



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**ARGAMASSAS ECOEFICIENTES: USO DE RESÍDUO DE ESQUADRIAS DE PVC
RÍGIDO COMO AGREGADO PARA A CONSTRUÇÃO**

**AMANDA GRACIELLY DOS SANTOS PINTO
ANTONIO MICHAEL MARQUES DA CRUZ**

**Belém - PA
2026**

**AMANDA GRACIELLY DOS SANTOS PINTO
ANTONIO MICHAEL MARQUES DA CRUZ**

**ARGAMASSAS ECOEFICIENTES: USO DE RESÍDUO DE ESQUADRIAS DE PVC
RÍGIDO COMO AGREGADO PARA A CONSTRUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro

**Belém - PA
2026**

**AMANDA GRACIELLY DOS SANTOS PINTO
ANTONIO MICHAEL MARQUES DA CRUZ**

**ARGAMASSAS ECOEFICIENTES: USO DE RESÍDUO DE ESQUADRIAS DE PVC
RÍGIDO COMO AGREGADO PARA A CONSTRUÇÃO**

Belém, 24 de fevereiro de 2026.

Profa. Luciana Cordeiro
Dra. pela UFRGS
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro (UFPA)
Dra. pela UFRGS
Orientadora

Prof. Felipe de Sá Moreira (UFPA)
Dr. pela UFPA
Membro da banca

M.Sc. Messias Bezerra Barbosa (UFPA)
Me. pela UFPA
Membro da banca

CONCEITO FINAL: _____

ARGAMASSAS ECOEFICIENTES: USO DE RESÍDUO DE ESQUADRIAS DE PVC RÍGIDO COMO AGREGADO PARA A CONSTRUÇÃO

Amanda Gracielly dos Santos Pinto¹

Antonio Michael Marques da Cruz¹

¹ Universidade Federal do Pará

RESUMO

O setor da construção civil é um dos principais emissores de carbono e produtores de resíduos sólidos, o que impulsiona a busca por materiais alternativos e estratégias de sustentabilidade. Dentro desse contexto, o Policloreto de Vinila (PVC) apresenta um desafio global devido à sua lenta e difícil degradação ambiental, apesar de ser um material altamente reciclável. A pesquisa avaliou a viabilidade técnica de argamassas de revestimento com incorporação de resíduo de PVC (10%, 20% e 30%) em substituição ao agregado miúdo. Devido à natureza hidrofóbica do polímero, a trabalhabilidade exigiu um aumento na relação a/c para manter a consistência. Apresentando uma redução na densidade de massa à medida que o teor de polímero aumentou, alcançando uma diminuição de aproximadamente 31% na argamassa AR-PVC30, classificando-as como argamassas leves. No estado endurecido, embora o teor de 20% tenha apresentado um pico de absorção por capilaridade, o traço com 30% de resíduo exibiu uma redução nesse coeficiente, sugerindo que o caráter repelente do PVC pode dificultar o transporte de água no interior da matriz em concentrações elevadas. Além de uma redução acentuada na resistência à tração na flexão, que declinou de 3,95 MPa no traço de referência para 1,38 MPa no traço com 30% de substituição. Conclui-se que a utilização do resíduo de PVC é uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente responsável para fins não estruturais.

Palavras-chave: Argamassa; Polímero; Resíduo, Policloreto de Vinila (PVC), sustentabilidade.

ABSTRACT

The civil construction sector is one of the primary carbon emitters and producers of solid waste, driving the search for alternative materials and sustainability strategies. Within this context, Polyvinyl Chloride (PVC) presents a global challenge due to its slow and difficult environmental degradation, despite being a highly recyclable material. This research evaluated the technical feasibility of rendering mortars incorporating PVC waste (10%, 20%, and 30%) as a replacement for fine aggregate. Due to the hydrophobic nature of the polymer,

workability required an increase in the w/c ratio to maintain consistency. The composites exhibited a reduction in bulk density as the polymer content increased, resulting in a decrease of approximately 31% in the AR-PVC30 mortar, which enabled them to be classified as lightweight mortars. In the hardened state, although the 20% content showed a peak in capillary absorption, the 30% waste mix exhibited a reduction in this coefficient, suggesting that the repellent nature of PVC may hinder water transport within the matrix at high concentrations. Additionally, there was a sharp reduction in flexural tensile strength, which declined from 3,95 MPa in the reference mix to 1,38 MPa in the 30% replacement mix. It is concluded that the use of PVC waste is a technically viable and environmentally responsible alternative for non-structural purposes.

Keywords: Mortar; Polymer; Waste; Polyvinyl Chloride (PVC); Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Relatórios como o da ONU Meio Ambiente (2024) classificam o setor da construção civil como um dos principais emissores de carbono e produtores de resíduos sólidos. Esse cenário tem impulsionado a adoção de práticas e estratégias voltadas para a sustentabilidade, como a utilização de materiais alternativos, o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e o reaproveitamento de resíduos provenientes de processos industriais. (Matheus *et al.*, 2025)

Dentro desse contexto, o Policloreto de Vinila (PVC) se destaca por seu vasto uso e pela sua lenta e difícil degradação (Rodolfo Jr. e Mei, 2007), o que representa um desafio global no descarte desse material. No entanto, o PVC é um material altamente reciclável, com um nível de reciclagem crescente (Lewandowski e Katarzyna, 2022). Devido à escassez e às limitações ambientais na extração de agregados naturais, a indústria da construção civil, no Brasil e no mundo, tem sido impulsionada a buscar novas opções. Entre elas, o reaproveitamento e a reciclagem de resíduos industriais, que estão se mostrando uma das principais alternativas para um desenvolvimento mais sustentável (Lima Neta, 2020).

A utilização de resíduos de plásticos, dentre eles o PVC, apresenta-se como uma oportunidade promissora na incorporação em argamassas, devido à sua versatilidade e consumo crescente (Ribeiro, 2019). Segundo dados do Instituto Brasileiro do PVC (IBPVC, 2024), a construção civil foi responsável por 62% da demanda doméstica do polímero, somada a outros 10%

destinados à infraestrutura. Tal cenário evidencia que a maior parte das quantidades produzidas no país foi absorvida por obras e reformas, confirmando a expansão no setor. Consequentemente, projeta-se um aumento na geração de resíduos de PVC nos próximos anos, o que reforça a necessidade de alternativas sustentáveis para a destinação do resíduo produzido.

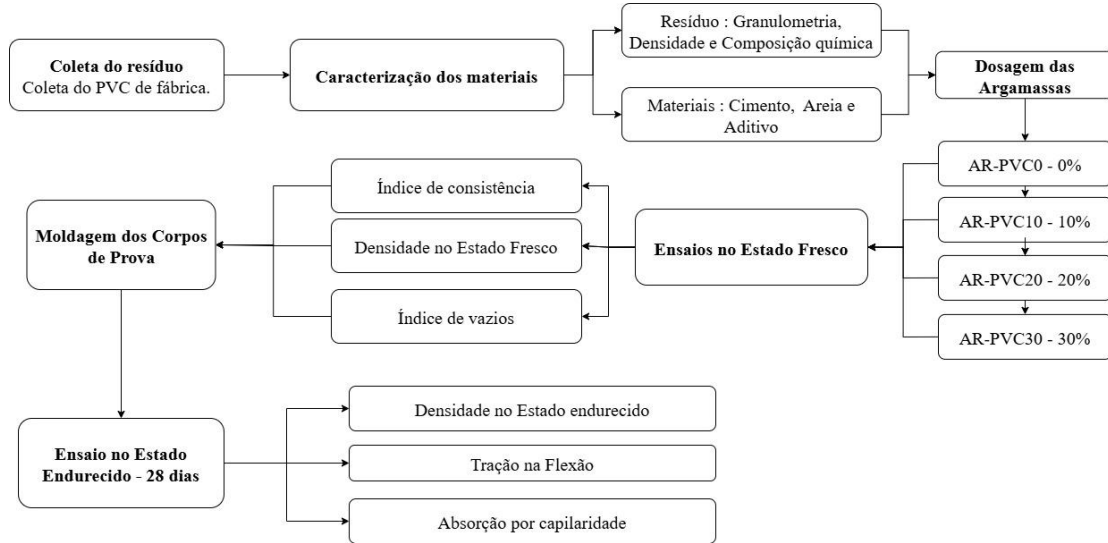
Estudos de Senhadji *et. al.* (2019) e Latroch *et. al.* (2018) demonstram que a substituição da areia por agregados de PVC pode reduzir o peso específico do material e melhorar significativamente o isolamento térmico. Entretanto, autores como Merlo *et. al.* (2020) e Kunthawatwong *et. al.* (2023) demonstram que a baixa aderência entre o polímero e a matriz pode elevar a porosidade e reduzir a resistência à compressão e flexão, mesmo em baixas dosagens. Dessa forma, a aplicação desses materiais é recomendada prioritariamente para fins não estruturais, onde a leveza e a conservação de recursos naturais prevalecem sobre a capacidade de carga elevada.

Diante dos impactos ambientais da construção civil, este trabalho visa avaliar o uso de argamassas com resíduo de PVC, provenientes do corte da fabricação de esquadrias, em diferentes teores, como forma de adoção de práticas sustentáveis. Nesse sentido, o reaproveitamento de resíduos de PVC contribui para a redução do consumo de recursos naturais e da geração de resíduos, atendendo aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, mais especificamente ODS 9, 11 e 12, e configura-se como uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente responsável para a produção de argamassas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos desenvolvidos nesta pesquisa tiveram como finalidade verificar a viabilidade técnica da produção de argamassas de revestimento com incorporação de resíduo de PVC, de acordo com o programa experimental apresentado no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Procedimento experimental da pesquisa.



Fonte: Autores (2026).

2.1. MATERIAIS

A fim de avaliar o efeito do resíduo PVC na dosagem de argamassas de revestimento, foram produzidos quatro tipos de argamassas, utilizando-se como materiais aglomerante hidráulico, agregado miúdo natural, resíduo de PVC, aditivo plastificante e água de amassamento.

Adotou-se como aglomerante hidráulico o Cimento Portland CP II-F 32 (Cimento Portland composto com filer), cujos requisitos foram analisados a partir de dados fornecidos pelos fabricantes, e percebe-se que estão em consonância com as diretrizes estabelecidas na NBR 16697 (ABNT, 2018).

Tabela 1 – Características físicas do cimento CP II - F 32

Massa específica (g/cm ³)	Finura Peneira 75 µm	Tempo de pega (min)		Expansibilidade a quente (mm)	Resistência à compressão (MPa)		
		Início	Fim		3 dias	7 dias	28 dias
3,08	≤ 12	≥ 60	≤ 600	≤ 5	≥ 10	≥ 20	≥ 32

Fonte: Martins (2020) e CSN (2024).

O agregado miúdo utilizado consistiu em uma areia quartzosa, comercializada na região metropolitana de Belém/PA. A caracterização do material foi realizada por meio dos ensaios de massa específica, conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017), massa unitária, de acordo com a NBR 16972 (ABNT, 2021), e granulometria, segundo a NBR 17054 (ABNT, 2022).

O resíduo empregado nesta pesquisa consiste em PVC, proveniente dos processos de corte e fabricação de esquadrias em uma empresa da Região Metropolitana de Belém/PA. A

caracterização física do material foi realizada por meio dos ensaios de massa específica, em conformidade com a NBR 6458 (ABNT, 2025), massa unitária, de acordo com a NBR 16972 (ABNT, 2021) e análise granulométrica, segundo a NBR 17054 (ABNT, 2022), visando avaliar sua distribuição de partículas para uso como agregado miúdo alternativo.

A caracterização dos materiais utilizados na produção das argamassas foi realizada por meio de ensaios laboratoriais fundamentados nas normas técnicas vigentes. A Tabela 2 apresenta as referências normativas adotadas.

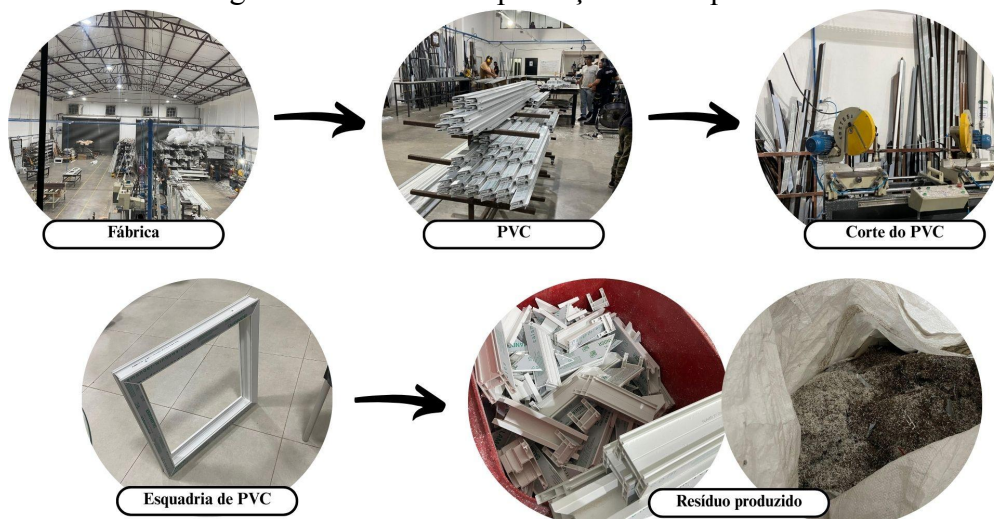
Tabela 2 – Normas técnicas e propriedades físicas dos materiais

Material	Propriedades	Método de ensaio
Areia natural	Granulometria da areia	NBR 17054 (ABNT, 2022)
	Massa unitária da areia	NBR 16972 (ABNT, 2021)
	Massa específica da areia	NBR 16605 (ABNT, 2017)
Resíduo de PVC	Massa específica do PVC	NBR 6458 (ABNT, 2025)
	Massa unitária do PVC	NBR 16972 (ABNT, 2021)
	Granulometria do PVC	NBR 17054 (ABNT, 2022)

Fonte: Autores (2026).

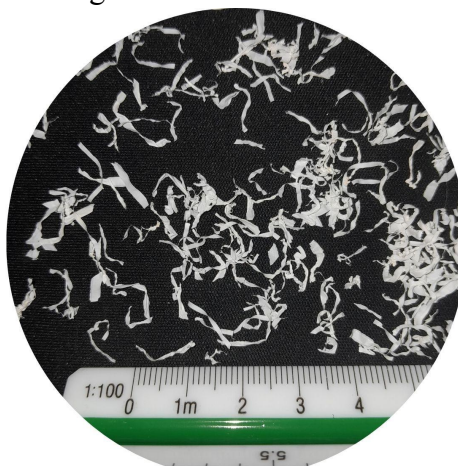
A coleta do resíduo foi realizada em uma empresa pioneira na fabricação de esquadrias em PVC na Região Metropolitana de Belém/PA. Durante os processos de corte e montagem das peças, são gerados dois tipos de resíduos, sobras maiores provenientes das extremidades dos perfis, e partículas menores, resultantes do acabamento. Para este estudo foi utilizado o resíduo de menor granulometria (Figura 3), por apresentar maior compatibilidade com a areia. Após a coleta, o material foi encaminhado ao Laboratório de Engenharia Civil da UFPA, Campus Belém, onde foram conduzidos os ensaios de caracterização e posterior incorporação nas matrizes de argamassa.

Figura 2 - Processo da produção das esquadrias



Fonte: Autores (2026).

Figura 3 - Resíduo de PVC



Fonte: Autores (2026).

O aditivo utilizado foi um plastificante, empregado como alternativa à utilização da cal em argamassas de revestimento, apresentando uma composição feita a base de resinas naturais modificadas. De acordo com as informações técnicas do fabricante, sua incorporação tem como finalidade promover melhorias na trabalhabilidade, homogeneidade e plasticidade das argamassas, contribuindo para um melhor desempenho no estado fresco. As características físico-químicas do material são apresentadas na Tabela 3, elaborada com base nos dados disponibilizados pelo fabricante.

Tabela 3 – Características do aditivo plastificante

Características Técnicas	
Aspecto físico	Líquido
Cor	Escuro
pH	10,5
Densidade	1,10g/cm ³
Solubilidade	Totalmente solúvel em água

Fonte: www.keveks.com.br

A água de amassamento empregada no processo experimental foi obtida diretamente da rede de distribuição que atende ao Laboratório de Engenharia Civil da UFPA (LEC-UFPA), apresentando-se isenta de impurezas visíveis, atendendo aos requisitos para a produção de argamassas.

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Produção das argamassas

Inicialmente, foi definido um traço de referência, composto por Cimento Portland, agregado miúdo natural, aditivo plastificante e água de amassamento, adotando-se a proporção 1:3, em

volume. A partir dessa composição, foram produzidas argamassas modificadas por meio da substituição parcial do agregado miúdo natural pelo resíduo de PVC, nos teores de 10%, 20% e 30%, totalizando quatro traços distintos, nomeados nesta pesquisa como AR-PVC0, AR-PVC10, AR-PVC20 e AR-PVC30. É importante destacar que essa substituição ocorreu em base volumétrica, devido a expressiva diferença entre as massas específicas da areia natural e do resíduo de PVC, conforme evidenciado nos ensaios de caracterização. Assim, foram moldados 5 corpos de prova prismáticos para cada traço, os consumos estão detalhados na Tabela 4.

Tabela 4 – Relação dos consumos para os diferentes traços de argamassa

Traço	Consumo				
	Cimento	Areia	Água	Aditivo	Resíduo
AR-PVC0	1,016 kg	3,048 kg	508 ml	25ml	-
AR-PVC10	1,016 kg	2,743 kg	599,440 ml	40,640 ml	0,058 kg
AR-PVC20	1,016 kg	2,438 kg	650,240 ml	40,640 ml	0,117 kg
AR-PVC30	1,016 kg	2,134 kg	690,880 ml	40,640 ml	0,176 kg

Fonte: Autores (2026).

Posteriormente, procedeu-se à avaliação do comportamento das argamassas no estado fresco, por meio dos ensaios de índice de consistência e densidade de massa. No estado endurecido, foram realizados ensaios de densidade de massa, absorção de água por capilaridade e resistência à tração na flexão.

Figura 4 - Mistura dos materiais e moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autores (2026).

2.2.2. Avaliação das propriedades no estado fresco

O índice de consistência das argamassas foi determinado conforme as exigências da NBR 13276 (ABNT, 2016), por meio do ensaio de espalhamento em mesa de consistência. Para as

argamassas com incorporação de resíduo, houve a necessidade de alterar a relação água/cimento para atendimento ao índice de consistência de 260 ± 5 mm especificado pela norma. Os valores da relação água/cimento adotados para cada traço estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Relação água/cimento para os diferentes traços de argamassa

Traço	Relação a/c
AR-PVC0	0,50
AR-PVC10	0,59
AR-PVC20	0,64
AR-PVC30	0,68

Fonte: Autores (2026).

Para o ensaio de densidade de massa no estado fresco e determinação do teor de ar incorporado, utilizou-se a NBR 13278 (ABNT, 2005), e possibilitou avaliar a influência do material polimérico na massa específica aparente das argamassas.

2.2.3. Avaliação das propriedades no estado endurecido

A avaliação das propriedades no estado endurecido consistiu na determinação da densidade de massa aparente e da absorção de água por capilaridade, conforme as normas NBR 13280 (ABNT, 2005) e NBR 15259 (ABNT, 2005), respectivamente. Enquanto a densidade permite quantificar a compacidade da matriz através da relação entre massa seca e volume total, o ensaio de capilaridade avalia a conectividade dos poros e a capacidade de transporte de fluidos. Esses fatores impactam diretamente a durabilidade do material e revelam como a presença do resíduo de PVC influencia nos traços experimentais.

A determinação da resistência à tração na flexão foi realizada segundo as diretrizes da NBR 13279 (ABNT, 2005), utilizando corpos de prova prismáticos com dimensões de 40 mm x 40 mm x 160 mm. Estas amostras foram moldadas em recipientes metálicos e devidamente adensadas em mesa de queda para assegurar a homogeneidade do material. O ensaio consistiu na aplicação progressiva de carga em um dispositivo de flexão até a ruptura, permitindo mensurar a capacidade da argamassa de suportar tensões mecânicas sem a formação de fissuras. No contexto desta pesquisa, tal análise é fundamental para avaliar como a incorporação do resíduo de PVC altera a resistência do traço, uma vez que grandes reduções do agregado natural podem apresentar uma interface fragilizada entre o resíduo de PVC e a matriz de cimento.

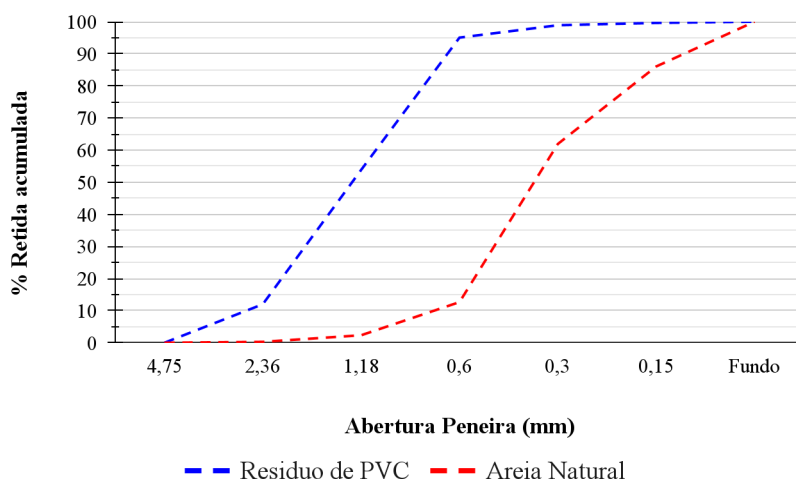
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A caracterização dos materiais empregados foi realizada conforme as normas técnicas mencionadas anteriormente na Tabela 2, por meio dos ensaios de massa específica, massa unitária e análise granulométrica, permitindo uma avaliação mais abrangente das propriedades físicas dos materiais. Os valores obtidos para a areia foram de $c \text{ g/cm}^3$ para a massa específica e $1,61 \text{ g/cm}^3$ para a massa unitária. Assim, o resíduo de PVC pode ser classificado como agregado leve, pois sua massa específica é de $1,22 \text{ g/cm}^3$ e massa unitária $0,31 \text{ g/cm}^3$.

A análise granulométrica do resíduo confirmou faixa compatível com agregado miúdo, o que ajuda a justificar o uso do PVC como substituto parcial da areia nas argamassas estudadas. A maior parte das partículas encontra-se na faixa entre 0,6 mm e 1,18 mm, com diâmetro máximo característico de 2,36 mm. O agregado miúdo natural também apresentou diâmetro máximo característico de 2,36, porém com a maior parte das partículas ficando na faixa entre 0,15mm e 0,30mm.

Figura 5 - Comparação granulométrica entre resíduo PVC e areia



Fonte: Autores (2026).

3.2. EFEITO DO RESÍDUO NAS PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

Na Tabela 6 são apresentados os resultados das argamassas com e sem resíduo no estado fresco.

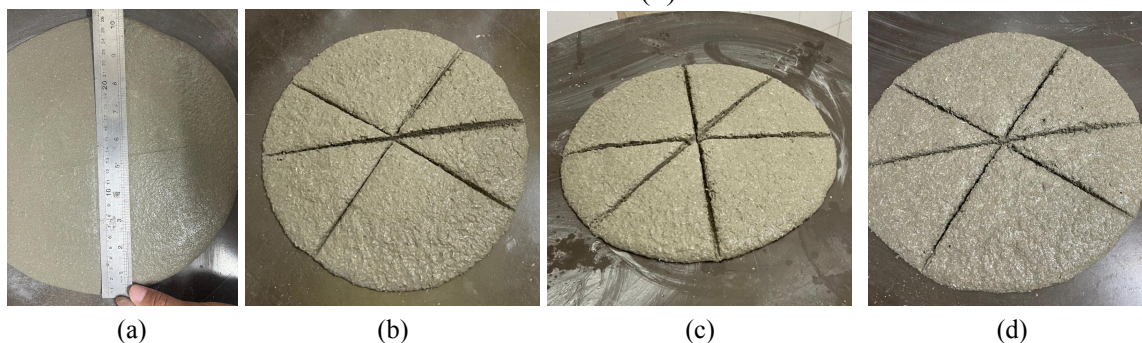
Tabela 6 - Propriedades no estado fresco

Traço	Relação a/c	Consumo de água	Índice de consistência	Densidade de massa	Teor de ar incorporado
AR-PVC0	0,50	508 ml	263 mm	2,11 g/cm ³	6,6%
AR-PVC10	0,59	599,44 ml	260 mm	1,84 g/cm ³	13,5%
AR-PVC20	0,64	650,24 ml	260 mm	1,61 g/cm ³	22,3%
AR-PVC30	0,68	690,88 ml	260 mm	1,46 g/cm ³	30,5%

Fonte: Autores (2026).

Todos os traços atenderam ao intervalo de 260 ± 5 mm estabelecido pela norma. Contudo, esse comportamento não indica ausência de influência do resíduo de PVC sobre a trabalhabilidade das argamassas, pois, como mencionado anteriormente, foi necessário alteração progressiva no teor água/cimento dos traços com incorporação de resíduo para atingir consistência equivalente ao traço de referência. Isso sugere que a natureza hidrofóbica das partículas de PVC influenciam diretamente a demanda de água da mistura. Esse fenômeno corrobora as conclusões de Chen *et. al.* (2025), que ressalta a influência direta da natureza hidrofóbica das partículas de PVC na demanda de água. Entretanto, o autor ressalta que uma consistência excessiva pode afetar negativamente o desempenho normal da argamassa.

Figura 6 - Aspecto visual das argamassas AR-PVC0 (a), AR-PVC10 (b), AR-PVC20 (c) e AR-PVC30 (d)



Fonte: Autores (2026).

A plasticidade e a coesão das argamassas reduziram com o aumento do teor de resíduo, o que foi corrigido por meio do ajuste da relação água/cimento, não sendo observados indícios significativos de segregação ou exsudação. Esse comportamento demonstra que a incorporação do resíduo de PVC, associada a uma dosagem adequada, permite a manutenção da homogeneidade e da plasticidade necessárias para argamassas de revestimento. Os valores de teor de ar incorporado apresentaram crescimento significativo com o aumento do resíduo de PVC, atingindo 30,5% no traço AR-PVC30.

Quanto aos resultados obtidos para a densidade de massa, a incorporação do resíduo de PVC exerceu influência significativa, promovendo uma redução progressiva à medida que se

aumentou o teor de polímero. O traço de referência, com $2,11 \text{ g/cm}^3$, reduziu para $1,46 \text{ g/cm}^3$ no traço AR-PVC30, como representado na Tabela 5, apresentando uma redução de massa específica de aproximadamente 30%. Esse comportamento era esperado, em função da menor massa específica do resíduo em comparação ao agregado miúdo natural. Além disso, as características físicas do resíduo, como geometria e leveza, associadas ao aumento da relação água/cimento, podem ter contribuído para a redução. Como foi analisado nos casos de Senhadji *et. al.* (2019) e Latroch *et. al.* (2018), em que ao substituir a areia por agregados poliméricos de PVC, houve a diminuição da densidade das argamassas, validando o uso desse resíduo como alternativa para a produção de materiais de menor densidade, capazes de reduzir o peso próprio das edificações, sem comprometer a plasticidade e a consistência no estado fresco.

3.3. EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO NAS PROPRIEDADES DO ESTADO ENDURECIDO

Os resultados das argamassas com e sem resíduo no estado endurecido encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Propriedades no estado endurecido

Traço	Coefficiente de capilaridade ($\text{g/dm}^2.\text{min}^{1/2}$)	Densidade de massa (g/cm^3)
AR-PVC0	0,10	1,96
AR-PVC10	0,11	1,51
AR-PVC20	0,15	1,44
AR-PVC30	0,09	1,35

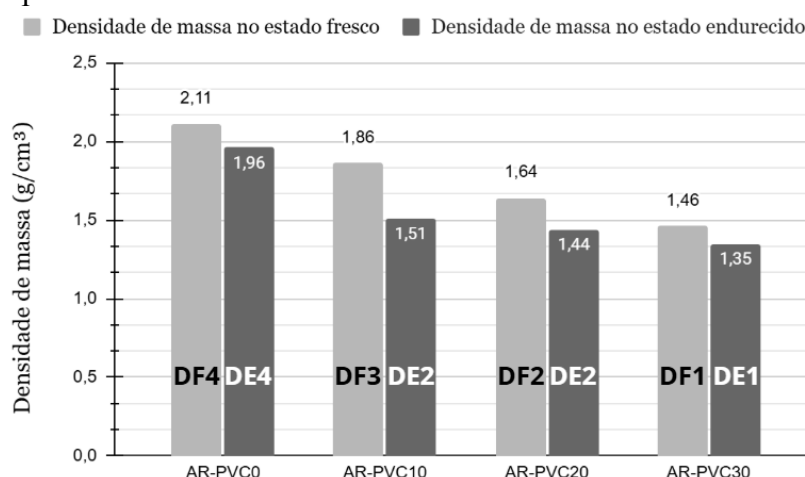
Fonte: Autores (2026).

Para o teor de 10% de substituição, os valores do coeficiente de capilaridade permaneceram próximos aos obtidos para o traço de referência, indicando que baixos níveis de substituição não alteraram significativamente a absorção por capilaridade. No teor de 20%, observou-se aumento expressivo da absorção capilar, comportamento associado ao acréscimo da relação água/cimento e ao aumento da porosidade efetiva da matriz. Já para o teor de 30%, observou-se redução do coeficiente em relação ao traço de referência, resultado que pode estar relacionado à natureza hidrofóbica do PVC que, em concentrações elevadas, pode ser capaz de interferir na continuidade da rede de poros capilares e dificultar o transporte de água para o interior da argamassa.

Os resultados obtidos alinham-se às observações de Aciu *et. al.* (2018), indicando que o coeficiente de absorção por capilaridade aumenta até um limite crítico de substituição, declinando após esse ponto. No presente estudo, esse comportamento foi evidenciado na dosagem de 20%, que marcou o pico de absorção. Em contrapartida, o teor de substituição de 30% apresenta um valor de absorção inferior aos da argamassa de referência. Essa redução corrobora o trabalho de Kurz, Paliga e Torres (2018) sobre o efeito de resíduos hidrofóbicos, sugerindo que o caráter repelente do PVC favorece a durabilidade do revestimento, embora comprometa a resistência de aderência à base.

Os resultados de densidade de massa no estado endurecido, como no estado fresco, evidenciam uma redução progressiva com o aumento do teor de substituição do agregado miúdo natural pelo resíduo de PVC, demonstrado no Figura 7. O traço de referência apresentou densidade de 1,96 g/cm³, enquanto o traço AR-PVC30 apresentou 1,35 g/cm³, correspondendo a uma redução de aproximadamente 31%. Esse comportamento era esperado e está diretamente relacionado à menor massa específica do resíduo de PVC em comparação ao agregado natural, além do aumento da relação água/cimento adotado para ajuste do índice de consistência, que tende a favorecer maior formação de vazios após o endurecimento. Os valores de densidade dos traços com resíduo, permite classificar esses compósitos como argamassas leves, característica desejável para componentes de vedação e revestimentos, nas quais a redução do peso próprio pode apresentar vantagens construtivas.

Figura 7 - Comparativo entre a densidade de massa no estado fresco e no estado endurecido



Fonte: Autores (2026).

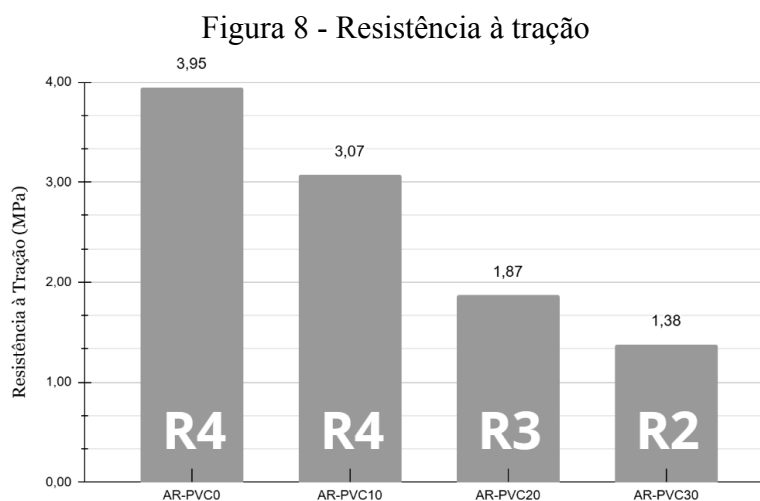
Os resultados indicam uma correlação inversamente proporcional entre o teor de substituição do agregado natural por PVC e a densidade de massa da argamassa, tanto no estado fresco (EF) quanto no estado endurecido (EE). Nota-se que a incorporação desse resíduo promoveu

alterações significativas na classificação do material, conforme os parâmetros da norma NBR 13281-1 (ABNT, 2023). Conforme observado (Figura 7), a densidade no estado fresco (DF) declinou de 2,11 g/cm³ (AR-PVC0) para 1,46 g/cm³ na argamassa com 30% de PVC (AR-PVC30), o que representa uma redução de aproximadamente 31%.

Esse comportamento fundamenta-se na menor massa específica das partículas de PVC em comparação à areia. Somado a necessidade de uma maior relação água/cimento para a manutenção da consistência desejada contribuiu para a formação de uma matriz mais porosa. No estado endurecido, essa porosidade é acentuada pela evaporação da água excedente, resultando em vazios que reduzem a massa final. Tal fenômeno é evidenciado pelos valores da densidade no estado endurecido (DE), DE1 a DE4, que se mantiveram consistentemente abaixo das densidades registradas no estado fresco.

3.4. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração (Figura 8) revelam uma redução progressiva e acentuada do desempenho mecânico da argamassa à medida que o teor de substituição por resíduo de PVC aumenta.



Fonte: Autores (2026).

Impactando diretamente a classificação do material na NBR 13281-1:2023. Enquanto o traço de referência e o AR-PVC10 mantiveram-se na classe R4 ($R_f > 3,0$ MPa), as substituições de 20% e 30% reduziram a resistência para 1,87 MPa (classe R3) e 1,38 MPa (classe R2), respectivamente. Esse comportamento é tecnicamente fundamentado pela natureza hidrofóbica e pela morfologia superficial lisa do polímero que, conforme explicam Almeshal

et al. (2020) e Mohammed *et al.* (2021), prejudicam a hidratação na zona de transição interfacial e limitam o travamento mecânico entre o agregado e a pasta de cimento, resultando em uma matriz menos coesa e com maior teor de vazios.

Apesar da redução de resistência, a transição entre as classes permite direcionar o uso dessas argamassas para aplicações estratégicas baseadas na ecoeficiência. O traço AR-PVC10 (R4) permanece apto para revestimentos externos e fachadas que exigem maior desempenho, enquanto os traços AR-PVC20 (R3) e AR-PVC30 (R2), por possuírem densidade reduzida, são ideais para revestimentos internos, camadas de regularização de pisos em pavimentos superiores para alívio de carga estrutural ou elementos decorativos pré-moldados. Assim, a viabilidade técnica do resíduo de PVC é garantida desde que sua aplicação seja compatibilizada com os esforços solicitados, priorizando a redução de peso próprio em elementos de menor responsabilidade estrutural.

4. CONCLUSÃO

A presente pesquisa demonstra que a incorporação de resíduos de PVC rígido como substituição parcial do agregado miúdo em argamassas de revestimento é uma alternativa tecnicamente viável, especialmente para aplicações não estruturais que priorizam a redução do peso próprio e sustentabilidade. Os resultados evidenciaram alterações significativas nas propriedades no estado fresco e endurecido. Observou-se aumento progressivo da relação água/cimento e do teor de ar incorporado, devido a natureza hidrofóbica e baixa densidade do polímero. Como consequência, verificou-se redução expressiva da densidade de massa nas argamassas com resíduo, permitindo sua classificação como argamassas de baixa densidade, o que representa uma vantagem construtiva relevante para componentes de vedação.

Embora o aumento da porosidade possa favorecer a absorção, observou-se uma redução no coeficiente de capilaridade em teores mais elevados de substituição, indicando que a descontinuidade da rede capilar, promovida pelas partículas de PVC, dificultam o transporte de água, comportamento que sugere benefícios frente à umidade. Entretanto, a queda na resistência à tração na flexão, 3,85 MPa para 1,38 MPa, demonstra que essas argamassas não devem ser usadas para atividades estruturais. Portanto, a utilização do resíduo de PVC rígido em matrizes cimentícias configura-se como uma estratégia ecoeficiente alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, transformando um material sem destinação em

um insumo de valor agregado para a construção civil. A incorporação do resíduo de PVC, proveniente do corte de esquadria, não apenas é uma forma de promover a sustentabilidade de um material de difícil degradação ambiental, mas atua como um agente modificador de classe física, permitindo a produção de argamassas leves que atendem aos requisitos normativos vigentes, impulsionadas pela combinação de baixa massa específica do polímero e aumento da porosidade da matriz.

REFERÊNCIAS

ACIU, C; VARVARA, D.A.I; MANEA, D.L; ORBAN, Y.A; BABOTA, F. (2018) Recycling of plastic waste materials in the composition of ecological mortars. **Procedia Manufacturing**, 22, 274–279. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918303366>. Acesso em: 12 fev. 2026.

ALMESHAL, I.; TAYEH, B. A.; ALYOUSEF, R.; ALABDULJABBAR, H.; MOHAMED, A. M. Eco-friendly concrete containing recycled plastic as partial replacement for sand. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 3, p. 4631-4643, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785420302817>. Acesso em: 12 fev. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. 3 ed. Rio de Janeiro, 2016.

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 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13281-1**: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 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: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17054**: Agregados - Determinação da composição granulométrica – Método do ensaio. 1 ed. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17054**: Agregados - Determinação da granulometria. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6458**: Agregados - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2025.

CHEN, J.; PAN, Z.; ZHAN, Q.; FU, C.; WU, J. W.; JIANG, S.; WANG, C. F.; DAI, G.. Effect of Surface Precoated Cementitious Materials on the Properties and Microstructure of PVC Mortars. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 37, n. 7, 04025205, jul. 2025. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JMCEE7.MTENG-17989>. Acesso em: 04 fev. 2026.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL. **Cimentos**. São Paulo: CSN, 2024. Disponível em: <https://www.csn.com.br/homepage/cimentos/>. Acesso em: 27 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC. Análise do desempenho do mercado e acompanhamento de indicadores setoriais da cadeia produtiva de PVC, **FEICON**, 2025. Disponível em: <https://pvc.org.br/2025/04/feicon-2025-instituto-brasileiro-do-pvc-evidencia-aimportancia-do-pvc-na-industria-da-construcao-civil-no-brasil/>. Acesso em: 15 out. 2025.

KUNTHAWATWONG, R; WONGSA, A; EKPRASERT, J; SUKONTASUKKUL, P; SATA, V; CHINDAPRASIRT, P.. Performance of Geopolymer Mortar Containing PVC Plastic Waste from Bottle Labels at Normal and Elevated Temperatures. **Buildings**, v. 13, n. 4, p. 1031, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings13041031>. Acesso em: 29 jan. 2026.

LATROCH, N.; BENOSMAN, A. S.; BOUHAMOU, N. E; SENHADJI, Y.; MOULI, M.. Physico-mechanical and thermal properties of composite mortars containing lightweight aggregates of expanded polyvinyl chloride. **Construction and Building Materials**, v. 175, p. 77-87, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.173>. Acesso em: 29 jan. 2026.

LEWANDOWSKI, K; KATARZYNA, S. 2022. A Brief Review of Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Recycling. **Polymers** 14, no. 15: 3035. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/15/3035>. Acessado em: 20 ago. 2025.

LIMA NETA, M. H. C.. **Estudo do aproveitamento de resíduo polimérico em substituição parcial do agregado miúdo em argamassa**. 2020. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/8472>. Acesso em: 19 set. 2025.

MARTINS, W. S.. **Cimento Portland com substituição parcial de cinzas do resíduo da estação de tratamento de água**. 2020. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

MATHEUS, R.; GEORGES, M. R. R.; FERREIRA, D. H. L.; DE BENEDICTO, S. C.. IMPACTO DAS EMBALAGENS PLÁSTICAS E DOS BIOPLÁSTICOS NA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS. **ARACÊ**, v. 7, n. 4, p. 18226 - 18237, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/4425>. Acesso em: 27 fev. 2026.

MERLO, A; LAVAGNA, L; SUAREZ-RIERA, D.; PAVESE, M.. Mechanical properties of mortar containing waste plastic (PVC) as aggregate partial replacement. **Case Studies in Construction Materials**, v. 13, e00467, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221450952030139X>. Acesso em: 29 jan. 2026.

MOHAMMED, N. S.; HAMZA B. A.; AL-SHAREEF N. H.; HUSSEIN H. H.. 2021. Structural Behavior of Reinforced Concrete Slabs Containing Fine Waste Aggregates of Polyvinyl Chloride, **Buildings**, 11, no. 1: 26. Disponível: <https://www.mdpi.com/2075-5309/11/1/26>. Acesso: 04 fev. 2026.

NAVARINI KURZ, M; MARCELO PALIGA, C.; DA SILVA TORRES, A. Estudo do teor de substituição de agregado miúdo por resíduo de borracha em argamassa de cimento e cal [Study of the replacement content of small aggregate by rubber residue in cement and lime mortar]. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 14, n. 2, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/47555>. Acesso em: 15 fev. 2026.

ONU MEIO AMBIENTE; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME; GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION. Not just another brick in the wall: The solutions exist - Scaling them will build on progress and cut emissions fast. Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025. **UNEP**, 2025. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/47214>. Acesso em: 18 ago. 2025.

RIBEIRO, D. M. G.. **Incorporação de resíduos plásticos em argamassas**. 2019. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2019.

RODOLFO JR, A.; MEI, L. H.. Mecanismos de degradação e estabilização térmica do PVC: uma revisão. **Polímeros**, v. 17, n. 3, p. 263-275, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282007000300018>. Acesso em: 18 ago. 2025.

SENHADJI, Y; SIAD, H.; ESCADEILLAS, G.; BENOSMAN, A. S.; CHIHAOUI, R.; MOULI, R.; LACHEMI, M.. Physical, mechanical and thermal properties of lightweight composite mortars containing recycled polyvinyl chloride. **Construction and Building Materials**, v. 195, p. 198-207, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818327351>. Acesso em: 29 jan. 2026.