XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO COM CORPOS DE PROVA EM ESCALA REDUZIDA: COMPARAÇÃO ENTRE ARGAMASSAS E PASTAS CIMENTÍCIAS

Tests in the hardened state with small-scale specimens: comparison between mortars and cement pastes

THIAGO DE OLIVEIRA RIBEIRO[1], LYLIAN GABRIELE CARNEIRO OLIVEIRA[2], LIS LIMA REIS[3], MARIA REGINA SOUZA DO AMOR DIVINO[4], FERNANDA NEPOMUCENO COSTA[5]

[1] Graduando em Eng. Civil, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, thiagoribeiro@aluno.ufrb.edu.br
[2] Graduanda em Eng. Civil, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, lyliangabriele@aluno.ufrb.edu.br
[3] Graduanda em Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, lislima@aluno.ufrb.edu.br
[4] Graduanda em Eng. Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, mariareginasda@aluno.ufrb.edu.br
[5] Doutora em Eng. Civil, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, fernandacosta@ufrb.edu.br

RESUMO

O estudo avaliou argamassas e pastas cimentícias em corpos de prova convencionais e miniatura, analisando absorção de água, resistência à tração e à compressão. As argamassas em miniatura apresentaram variação menor que 1 MPa em relação às convencionais, validando seu uso. Já as pastas cimentícias exibiram maior discrepância na resistência, demandando ajustes metodológicos. A miniaturização reduziu geração de resíduos, facilitou o armazenamento, diminuiu custos e otimizou o tempo de ensaios. Assim, essa abordagem se mostra eficiente e sustentável para estudos laboratoriais, permitindo análises confiáveis com menor consumo de materiais e impacto ambiental.

Palavras-chave: argamassas. Pastas cimentícias. Miniaturização. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The study evaluated mortars and cementitious pastes in conventional and miniature specimens, analyzing water absorption, tensile strength, and compressive strength. The miniature mortars showed a variation of less than 1 MPa compared to the conventional ones, validating their use. However, the cementitious pastes exhibited greater discrepancies in strength, requiring methodological adjustments. Miniaturization reduced waste generation, facilitated storage, lowered costs, and optimized testing time. Thus, this approach proves to be efficient and sustainable for laboratory studies, allowing reliable analyses with lower material consumption and environmental impact.

Key-words: mortars. Cement pastes. Miniaturization. Sustainability.

Como citar:
RIBEIRO T. O.; OLIVEIRA, L. G. C.; REIS, L. L.; DIVINO, M. R. S. A.; COSTA, F. N. Ensaios no estado endurecido com corpos de prova em escala reduzida: comparação entre argamassas e pastas cimentícias. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

As ações humanas têm causado impactos ambientais significativos devido à exploração excessiva dos recursos naturais e ao descarte inadequado de resíduos. Tal problemática tem sido objeto de preocupação em âmbito global, estimulando o interesse de pesquisadores na busca por alternativas que sejam técnica e economicamente viáveis, com o propósito de mitigar os danos ambientais [1]. As técnicas em miniatura para avaliação de desempenho e desenvolvimento de novos materiais surgem como uma abordagem inovadora e eficiente para reduzir custos operacionais e impactos ambientais. Ao utilizar volumes reduzidos de amostras, obtém-se economia de materiais e agilidade nos ensaios, aprimorando o controle de qualidade e a detecção precoce de inconformidades [2].

Nesse contexto, o uso de amostras em escala reduzida representa uma alternativa viável para a avaliação de desempenho em pesquisas laboratoriais. Pesquisas conduzidas por Costa [3], Mariani [4] e Costa [1] evidenciam que o uso de espécimes menores contribui para a viabilidade de estudos envolvendo a produção de cimentos alternativos, em escala laboratorial, e a avaliação de propriedades tais como resistência ao ataque por sulfatos, conforme proposto por Mehta [5].

A miniaturização de corpos de prova é uma solução eficiente para avaliar argamassas e pastas cimentícias, pois reduz significativamente o consumo de material, especialmente ao utilizar resíduos industriais, superando desafios de processamento e limitações laboratoriais. Estudos como os de Souza *et al.* [6, 7], Oliveira *et al.* [8] e Ribeiro *et al.* [9] demonstraram que os resultados obtidos por meio da utilização de corpos de prova em escala reduzida apresentam uniformidade em relação aos padrões tradicionais, reforçando a eficácia dessa metodologia. Entretanto Reis e Pinto [10] apontam que o uso de amostras em miniatura para pastas pode não ser ideal devido à variabilidade dos resultados, recomendando a avaliação em argamassas, para reduzir a influência da instabilidade dimensional.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar e comparar o desempenho de argamassas e pastas cimentícias por meio de ensaios no estado endurecido, utilizando tanto corpos de prova em miniatura quanto convencionais. A pesquisa busca identificar qual dos materiais cimentícios em miniatura apresenta maior fidelidade aos resultados obtidos nos corpos de prova de tamanho convencional. Essa análise pode fundamentar técnicas mais econômicas, precisas e sustentáveis, impulsionando o avanço tecnológico e ambiental da construção civil.

PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no Campus Cruz das Almas – Bahia. O estudo começou com a definição do programa experimental, seguido da confecção das fôrmas em miniatura.

MATERIAIS

O aglomerante utilizado nos ensaios foi o CP V – ARI, produzido pela Intercement em Campo Formoso, Bahia. A areia natural, extraída de uma jazida em Alagoinhas – Bahia e doada por

uma empresa de concreto usinado da região do recôncavo baiano, foi peneirada e seca em estufa a (105±5) °C por 24 horas até atingir massa constante. Já a água utilizada foi destilada, proveniente de um destilador da marca Marte, disponível no Laboratório de Qualidade de Água da UFRB.

MÉTODOS

PRODUÇÃO DAS FÔRMAS EM MINIATURA

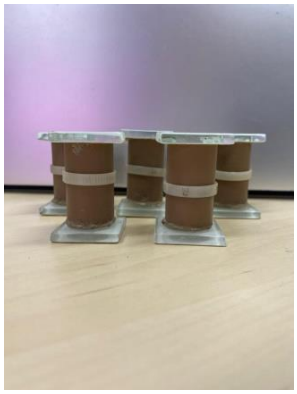
Os moldes prismáticos, produzidos pela MoldForm em São Paulo - SP, foram esculpidos em Clay de alta dureza para criar uma matriz e, posteriormente, um contramolde de borracha líquida. O molde final, de 17x21 cm (Figura 1A), possui 32 cavidades de 1x1x4 cm, gerando corpos de prova quatro vezes menores que os convencionais, conforme a NBR 13279 [11].

As fôrmas cilíndricas em miniatura foram confeccionadas com tubos de PVC DN 20 mm da Fortlev, com fundo e tampa de pastilha de vidro, medindo 17 mm de diâmetro e 34 mm de altura, garantindo que a altura seja igual a duas vezes o diâmetro, conforme a NBR 5738 [12] (Figua 1B). O acabamento foi realizado com lixas e conferido com paquímetro digital. A base de pastilha de vidro foi fixada com cola Almasuper, enquanto a tampa permaneceu solta para controle de umidade. As fôrmas possuem abertura lateral para facilitar a desforma, sendo travadas com fita Hellerman durante a moldagem.

Figura 1 - Fôrmas em miniatura (A) para moldar argamassas e (B) para moldar pastas.



(A)



(B)

Fonte: Os autores (2025).

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A massa específica do cimento Portland foi determinada conforme os procedimentos da NM 23 [13], enquanto a caracterização da areia natural seguiu as normas NM 248 [14] para granulometria, NM 23 [13] e NM 52 [15] para massa específica, NM 45 [16] para massa unitária e NBR 16973 [17] para teor de material pulverulento.

DOSAGEM E PREPARO DAS MISTURAS

Para a produção das argamassas utilizou-se um traço de 1:6, unitário em massa, e uma relação água/cimento de 1,05, conforme proposto por Guimarães *et al.* [18]. Para o preparo das pastas a relação água/cimento foi de 0,48, proposta por Souza *et al.* [6]. A mistura dos

materiais foi realizada com um misturador mecânico e um recipiente não absorvente, seguindo rigorosamente as recomendações da NBR 13279 [11] para as argamassas e da NBR 7215 [19] para as pastas.

Determinação do índice de consistência e da densidade de massa

A determinação do índice de consistência foi realizada para argamassas e pastas conforme a NBR 13276 [20] e o Anexo A da NBR 7215 [19], enquanto a densidade de massa foi determinada de acordo com a NBR 13278 [21].

Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova das argamassas foram moldados conforme a NBR 13279 [11], utilizando moldes prismáticos em miniatura (10x10x40 mm) e convencionais (40x40x160 mm). Para as pastas, seguiram-se as recomendações da NBR 7215 [19], com moldes cilíndricos em miniatura (17x34 mm) e convencionais (50x100 mm). Após 24 horas, foram desmoldados e imersos em água saturada com cal até os ensaios de ruptura e absorção. A cura dos corpos de prova em miniatura foi realizada em vasilhas plásticas de dois litros com água e cal. As dimensões foram verificadas com paquímetro e a comparação entre os tipos está na Figura 2.

Figura 2 - Comparação entre os tamanhos convencionais e as miniaturas: (A) argamassas e (B) pastas.



(A) (B)

Fonte: Os autores (2025).

Ensaios de absorção, índice de vazios e massa específica

A determinação da absorção de água, do índice de vazios e da massa específica das amostras é realizada por meio de um único ensaio, conforme estabelecido pela NBR 9778 [22].

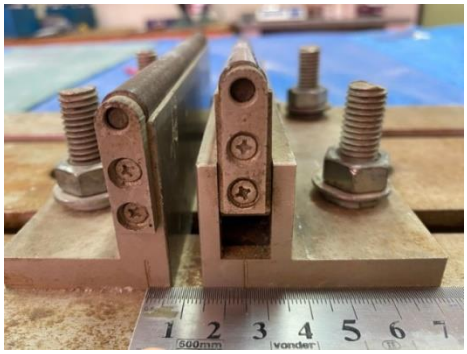
Determinação da absorção de água por capilaridade

Para a determinação da absorção de água por capilaridade foram utilizados três corpos de prova por amostra, em conformidade com a NBR 9779 [23]. Nos corpos de prova convencionais, o nível da água no recipiente foi mantido constante a (5±1) mm acima da face inferior, conforme determinado na norma técnica. Para os corpos de prova em miniatura, esse nível de água foi ajustado para 1,25 mm, de forma proporcional.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO

Foram moldados 12 corpos de prova para cada tipo de molde prismático nos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, sendo testadas 3 unidades para cada idade: 24 horas, 3 dias, 7 dias e 28 dias, conforme as especificações da NBR 13279 [11]. No ensaio de resistência à tração em corpos de prova convencionais, são utilizados suportes de aço em forma de roletes, espaçados a (100±0,5) mm. Para os corpos de prova em miniatura, essa distância foi adaptada para (25±0,5) mm, equivalente a um quarto da original, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Ajuste do dispositivo para realizar o ensaio com as argamassas em miniatura.



Fonte: Os autores (2025).

Para realizar os ensaios de resistência à compressão axial, foram moldados 16 corpos de prova para cada tipo de molde, com 4 unidades testadas para cada idade: 24 horas, 3 dias, 7 dias e 28 dias, conforme as especificações da NBR 7215 [19]. Os topos dos corpos de prova cilíndricos em miniatura foram lixados até ficarem nivelados e isentos de irregularidades. Durante os ensaios, uma camada de couro de 4,5 mm foi colocada nas extremidades das amostras em escala reduzida (Figura 4B) e Neoprene para as amostras convencionais (Figura 4A) para melhorar a distribuição das cargas e compensar possíveis imperfeições na região de contato [24].

Figura 4 - Ensaio de resistência à compressão em corpo de prova: (A) convencional e (B) miniatura.



(A) (B)

Fonte: Os autores (2025).

Os testes foram conduzidos em uma máquina universal de ensaios da Time Group Inc., modelo WDW-200E, com capacidade máxima de 200 kN.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

O método do Coeficiente de Variação (Equação 1), uma medida estatística que expressa a variabilidade relativa de um conjunto de dados em relação à sua média, foi aplicado para analisar e comparar a dispersão dos diferentes conjuntos de dados.

$$CV = \left(\frac{\sigma}{\bar{x}} \right) \times 100 \quad (1)$$

A NBR 5739 [25] estabelece um critério para o coeficiente de variação em corpos de prova de concreto, servindo como referência para avaliar a eficiência dos ensaios. Neste estudo, utilizou-se esse parâmetro normativo para analisar os ensaios de resistência mecânica, garantindo uma base técnica sólida para a comparação dos resultados entre pastas e argamassas, o que contribuirá para uma avaliação mais precisa e consistente da variabilidade dos dados.

O coeficiente de variação classifica as amostras em cinco níveis: i) EXCELENTE para valores até 3,0%; ii) MUITO BOM entre 3,0% e 4,0%; iii) BOM entre 4,0% e 5,0%; iv) RAZOÁVEL entre 5,0% e 6,0%; e v) DEFICIENTE para valores superiores a 6,0%. Essa categorização permite avaliar a dispersão dos resultados e a confiabilidade dos ensaios realizados.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A Tabela 1 apresenta a caracterização do cimento e da areia natural, incluindo parâmetros como massa específica, massa unitária, diâmetro médio do grão, módulo de finura e teor de material pulverulento.

Tabela 1 – Caracterização do ligante e do agregado utilizados nas misturas.

Material	Massa específica (g/cm^3)	Massa unitária (g/cm^3)	Diâmetro médio D_{50} (mm)	Módulo de finura	Teor de material pulverulento (%)
Cimento CP V	3,14	-	-	-	-
Areia natural	2,62	1,59	0,43	2,08	2,19 ± 0,15

Fonte: Os autores (2025).

De acordo com a análise granulométrica realizada conforme a NM 248, a areia foi classificada como fina, com módulo de finura de 2,08 e diâmetro médio de 0,43 mm.

ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA E DENSIDADE DE MASSA

Os resultados dos ensaios para a determinação do índice de consistência e das densidades de massa das argamassas e pastas estudadas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do índice de consistência e densidade de massa.

Tipo de Amostra	Espalhamento médio (mm)	Densidade de massa (kg/m³)
Argamassa	259,6	2059,2
Pasta	383,6	1905,6

Fonte: Os autores (2025).

O espalhamento médio da argamassa foi de 259,6 mm, enquanto o da pasta foi de 383,6 mm, indicando que a pasta possui maior fluidez, o que era esperado devido à ausência de agregados, que reduz a resistência ao fluxo, tornando-a mais dispersível. Em relação à densidade de massa, a argamassa apresentou 2059,2 kg/m³, valor superior ao da pasta, que registrou 1905,6 kg/m³, já que a presença de agregados na argamassa contribui para o aumento da densidade do material.

ABSORÇÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica dos corpos de prova nos tamanhos convencional e em miniatura, para as amostras.

A absorção de água foi semelhante entre as argamassas convencionais (13,29%) e em miniatura (13,24%), com diferença de apenas 0,05%. Para as pastas, a variação foi um pouco maior, com 29,75% para a convencional e 30,09% para a miniatura (0,34%). O índice de vazios seguiu a mesma tendência, com diferença de 0,55% para argamassas e 0,94% para pastas.

Tabela 4 – Resultados de absorção de água por imersão, índice de vazios, massa específica seca, saturada e real.

Amostra	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa especifica da amostra seca (g/cm³)	Massa especifica da amostra saturada (g/cm³)	Massa especifica real (g/cm³)
Argamassa Convencional	13,29	23,17	1,74	1,97	2,27
Argamassa em Miniatura	13,24	22,72	1,72	1,94	2,22
Pasta Convencional	29,75	43,90	1,48	1,91	2,63
Pasta em Miniatura	30,09	44,34	1,47	1,92	2,65

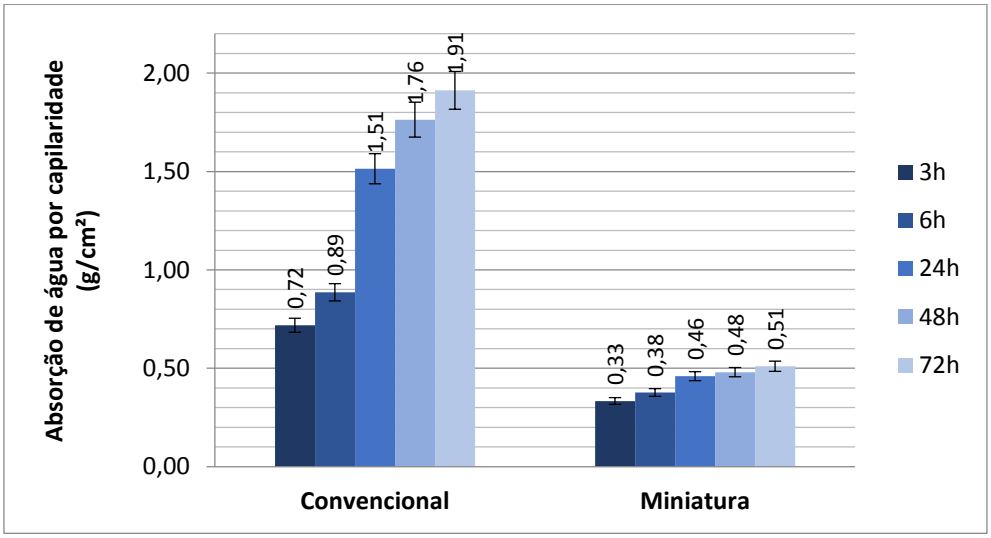
Fonte: Os autores (2025).

A massa específica das argamassas em miniatura e convencional apresentaram valores próximos, com 1,72 g/cm³ (seca) e 1,94 g/cm³ (saturada) para miniaturas, e 1,74 g/cm³ e 1,97 g/cm³ para convencionais. Para as pastas, a massa específica real foi de 2,63 g/cm³ na convencional e 2,65 g/cm³ na miniatura.

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A Figura 5 apresenta os resultados da absorção de água por capilaridade das argamassas nos dois tamanhos de amostras estudados: convencional e miniatura. Em ambas as escalas, observa-se que a absorção aumenta com o tempo de exposição, evidenciando o comportamento típico de materiais porosos.

Figura 5 - Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade das argamassas em tamanho convencional e em miniatura.

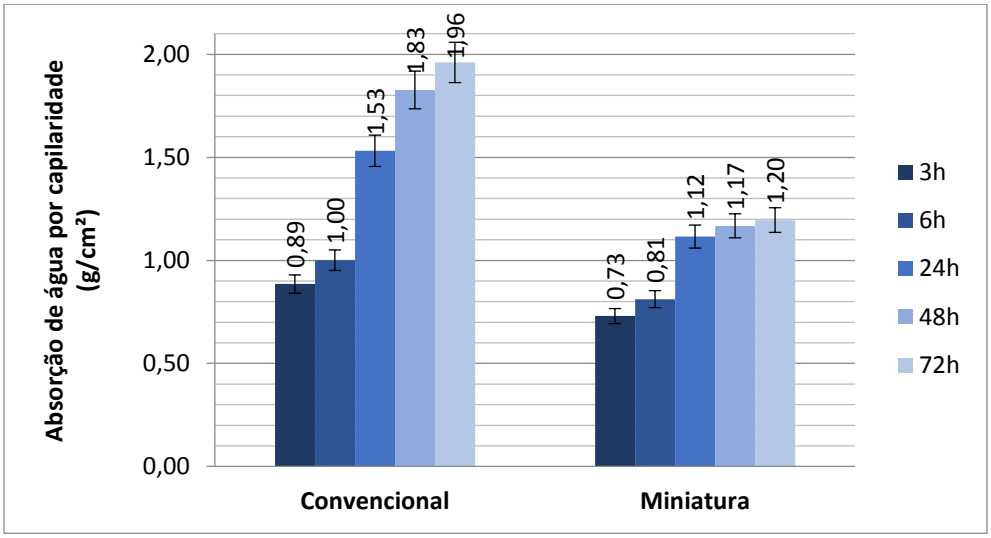


Fonte: Os autores (2025).

Apesar da diferença nos valores, o padrão de crescimento da absorção ao longo do tempo manteve-se semelhante entre as duas escalas, indicando que o mecanismo de absorção de água por capilaridade não foi significativamente alterado pela redução de tamanho das amostras. A menor absorção observada na escala reduzida pode estar relacionada a fatores como variações na compactação da amostra ou na proporção da área exposta à água. No entanto, a similaridade na tendência de absorção sugere que a escala reduzida pode ser utilizada para prever o comportamento da argamassa em tamanho convencional, desde que seja devidamente calibrada para compensar as diferenças observadas nos valores absolutos.

A Figura 6 apresenta o comportamento da absorção de água por capilaridade para as pastas de cimento em diferentes tempos de exposição.

Figura 6 - Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade das pastas em tamanho convencional e em miniatura.



Fonte: Os autores (2025).

De maneira semelhante às argamassas, a pasta também seguiu uma tendência proporcional, na qual à medida que a absorção cresce na escala convencional, ocorre um crescimento correspondente na escala reduzida. Isso reforça que a redução de escala não altera significativamente o mecanismo de capilaridade do material, mantendo um padrão de absorção ao longo do tempo.

No entanto, diferentemente das argamassas, os valores absolutos observados nas pastas nas duas escalas apresentaram maior proximidade. Enquanto nas argamassas havia uma diferença mais acentuada entre os valores obtidos na escala convencional e reduzida, nas pastas essa variação foi menor. Isso pode indicar que a estrutura da pasta, sendo mais homogênea e menos influenciada por fatores como granulometria dos agregados, proporciona uma absorção mais semelhante independentemente da escala.

Resistência a tração na flexão e à compressão

A resistência à tração da argamassa determina o limite máximo que a resistência de aderência pode alcançar [26]. A Tabela 5 apresentam os resultados obtidos para cada corpo de prova, tanto no tamanho convencional quanto em miniatura, nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias.

Os resultados indicaram que as amostras em escala reduzida apresentaram um comportamento semelhante às padronizadas, validando o uso de corpos de prova em miniatura para a avaliação de desempenho. No entanto, algumas variações na resistência foram observadas, possivelmente devido às adaptações nos ensaios. Do ponto de vista estatístico, as miniaturas demonstraram um coeficiente de variação EXCELENTE nas idades de 3 e 7 dias. Entretanto, aos 28 dias, esse desempenho foi classificado como BOM, enquanto, ao 1 dia, revelou-se MUITO BOM.

Tabela 5 – Resultados obtidos a partir do ensaio de resistência à tração na flexão em argamassas.

Amostras	Idade	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
Argamassa convencional	1 dia	1,04	0,04	3,85
	3 dias	1,43	0,09	6,29
	7 dias	1,93	0,03	1,55
	28 dias	2,25	0,11	4,89
Argamassa em miniatura	1 dia	1,48	0,05	3,38
	3 dias	1,89	0,04	2,12
	7 dias	2,26	0,04	1,77
	28 dias	2,95	0,13	4,41

Fonte: Os autores (2025).

Os resultados indicaram que as amostras em escala reduzida apresentaram um comportamento semelhante às padronizadas, validando o uso de corpos de prova em miniatura para a avaliação de desempenho. No entanto, algumas variações na resistência foram observadas, possivelmente devido às adaptações nos ensaios. Do ponto de vista estatístico, as miniaturas demonstraram um coeficiente de variação EXCELENTE nas idades de 3 e 7 dias. Entretanto, aos 28 dias, esse desempenho foi classificado como BOM, enquanto, ao 1 dia, revelou-se MUITO BOM.

De maneira análoga, os ensaios de resistência à compressão axial também indicaram essa tendência de equivalência entre as argamassas. A Tabela 6 indica o comportamento das argamassas em tamanhos convencional e em miniatura, com base nas médias das resistências dos corpos de prova analisados em 1, 3, 7 e 28 dias, complementando essa análise ao apresentar, além das médias das resistências, os valores de desvio padrão e coeficiente de variação dos resultados.

Tabela 6 – Resultados obtidos a partir do ensaio de resistência à compressão em argamassas.

Amostras	Idade	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
Argamassa convencional	1 dia	3,42	0,17	4,97
	3 dias	5,33	0,19	3,56
	7 dias	6,40	0,23	3,59
	28 dias	8,43	0,29	3,44
Argamassa em miniatura	1 dia	3,54	0,20	5,65
	3 dias	5,68	0,32	5,63
	7 dias	6,75	0,14	2,07
	28 dias	9,25	0,26	2,81

Fonte: Os autores (2025).

As variações entre os corpos de prova em escala reduzida e os convencionais ficaram entre 3,57% e 9,73%, com as miniaturas apresentando uma resistência até 9,73% superior aos corpos de prova padronizados das argamassas.

A Tabela 7 apresenta a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos resultados obtidos na avaliação da resistência à compressão para os corpos de prova em tamanhos padrões e em miniatura, nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias para as pastas.

A resistência mecânica dos corpos de prova em escala reduzida das pastas apresentaram valores de resistência inferiores com variações de 2,15% a 12,68% em relação aos corpos de prova convencionais. A maior discrepância foi observada no estágio inicial de cura.

Tabela 7 – Resultados obtidos a partir do ensaio de resistência à compressão em pastas.

Amostras	Idade	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
Pasta convencional	1 dia	16,08	0,52	3,23
	3 dias	23,58	0,23	0,98
	7 dias	29,33	0,31	1,06
	28 dias	31,87	0,52	1,63
Pasta em miniatura	1 dia	14,04	0,24	1,71
	3 dias	21,60	0,34	1,57
	7 dias	28,70	0,36	1,25
	28 dias	30,39	0,21	0,69

Fonte: Os autores (2025).

Todavia, a comparação dos resultados entre os diferentes moldes demonstra uma tendência de similaridade e uniformidade nos valores de resistência obtidos para as amostras em escala reduzida em relação às padronizadas. Essa tendência é observada em todas as idades avaliadas, indicando que o uso de amostras em miniatura não compromete a precisão na avaliação do desempenho mecânico de argamassas e pastas cimentícias.

Do ponto de vista estatístico, as argamassas em miniatura apresentaram um coeficiente de variação EXCELENTE para as idades de 7 e 28 dias; contudo, para 1 e 3 dias esse parâmetro foi considerado apenas RAZOÁVEL. Em contrapartida, as pastas cimentícias em escala reduzida mantiveram um coeficiente de variação EXCELENTE em todas as idades analisadas.

Estudos de Souza *et al.* [6,7] e Cordeiro [27] corroboram os achados desta pesquisa, apresentando coeficientes de variação semelhantes, o que reforça a eficiência dos ensaios com amostras em miniatura. No entanto, os resultados deste estudo divergem dos de Reis [10], possivelmente devido a falhas no procedimento adotado por este autor, que não seguiu corretamente os padrões estabelecidos pela NBR 5738 [12]. Em seu estudo, as dimensões dos corpos de prova estavam incorretas, pois a altura não era o dobro do diâmetro, como exige a norma. Além disso, a moldagem foi feita em uma única camada, contrariando as especificações da norma, o que pode ter comprometido a confiabilidade dos ensaios e contribuído para o aumento do coeficiente de variação entre as amostras.

Por outro lado, conforme previsto por Reis [10], os corpos de prova das argamassas apresentaram menor variância em comparação aos da pasta, o que também foi observado nesta pesquisa. As análises apresentadas por Oliveira *et al.* [8] e por Ribeiro *et al.* [9] também apresentam similaridade nos comportamentos apresentados pelas argamassas em miniatura com as convencionais.

CONCLUSÕES

O estudo comparou o desempenho de argamassas e pastas cimentícias em escala reduzida e convencional.

- No estado fresco, conforme esperado, a argamassa (259,6 mm) apresentou índice de consistência menor que a pasta (383,6 mm) e maior densidade de massa.
- O índice de vazios variou entre 22,72% e 23,17% para argamassas e entre 43,90% e 44,34% para pastas. A resistência à tração na flexão da argamassa convencional aos 28 dias foi de 2,25 MPa, enquanto a miniatura atingiu 2,95 MPa. Já a resistência à compressão foi de 8,43 MPa e 9,25 MPa para argamassas convencionais e miniaturas, respectivamente, e de 31,87 MPa e 30,39 MPa para as pastas cimentícias.
- A baixa variação nos coeficientes de dispersão confirma a confiabilidade da miniaturização das argamassas, permitindo economia de materiais e redução de impactos ambientais.
- As pastas cimentícias em escala reduzida apresentaram maior variação nos resultados em relação às argamassas, principalmente na avaliação da resistência à compressão.
- Apesar das diferenças, a miniaturização das pastas cimentícias pode ser viável a partir de ajustes metodológicos, contribuindo para práticas mais sustentáveis na construção civil.
- O uso de corpos de prova em miniatura reduz a geração de resíduos, facilita o armazenamento, diminui custos de pesquisa e otimiza o tempo de ensaios. Além disso, requer menor consumo de materiais, simplifica a manipulação e transporte, e melhora a eficiência laboratorial, mantendo a confiabilidade dos resultados.

REFERÊNCIAS

[1] COSTA, F. N. **Valorização do resíduo de construção civil por meio de sua incorporação ao processo de clinquerização.** 2020. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

[2] BEAUDOIN, J. J. **Miniaturized Techniques. Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology Principles, Techniques,** p. 403-440, 2001.

[3] COSTA, E. B. **Aproveitamento do resíduo de anodização do alumínio na produção do cimento sulfoaluminato de cálcio belítico.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2013.

[4] MARIANI, B. B. **Produção de clínquer Portland com baixa emissão de CO_2 a partir da incorporação de minério não reagido (MNR) proveniente da produção de TiO_2.** Dissertação

(mestrado). Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Salvador, 2018.

[5] MEHTA, P.; GJØRV, O. **Um novo teste para resistência ao sulfato de cimentos.** ASTM Internacional. J. Test. Eval. Novembro de 1974; 2(6): 510–515, 1974.

[6] SOUZA, C. O.; JESUS, L. S.; SILVA, R. P. S.; COSTA. R. B.; COSTA, F. N. **Incorporação de resíduos da casca de ovo galinha em matrizes cimentícias: avaliação da resistência em corpos de prova em miniatura cúbica e cilíndrica.** Anais do 64ª Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2023, IBRACON, Florianópolis – SC, 2023.

[7] SOUZA, C. O.; JESUS, L. S.; SANTOS, T. J. C.; CERQUEIRA. P. L. C. D.; COSTA, F. N. **Corpos de prova em miniatura para avaliação da incorporação de cinzas de fornos de padaria em matrizes cimentícias.** Anais do 65ª Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2024, IBRACON, Maceió – AL, 2024.

[8] OLIVEIRA, L. G. C.; RIBEIRO. T. O.; CERQUEIRA. P. L. C. D.; SANTOS, T. J. C.; COSTA, F. N. **Avaliação de argamassas com substituição parcial de cimento por cinzas de fornos de padaria utilizando cp em miniatura.** XXVIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, INIC, Universidade do Vale do Paraíba, 2024.

[9] RIBEIRO, T. O; OLIVEIRA, L. G. C.; CERQUEIRA. P. L. C. D.; GONÇALVES. D. R.; COSTA, F. N. **Avaliação de argamassas com substituição parcial de cimento por cinzas de fornos de olaria utilizando cp em miniatura.** XXVIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, INIC, Universidade do Vale do Paraíba, 2024.

[10] REIS, F. M.; PINTO, S. A. **Ensaios em escala reduzida: análise da variabilidade da resistência à compressão de pastas cimentícias.** Anais do 5˚ Seminário Baiano de Durabilidade e Desempenho das Construções, BADUCON, Salvador - Bahia, 2024.

[11] 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.

[12] _____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

[13] _____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

[14] _____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.

[15] _____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

[16] _____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

[17] _____. **NBR 16973**: Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2021.

[18] GUIMARÃES, C. C.; SANTOS, I. C. S.; ALMEIDA, M. S. S. **Cinza de padaria como adição mineral em substituição parcial ao cimento Portland na produção de argamassas.** Anais do 61ª Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2019, IBRACON, Fortaleza – CE, 2019.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

[20] _____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

[21] _____. **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.

[22] _____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

[23] _____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

[24] VIEIRA, L. B. **Avaliação do uso de resíduo de mármore bege Bahia como substituto do calcário na produção de clínquer e como material carbonático para cimento Portland**. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2022.

[25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

[26] ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V.; PILEGGI, R. G. **Propriedades Reológicas de Argamassas Avaliadas por Squeeze-Flow.** VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, SBTA, Florianópolis - SC, 2005.