	460,5	7,4	1,63	15,60	0,47
AMOSTRA 02						
0	0,00	457,8	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	458,8	1	0,22	16,00	0,06
5	0,29	459,6	1,8	0,39	16,00	0,11
15	0,50	460,4	2,6	0,57	16,00	0,16
30	0,71	461,2	3,4	0,74	16,00	0,21
45	0,87	461,9	4,1	0,90	16,00	0,26
60	1,00	462,5	4,7	1,03	16,00	0,29
75	1,12	463,1	5,3	1,16	16,00	0,33
90	1,22	463,5	5,7	1,25	16,00	0,36
105	1,32	464	6,2	1,35	16,00	0,39
120	1,41	464,3	6,5	1,42	16,00	0,41
AMOSTRA 03						
0	0,00	458	0	0,00	15,60	0,00
1	0,13	459,1	1,1	0,24	15,60	0,07

Argamassa - B10%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
5	0,29	459,8	1,8	0,39	15,60	0,12
15	0,50	460,5	2,5	0,55	15,60	0,16
30	0,71	461,4	3,4	0,74	15,60	0,22
45	0,87	462,2	4,2	0,92	15,60	0,27
60	1,00	462,7	4,7	1,03	15,60	0,30
75	1,12	463,3	5,3	1,16	15,60	0,34
90	1,22	463,7	5,7	1,24	15,60	0,37
105	1,32	464,2	6,2	1,35	15,60	0,40
120	1,41	464,5	6,5	1,42	15,60	0,42

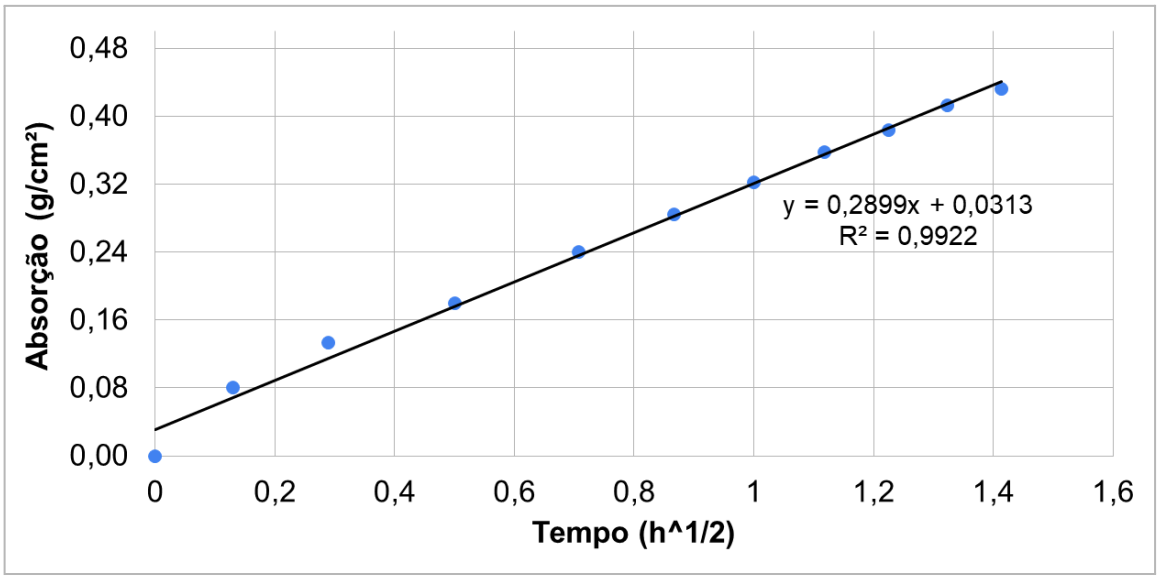
Fonte: Autor (2026).

Tabela 44 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média B10%).

MÉDIA ARGAMASSA - B10%					
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Média**	**Média peso**	**Diferença (%)**	**Absorvido (%)**
0	0,00	0,00	456,30	456,30	100,00
1	0,13	0,08	456,30	456,22	99,98
5	0,29	0,13	456,30	456,17	99,97
15	0,50	0,18	456,30	456,12	99,96
30	0,71	0,24	456,30	456,06	99,95
45	0,87	0,28	456,30	456,02	99,94
60	1,00	0,32	456,30	455,98	99,93
75	1,12	0,36	456,30	455,94	99,92
90	1,22	0,38	456,30	455,92	99,92
105	1,32	0,41	456,30	455,89	99,91
120	1,41	0,43	456,30	455,87	99,91

Fonte: Autor (2026).

Figura 39 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média B10%).



Fonte: Autor (2026).

Tabela 45 – Ensaio de absorção de água por capilaridade: argamassa C10%

Argamassa - C10%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
AMOSTRA 01						
0	0,00	453,1	0	0,00	15,60	0,00
1	0,13	454,4	1,3	0,29	15,60	0,08
5	0,29	455,3	2,2	0,49	15,60	0,14
15	0,50	456,2	3,1	0,68	15,60	0,20
30	0,71	457,2	4,1	0,90	15,60	0,26
45	0,87	458	4,9	1,08	15,60	0,31
60	1,00	458,6	5,5	1,21	15,60	0,35
75	1,12	459,1	6	1,32	15,60	0,38
90	1,22	459,6	6,5	1,43	15,60	0,42
105	1,32	460,2	7,1	1,57	15,60	0,46
120	1,41	460,4	7,3	1,61	15,60	0,47
AMOSTRA 02						

Argamassa - C10%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
0	0,00	454	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	455,5	1,5	0,33	16,00	0,09
5	0,29	455,9	1,9	0,42	16,00	0,12
15	0,50	456,7	2,7	0,59	16,00	0,17
30	0,71	457,5	3,5	0,77	16,00	0,22
45	0,87	458,4	4,4	0,97	16,00	0,27
60	1,00	458,9	4,9	1,08	16,00	0,31
75	1,12	459,5	5,5	1,21	16,00	0,34
90	1,22	460	6	1,32	16,00	0,38
105	1,32	460,4	6,4	1,41	16,00	0,40
120	1,41	460,7	6,7	1,48	16,00	0,42
AMOSTRA 03						
0	0,00	456,4	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	458	1,6	0,35	16,00	0,10
5	0,29	458,8	2,4	0,53	16,00	0,15
15	0,50	459,5	3,1	0,68	16,00	0,19
30	0,71	460,3	3,9	0,85	16,00	0,24
45	0,87	461,2	4,8	1,05	16,00	0,30
60	1,00	461,7	5,3	1,16	16,00	0,33
75	1,12	462,1	5,7	1,25	16,00	0,36
90	1,22	462,6	6,2	1,36	16,00	0,39
105	1,32	463	6,6	1,45	16,00	0,41
120	1,41	463,4	7	1,53	16,00	0,44

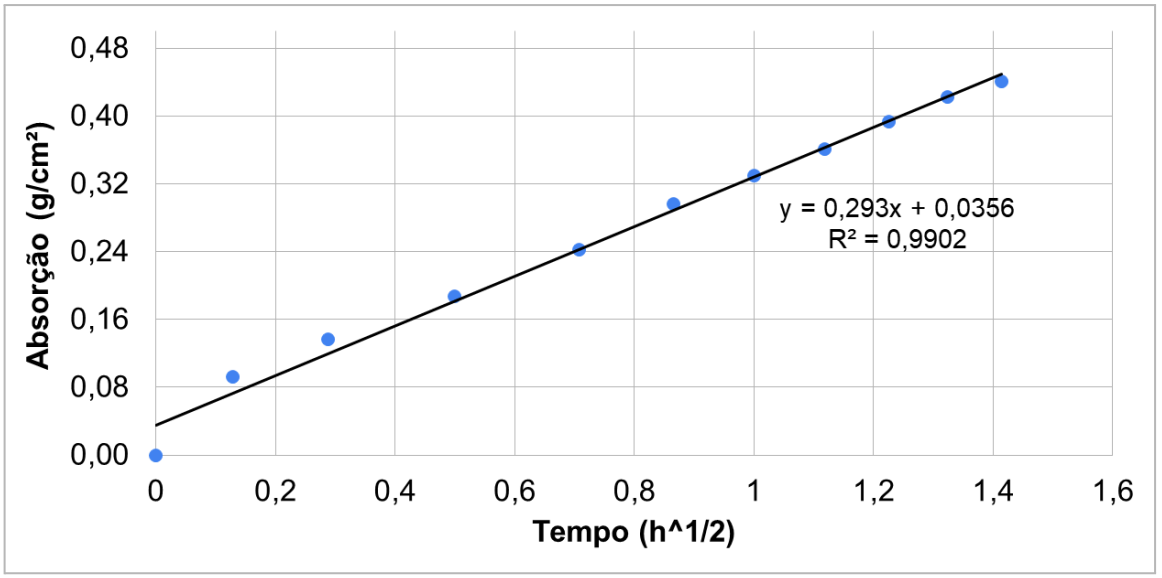
Fonte: Autor (2026).

Tabela 46 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média C10%).

MÉDIA ARGAMASSA - C10%					
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Média**	**Média peso**	**Diferença (%)**	**Absorvido (%)**
0	0,00	0,00	454,50	454,50	100,00
1	0,13	0,09	454,50	454,41	99,98
5	0,29	0,14	454,50	454,36	99,97
15	0,50	0,19	454,50	454,31	99,96
30	0,71	0,24	454,50	454,26	99,95
45	0,87	0,30	454,50	454,20	99,93
60	1,00	0,33	454,50	454,17	99,93
75	1,12	0,36	454,50	454,14	99,92
90	1,22	0,39	454,50	454,11	99,91
105	1,32	0,42	454,50	454,08	99,91
120	1,41	0,44	454,50	454,06	99,90

Fonte: Autor (2026).

Figura 40 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média C10%).



Fonte: Autor (2026).

Tabela 47 – Ensaio de absorção de água por capilaridade: argamassa A15%

Argamassa - A15%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
AMOSTRA 01						
0	0,00	463,8	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	464,5	0,7	0,15	16,00	0,04
5	0,29	465,4	1,6	0,34	16,00	0,10
15	0,50	466,7	2,9	0,63	16,00	0,18
30	0,71	467,8	4	0,86	16,00	0,25
45	0,87	468,9	5,1	1,10	16,00	0,32
60	1,00	469,8	6	1,29	16,00	0,38
75	1,12	470,5	6,7	1,44	16,00	0,42
90	1,22	471,1	7,3	1,57	16,00	0,46
105	1,32	471,8	8	1,72	16,00	0,50
120	1,41	472,2	8,4	1,81	16,00	0,52
AMOSTRA 02						
0	0,00	476,2	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	476,7	0,5	0,10	16,00	0,03
5	0,29	477,6	1,4	0,29	16,00	0,09
15	0,50	478,8	2,6	0,55	16,00	0,16
30	0,71	480	3,8	0,80	16,00	0,24
45	0,87	480,9	4,7	0,99	16,00	0,29
60	1,00	481,9	5,7	1,20	16,00	0,36
75	1,12	482,7	6,5	1,36	16,00	0,41
90	1,22	483,5	7,3	1,53	16,00	0,46
105	1,32	484,1	7,9	1,66	16,00	0,49
120	1,41	484,6	8,4	1,76	16,00	0,53
AMOSTRA 03						
0	0,00	473,3	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	474	0,7	0,15	16,00	0,04

Argamassa - A15%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
5	0,29	474,8	1,5	0,32	16,00	0,09
15	0,50	475,9	2,6	0,55	16,00	0,16
30	0,71	476,9	3,6	0,76	16,00	0,22
45	0,87	477,8	4,5	0,95	16,00	0,28
60	1,00	478,5	5,2	1,10	16,00	0,32
75	1,12	479,4	6,1	1,29	16,00	0,38
90	1,22	480	6,7	1,42	16,00	0,42
105	1,32	480,7	7,4	1,56	16,00	0,46
120	1,41	481	7,7	1,63	16,00	0,48

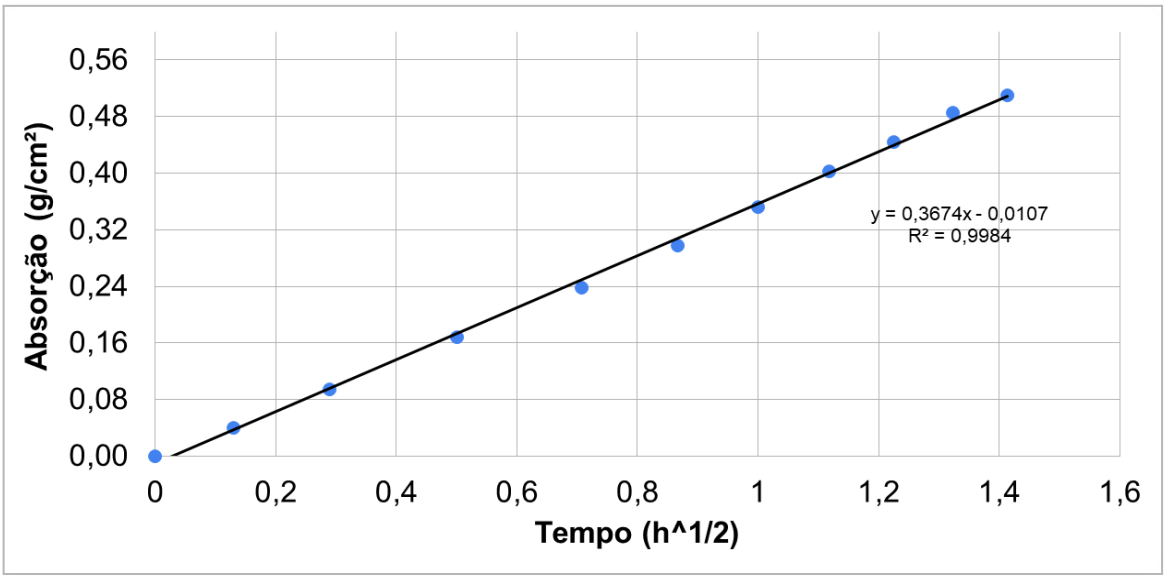
Fonte: Autor (2026).

Tabela 48 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média A15%).

MÉDIA ARGAMASSA - A15%					
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Média**	**Média peso**	**Diferença (%)**	**Absorvido (%)**
0	0,00	0,00	471,10	471,10	100,00
1	0,13	0,04	471,10	471,06	99,99
5	0,29	0,09	471,10	471,01	99,98
15	0,50	0,17	471,10	470,93	99,96
30	0,71	0,24	471,10	470,86	99,95
45	0,87	0,30	471,10	470,80	99,94
60	1,00	0,35	471,10	470,75	99,93
75	1,12	0,40	471,10	470,70	99,91
90	1,22	0,44	471,10	470,66	99,91
105	1,32	0,49	471,10	470,61	99,90
120	1,41	0,51	471,10	470,59	99,89

Fonte: Autor (2026).

Figura 41 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média A15%).



Fonte: Autor (2026).

Tabela 49 – Ensaio de absorção de água por capilaridade: argamassa B15%

Argamassa - B15%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
AMOSTRA 01						
0	0,00	446,8	0	0,00	15,60	0,00
1	0,13	447,6	0,8	0,18	15,60	0,05
5	0,29	448,7	1,9	0,43	15,60	0,12
15	0,50	449	2,2	0,49	15,60	0,14
30	0,71	451,3	4,5	1,01	15,60	0,29
45	0,87	452,3	5,5	1,23	15,60	0,35
60	1,00	453,2	6,4	1,43	15,60	0,41
75	1,12	453,9	7,1	1,59	15,60	0,46
90	1,22	454,6	7,8	1,75	15,60	0,50
105	1,32	455,1	8,3	1,86	15,60	0,53
120	1,41	455,6	8,8	1,97	15,60	0,56
AMOSTRA 02						

Argamassa - B15%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
0	0,00	447,7	0	0,00	15,60	0,00
1	0,13	448,7	1	0,22	15,60	0,06
5	0,29	449,6	1,9	0,41	15,60	0,12
15	0,50	450,9	3,2	0,69	15,60	0,21
30	0,71	452,5	4,8	1,04	15,60	0,31
45	0,87	453,4	5,7	1,24	15,60	0,37
60	1,00	454,4	6,7	1,45	15,60	0,43
75	1,12	455,3	7,6	1,65	15,60	0,49
90	1,22	456	8,3	1,80	15,60	0,53
105	1,32	456,6	8,9	1,93	15,60	0,57
120	1,41	457,3	9,6	2,08	15,60	0,62
AMOSTRA 03						
0	0,00	444,5	0	0,00	15,60	0,00
1	0,13	445,6	1,1	0,25	15,60	0,07
5	0,29	446,4	1,9	0,43	15,60	0,12
15	0,50	447,7	3,2	0,72	15,60	0,21
30	0,71	449	4,5	1,01	15,60	0,29
45	0,87	449,9	5,4	1,21	15,60	0,35
60	1,00	450,9	6,4	1,44	15,60	0,41
75	1,12	451,5	7	1,57	15,60	0,45
90	1,22	452,2	7,7	1,73	15,60	0,49
105	1,32	452,8	8,3	1,87	15,60	0,53
120	1,41	453,4	8,9	2,00	15,60	0,57

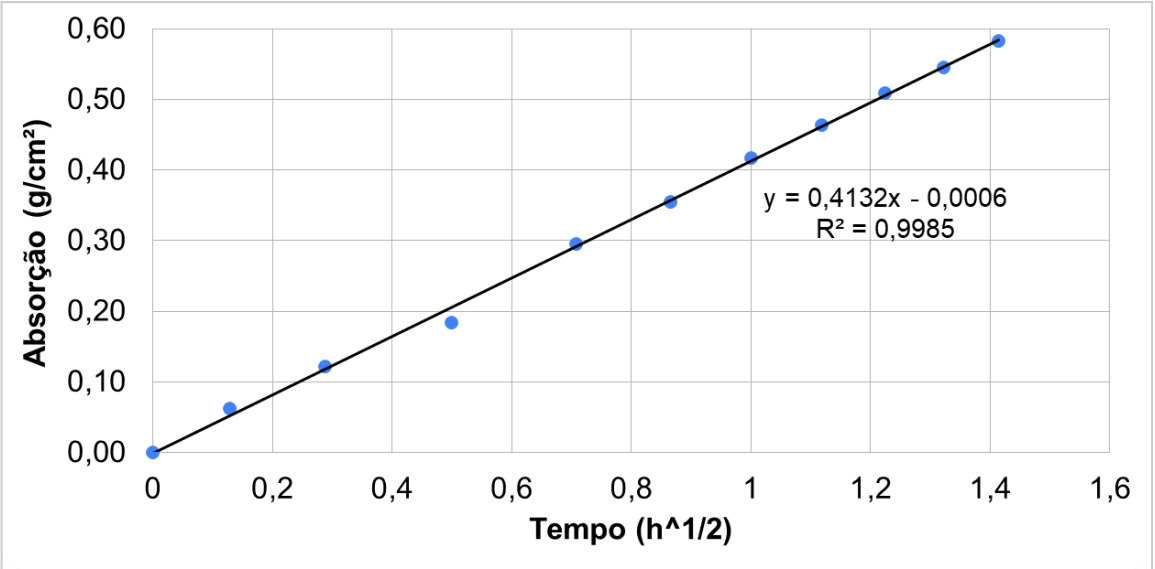
Fonte: Autor (2026).

Tabela 50 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média B15%).

MÉDIA ARGAMASSA - B15%					
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Média**	**Média peso**	**Diferença (%)**	**Absorvido (%)**
0	0,00	0,00	446,33	446,333	100,00
1	0,13	0,06	446,33	446,271	99,99
5	0,29	0,12	446,33	446,212	99,97
15	0,50	0,18	446,33	446,150	99,96
30	0,71	0,29	446,33	446,038	99,93
45	0,87	0,35	446,33	445,979	99,92
60	1,00	0,42	446,33	445,917	99,91
75	1,12	0,46	446,33	445,870	99,90
90	1,22	0,51	446,33	445,825	99,89
105	1,32	0,54	446,33	445,788	99,88
120	1,41	0,58	446,33	445,750	99,87

Fonte: Autor (2026).

Figura 42 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média B15%).



Fonte: Autor (2026).

Tabela 51 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média C15%).

Argamassa - C15%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
AMOSTRA 01						
0	0,00	458	0	0,00	15,60	0,00
1	0,13	459,1	1,1	0,24	15,60	0,07
5	0,29	459,9	1,9	0,41	15,60	0,12
15	0,50	461	3	0,66	15,60	0,19
30	0,71	462,2	4,2	0,92	15,60	0,27
45	0,87	463,1	5,1	1,11	15,60	0,33
60	1,00	463,7	5,7	1,24	15,60	0,37
75	1,12	464,5	6,5	1,42	15,60	0,42
90	1,22	465,1	7,1	1,55	15,60	0,46
105	1,32	465,5	7,5	1,64	15,60	0,48
120	1,41	466,1	8,1	1,77	15,60	0,52
AMOSTRA 02						
0	0,00	458,1	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	458,8	0,7	0,15	16,00	0,04
5	0,29	459,4	1,3	0,28	16,00	0,08
15	0,50	460,4	2,3	0,50	16,00	0,14
30	0,71	461,5	3,4	0,74	16,00	0,21
45	0,87	462	3,9	0,85	16,00	0,24
60	1,00	462,7	4,6	1,00	16,00	0,29
75	1,12	463,4	5,3	1,16	16,00	0,33
90	1,22	463,9	5,8	1,27	16,00	0,36
105	1,32	464,3	6,2	1,35	16,00	0,39
120	1,41	464,9	6,8	1,48	16,00	0,42
AMOSTRA 03						
0	0,00	461,8	0	0,00	16,00	0,00
1	0,13	462,9	1,1	0,24	16,00	0,07

Argamassa - C15%						
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Peso (g)**	**Diferença (g)**	**Absorvido (%)**	**Área do CP (cm²)**	**Absorção (g/cm²)**
5	0,29	463,6	1,8	0,39	16,00	0,11
15	0,50	464,9	3,1	0,67	16,00	0,19
30	0,71	466,1	4,3	0,93	16,00	0,27
45	0,87	467,1	5,3	1,15	16,00	0,33
60	1,00	467,8	6	1,30	16,00	0,38
75	1,12	468,6	6,8	1,47	16,00	0,43
90	1,22	469	7,2	1,56	16,00	0,45
105	1,32	469,7	7,9	1,71	16,00	0,49
120	1,41	470,1	8,3	1,80	16,00	0,52

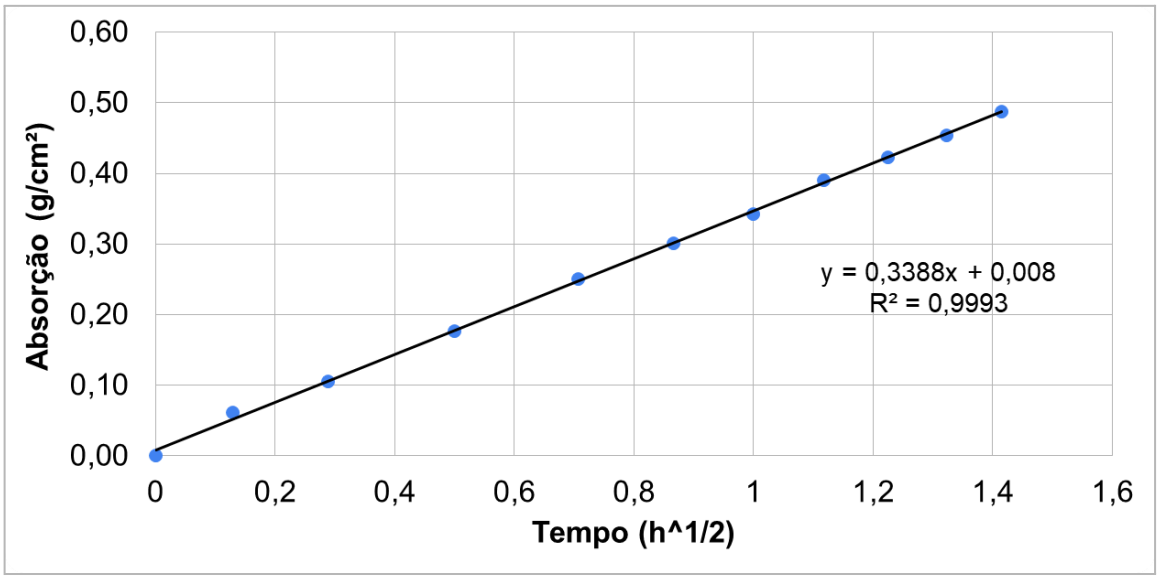
Fonte: Autor (2026).

Tabela 52 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média C15%).

MÉDIA ARGAMASSA - C15%					
Tempo (min)	**Tempo raiz (h)**	**Média**	**Média peso**	**Diferença (%)**	**Absorvido (%)**
0	0,00	0,00	459,30	459,30	100,00
1	0,13	0,06	459,30	459,24	99,99
5	0,29	0,11	459,30	459,19	99,98
15	0,50	0,18	459,30	459,12	99,96
30	0,71	0,25	459,30	459,05	99,95
45	0,87	0,30	459,30	459,00	99,93
60	1,00	0,34	459,30	458,96	99,93
75	1,12	0,39	459,30	458,91	99,91
90	1,22	0,42	459,30	458,88	99,91
105	1,32	0,45	459,30	458,85	99,90
120	1,41	0,49	459,30	458,81	99,89

Fonte: Autor (2026).

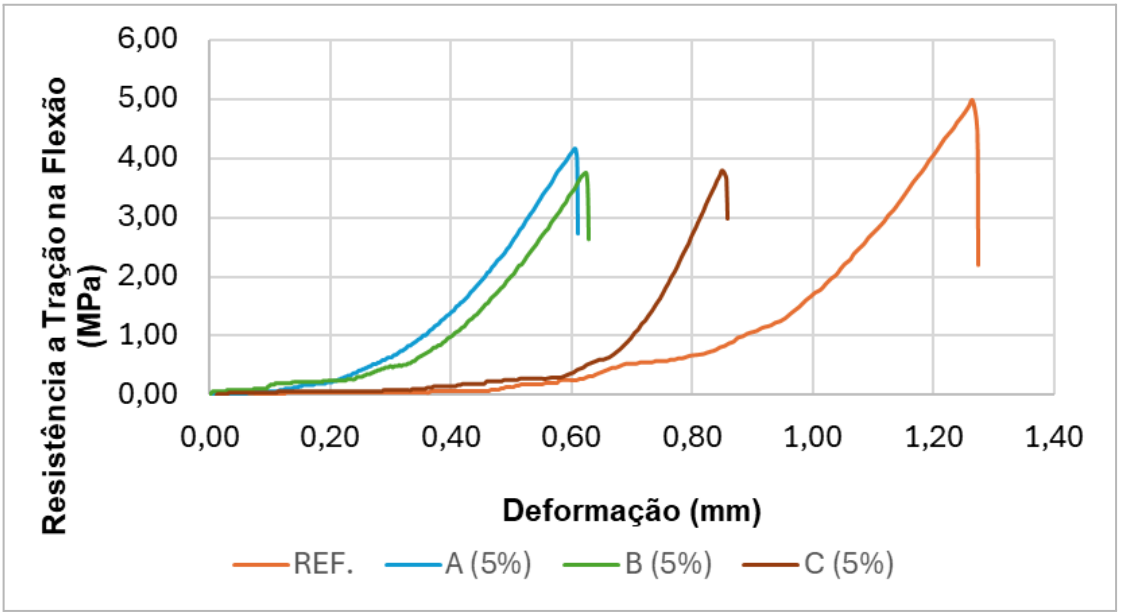
Figura 43 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (média C15%).



Fonte: Autor (2026).

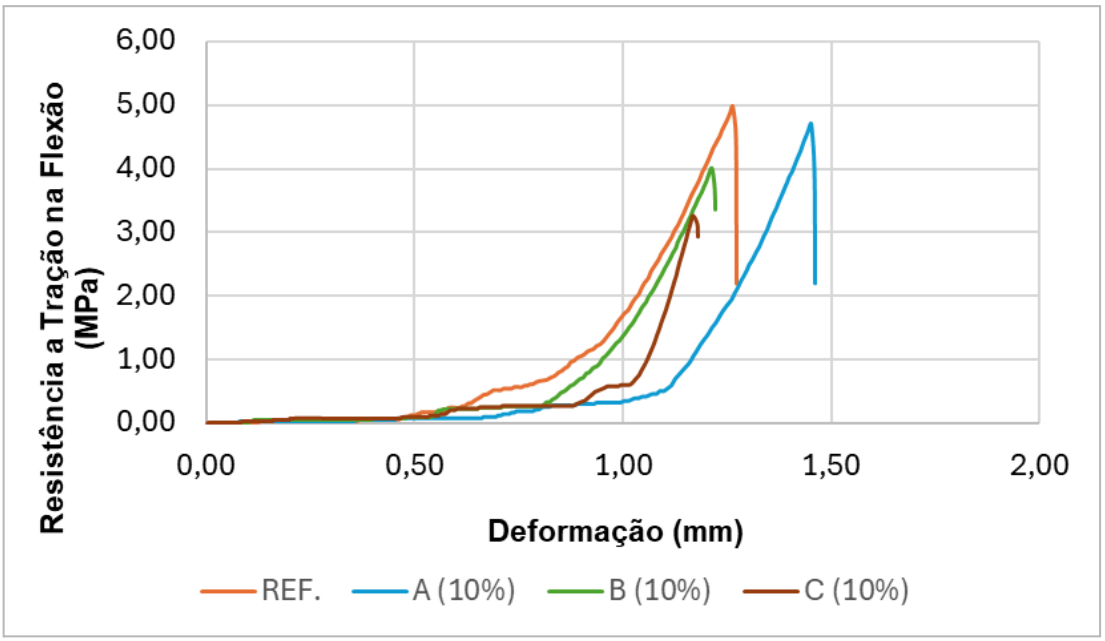
ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Figura 44 – Resistência à tração na flexão x deformação (REF. x teor 5%)



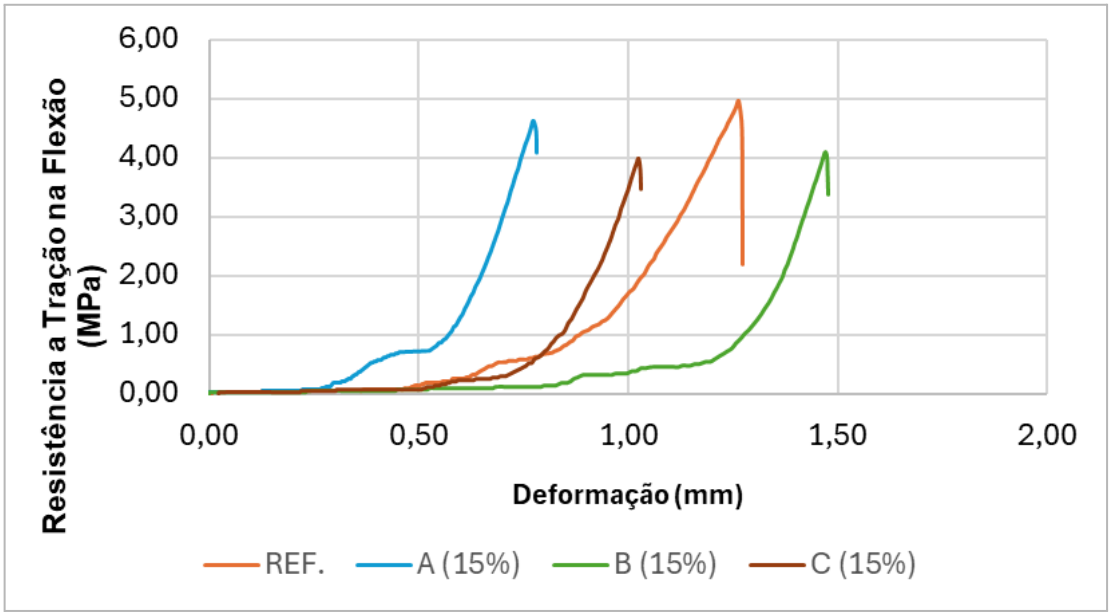
Fonte: Autor (2026).

Figura 45 – Resistência à tração na flexão x deformação (REF. x teor 10%)



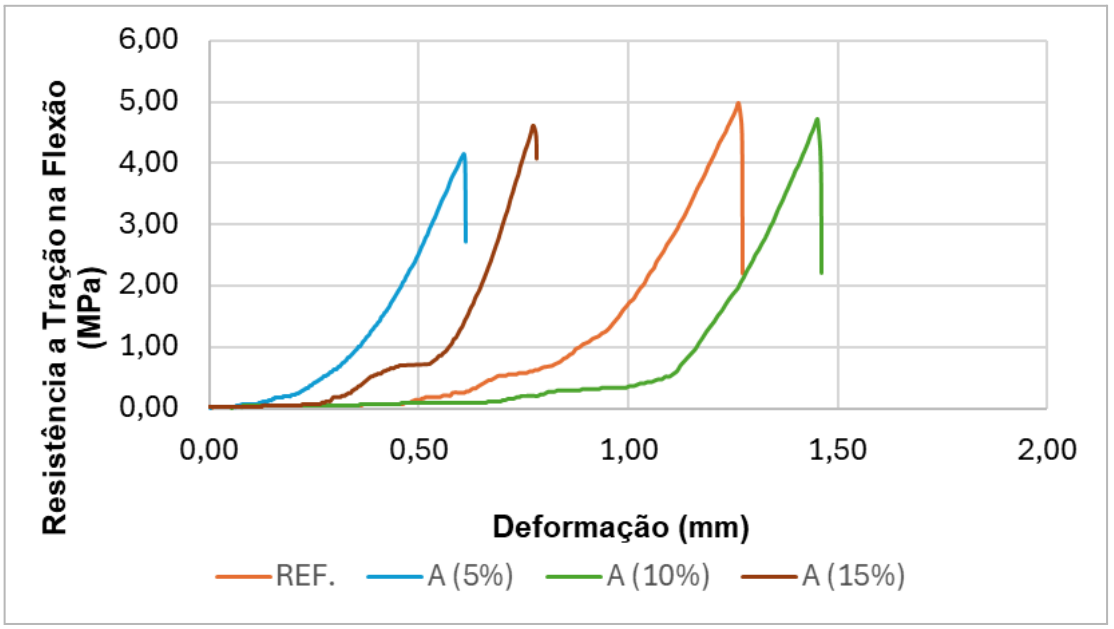
Fonte: Autor (2026).

Figura 46 – Resistência à tração na flexão x deformação (REF. x teor 15%)



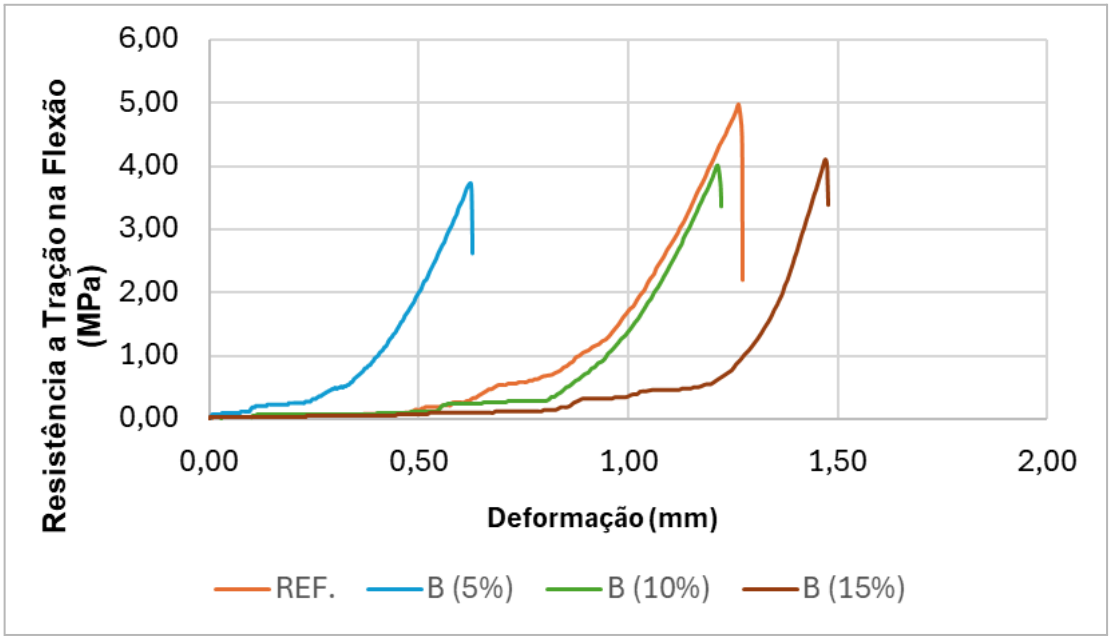
Fonte: Autor (2026).

Figura 47 – Resistência à tração na flexão x deformação (REF. x A)



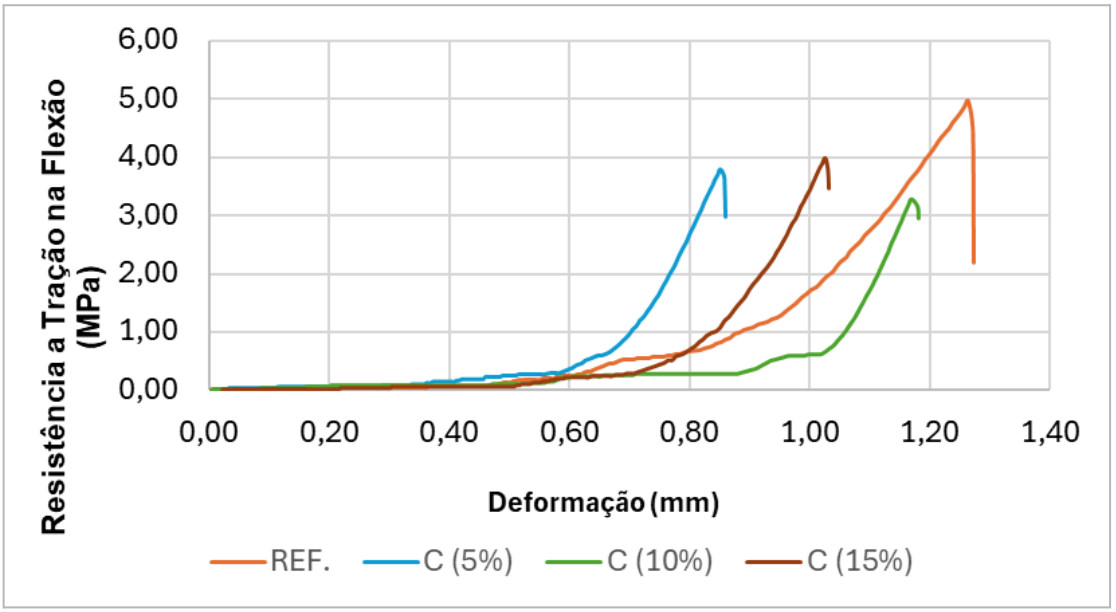
Fonte: Autor (2026).

Figura 48 – Resistência à tração na flexão x deformação (REF. x B)



Fonte: Autor (2026).

Figura 49 – Resistência à tração na flexão x deformação (REF. x C)



Fonte: Autor (2026).

ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Tabela 53 – Ensaio de aderência à tração (argamassa de referência).

Argamassa de referência				
Corpo de prova			Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (Mpa)
Nº	Dm (mm)	Área (mm²)		
1	50	1962,5	392,15	0,20
2	50	1962,5	476,51	0,24
3	50	1962,5	481,79	0,25
4	50	1962,5	256,66	0,13
5	50	1962,5	359,43	0,18
6	50	1962,5	467,55	0,24
7	50	1962,5	463,05	0,24
8	50	1962,5	526,10	0,27
9	50	1962,5	817,53	0,42
10	50	1962,5	843,61	0,43
11	50	1962,5	360,00	0,18

Fonte: Autor (2026).

Tabela 54 – Ensaio de aderência à tração (argamassa A10%).

Argamassa amostra A10%												
Corpo de prova			Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (Mpa)	Forma de ruptura						
Nº	Dm (mm)	Área (mm²)			S	S/C	A	A/C	C.O	CP	P
1	49,17	1897,6	251,89	0,13						X	
2	48,83	1871,7	542,42	0,29						X	
3	46,83	1721,5	368,12	0,21				X			
4	50,00	1962,5	378,52	0,19			X				
5	50,83	2028,2	366,42	0,18						X	
6	50,00	1962,5	545,87	0,28	X						
7	49,83	1949,2	562,45	0,29				X			
8	50,83	2028,5	807,99	0,40		X					
9	50,17	1975,9	215,93	0,11						X	
10	49,83	1949,4	551,50	0,28	X						
11	49,83	1949,2	909,39	0,47			X				

Argamassa amostra A10%											
Corpo de prova			Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (Mpa)	Forma de ruptura						
Nº	Dm (mm)	Área (mm²)			S	S/C	A	A/C	C.O	CP	P
12	50,17	1975,6	595,30	0,30						X	
13	48,83	1871,7	374,16	0,20					X		
14	50,17	1975,9	385,23	0,19						X	

Fonte: Autor (2026).

S: Substrato; S/C: Substrato + Chapisco; A: Argamassa; A/C: Argamassa + cola; C.O: Cola; CP: Chapisco; P: Perda.

Tabela 55 – Ensaio de aderência à tração (argamassa B10%).

Argamassa amostra B10%											
Corpo de prova			Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (Mpa)	Forma de ruptura						
Nº	Dm (mm)	Área (mm²)			S	S/C	A	A/C	C.O	CP	P
1	49,67	1936,4	468,84	0,24						X	
2	49,50	1923,4	714,08	0,37					X		
3	49,33	1910,3	-	-							X
4	50,00	1962,5	-	-							X
5	50,33	1988,5	477,46	0,24		X					
6	49,67	1936,7	315,46	0,16		X					
7	50,50	2001,9	320,57	0,16						X	
8	49,83	1949,4	251,89	0,13					X		
9	49,67	1936,7	302,34	0,16	X						
10	49,67	1936,4	669,77	0,35						X	
11	49,67	1936,7	204,68	0,11					X		
12	49,67	1936,4	528,66	0,27	X						

Fonte: Autor (2026).

S: Substrato; S/C: Substrato + Chapisco; A: Argamassa; A/C: Argamassa + cola; C.O: Cola; CP: Chapisco; P: Perda.

Tabela 56 – Ensaio de aderência à tração (argamassa C5%).

Argamassa amostra C5%											
Corpo de prova			Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (Mpa)	Forma de ruptura						
Nº	Dm (mm)	Área (mm²)			S	S/C	A	A/C	C.O	CP	P
1	50,00	1962,5	280,86	0,14					X		
2	51,67	2095,8	545,24	0,26		X					
3	49,33	1910,3	372,52	0,20		X					
4	49,00	1884,8	277,79	0,15					X		
5	50,33	1988,5	359,43	0,18			X				
6	49,83	1949,2	203,66	0,10						X	
7	50,33	1988,5	233,31	0,12						X	
8	50,00	1962,5	458,62	0,23	X						
9	49,67	1936,7	-	-							X
10	49,00	1884,8	521,50	0,28	X						
11	49,67	1936,7	455,21	0,24						X	
12	49,00	1884,8	331,87	0,18			X				
13	49,67	1936,7	-	-							X
14	49,33	1910,3	234,00	0,12						X	

Fonte: Autor (2026).

S: Substrato; S/C: Substrato + Chapisco; A: Argamassa; A/C: Argamassa + cola; C.O: Cola; CP: Chapisco; P: Perda.