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

REABILITAÇÃO DE FACHADAS POR INJEÇÃO DE RESINAS EPÓXI: RECOMENDAÇÕES PARA ENSAIOS DE DESEMPENHO – ESTUDO DE CASO

Rehabilitation of Facades by Epoxy Resin Injection: Recommendations for Performance Tests - Case Study

RENATO F. SAHADE[1], EDGAR DAMMANN[2]
[1] Doutorando, Universidade Presbiteriana Mackenzie/UPM, sahaderenato@gmail.com
[2] Doutorando, Universidade Presbiteriana Mackenzie/UPM, ed_dj@hotmail.com

RESUMO
Este trabalho avaliou a viabilidade da técnica de injeção de resina epóxi para reabilitação de fachadas com descolamento de revestimentos, alternativa que visa restabelecer a aderência entre o revestimento e o substrato sem necessidade de demolição. Foram caracterizadas duas resinas comerciais por meio de ensaios mecânicos, térmicos e de aderência, cujos resultados indicaram elevada variabilidade de desempenho. Conclui-se que, embora promissora, a técnica não deve ser considerada uma solução universal, devendo sua aplicação ser analisada caso a caso. Destaca-se a necessidade de aprofundamento em pesquisas que embasem normativas específicas e métodos de avaliação mais abrangentes.

Palavras-chave: Descolamento. Revestimentos de fachada. Injeção de epóxi. Caracterização mecânica. Caracterização térmica. Resistência de aderência.

ABSTRACT
The detachment of façade coatings compromises safety and performance, while conventional rehabilitation methods involve high costs and uncertain effectiveness. Epoxy resin injection aims to restore adhesion between coating and substrate without removal, by filling voids. This study characterized two commercial epoxy resins and found that the technique cannot be regarded as a universal or fully reliable solution. Mechanical, thermal, and adhesion tests revealed significant variability in performance between samples. It is concluded that the application must be evaluated on a case-by-case basis, and further testing and research are required to validate resin performance and the viability of this technique.

Key-words: Detachment. Facade coverings. Epoxy injection. Mechanical characterization. Thermal characterization. Bond strength.

Como citar:
SAHADE, R. F.; DAMMANN, E. Reabilitação de fachadas por injeção de resinas epóxi: recomendações para ensaios de desempenho – Estudo de caso. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

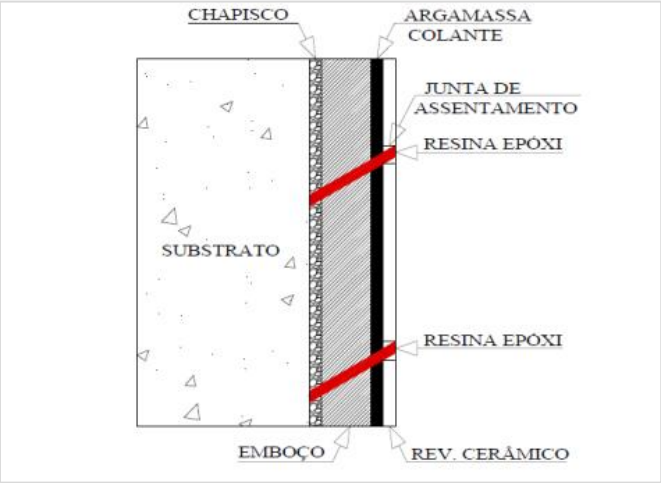
A deterioração de revestimentos de fachada trazem grandes prejuízos financeiros, estéticos e de habitabilidade, exigindo soluções eficazes para restaurar sua funcionalidade [1][2]. O surgimento de som cavo sob percussão indica a perda da aderência do revestimento entre as suas camadas constituintes ou ao substrato. Entre as técnicas mais empregadas, destacam-se tradicionalmente a demolição e a recomposição dos revestimentos. Para edifícios históricos, tradicionalmente utilizam-se da colagem dos revestimentos com resinas à base de epóxi [3] e a injeção por meio de suspensões cimentícias, argamassas poliméricas, resinas à base de poliuretano ou pastas à base de cal [4][5], que permitem o preenchimento de cavidades, a reconstituição da aderência e a vedação de infiltrações.

O uso de adesivos de base epóxi para a união entre concreto plástico e endurecido, remonta ao início dos anos 1954, pelo Departamento de Materiais e Pesquisa da Divisão de Rodovias da Califórnia [6]. Atualmente, observa-se que o mercado de manutenção e recuperação de revestimentos de fachada tem se valido do uso da técnica de injeção de resinas de base epóxi, tradicionalmente utilizada para a recuperação e o reforço de estruturas de concreto [7][8], sem se valer de estudos direcionados e apropriados para este tipo de subsistema. Uma pesquisa aprofundada na literatura científica não encontrou estudos específicos que abordem o uso dessa técnica para a reabilitação de revestimentos de fachada. Na maioria das vezes, os estudos se concentram na avaliação da aderência inicial da resina, ignorando aspectos como compatibilidade estrutural, durabilidade e sustentabilidade [1][2][9].

As resinas epóxi oferecem alta resistência mecânica, química e adesão superior a vários tipos de substratos. Quando adicionadas às argamassas cimentícias como polímeros modificadores, acrescentam características importantes como menor porosidade, menor permeabilidade à água e retração [10]. O módulo de elasticidade é importante neste caso, uma vez que resinas com módulos altos podem limitar seu uso em fachadas sujeitas a movimentações higrotérmicas e estruturais. Estudos recentes têm demonstrado que o módulo das resinas de base epóxi, dependendo da formulação, são inferiores aos valores encontrados nos revestimentos argamassados ou cerâmicos (entre 2,8 e 3,2 GPa), ideais para o tipo de aplicação proposto [11][12].

A técnica utilizada consiste primeiramente na determinação da área com som cavo sob percussão. Na sequência são realizados vários furos a 45° de forma que se possa atingir ou o substrato do emboço ou entre este e o revestimento cerâmico. Após a limpeza dos furos, a resina é aplicada ou por meio de equipamentos pressurizados (bomba) ou por meio de aplicadores manuais (Figura 1). O processo é controlado por meio de impactos leves, não contundentes, com martelo de material rijo. As resinas normalmente são bicomponentes, formadas por uma parte de resina e outra parte pelo catalizador ou agente de cura, importante para o controle do tempo de pega do material durante a aplicação. A avaliação da garantia do total preenchimento dos espaços vazios é realizada de forma empírica, assim que o som cavo sob percussão após a injeção seja totalmente eliminado [1][2]. A resina, portanto, deve apresentar viscosidade adequada para que o produto percole entre o emboço e/ou revestimentos cerâmicos, preenchendo os espaços vazios, sem a necessidade de remoção dos mesmos.

Figura 1 – Detalhe da furação para injeção de resina epóxi.



Fonte: Correa *et al*. (2021) [1].

Suas características físico-químicas, por outro lado, deverão apresentar compatibilidade com o ambiente em que estará inserido.

As resinas epoxídicas apresentam certa sensibilidade à umidade, principalmente durante o processo de cura e ao longo do tempo de exposição em ambientes úmidos. A presença de grupos hidroxila na estrutura epoxídica facilita a absorção de água, tornando algumas formulações mais suscetíveis, portanto a importância dos ensaios de absorção [13].

Quanto às questões relacionadas ao impacto ambiental, em especial, pesquisas demonstram que durante sua fabricação e degradação térmica, as resinas epóxi podem liberar compostos tóxicos, substâncias bioacumulativas e potencialmente cancerígenas [14]. Além disso, sua decomposição em processos de descarte inadequado pode gerar subprodutos nocivos, exigindo tratamentos específicos para mitigar seus impactos no meio ambiente [15].

Estudos ainda apontam que os principais problemas envolvendo as resinas epoxídicas e as matrizes cimentícias ao longo do tempo estão relacionados com o descolamento na interface, destacando a necessidade de uma exploração mais profunda dos mecanismos físico-químicos de adesão [16].

Por se tratar de um sistema inovador, portanto não há normas que norteiem este tipo de material e nem o procedimento de aplicação, este artigo apresenta um estudo de caso onde foram propostos ensaios tecnológicos utilizados na caracterização de duas resinas de base epóxi, analisando suas propriedades mecânicas e térmicas e o comportamento do produto dentro de um sistema envolvendo a aderência mecânica entre as resinas e as superfícies cimentícias e cerâmicas, situações próximas à realidade de exposição, por meio de ensaios acelerados em ambiente laboratorial.

Recomenda-se que futuros estudos ainda procurem abordar questões ligadas ao intertravamento mecânico e às características de interação química na interface epóxi – matriz cimentícia. Os mecanismos de adesão são atribuídos ao primeiro, que é influenciado por fatores como a viscosidade da resina epóxi, a rugosidade da superfície da matriz cimentícia

e suas características de porosidade [16][17]. Já as questões da interação química na interface, estudos relatam que, em condições secas e de baixa umidade, as forças intermoleculares na interface surgem principalmente de interações de van der Waals. Em contraste, em ambientes de maior umidade, as interações eletrostáticas se tornam mais significativas, levando ao aumento dos fenômenos de descolamento [18]. As moléculas de água enfraquecem a interação entre a resina epóxi e os géis de C-S-H ao interromper as ligações H- e Ca-O interfaciais. Essa interação reduz a barreira de energia interfacial e geram falhas de cisalhamento [19][20].

MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de verificar a aplicabilidade de usinas epóxi na resolução de som cavo, duas resinas comercialmente disponíveis para esse fim (Resina A e Resina B) foram caracterizadas de forma mecânica e térmica.

A caracterização mecânica, tendo como principal o ensaio de resistência à tração, mede a capacidade da resina de resistir a forças que tendem a alongá-la, indicando sua resistência mecânica, enquanto o ensaio de resistência de aderência à tração avalia a aderência da resina ao substrato do revestimento, fundamental para a garantir da eficácia da injeção [21].

O estudo das propriedades térmicas são fundamentais para avaliar as alterações de dimensão, estabilidade, degradação e comportamento mecânico sob diferentes condições térmicas. O ensaio do coeficiente de expansão térmica linear (CLTE), por exemplo, é fundamental para se medir o comportamento dos polímeros sob variações de temperatura. As fachadas estão sujeitas a variações térmicas elevadas e o conhecimento da variação dimensional do material em resposta ao aquecimento ou resfriamento, é fundamental para se evitar a formação de tensões internas que podem gerar a desestabilização do revestimento ou do local onde a resina foi injetada. O CLTE também influencia no comportamento em fadiga térmica e a adesão entre camadas em sistemas multicamadas argamassa – resina – cerâmica [22]. Já os ensaios de Análise Termogravimétrica (TGA) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) fornecem informações sobre a estabilidade térmica, a degradação e o comportamento da resina. A TGA avalia a degradação térmica da resina epoxídica ao se medir a perda de massa com o aumento da temperatura. É essencial para determinar a temperatura de decomposição e prever o comportamento do material em condições extremas. Já a DSC mede as transições térmicas, como a temperatura de transição vítrea (T_g), fusão e cristalização. A temperatura de transição vítrea define o limite térmico entre o estado rígido e o estado mais flexível da resina epoxídica. Materiais com alta T_g são mais resistentes ao calor, enquanto aqueles com T_g mais baixa, podem apresentar comportamento “emborrachado” em temperatura ambiente [23].

Os ensaios mecânicos realizados podem ser vistos na Tabela 1, enquanto os ensaios térmicos podem ser vistos na Tabela 2.

.Tabela 1 – Relação de ensaios mecânicos realizados.

Ensaio	Tração	Flexão	Compressão
Norma	ASTM D638-22	ASTM D6272-17	ASTM D695-23

Equipamento		Instron EMIC, modelo 23-30	
Resina A	X		
Resina B	X	X	X

Fonte: Os autores (2025).

Tabela 2 – Relação de ensaios térmicos realizados.

Ensaio	Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	Análise Termogravimétrica (TGA)	Coeficiente de Expansão Térmica Linear (CLTE)
Norma	ASTM D3418-21	ASTM E1131-20	ASTM E831-14
Equipamento	Shimadzu DSC-60	Shimadzu TGA-50	PerkinElmer DMA 8000
Resina A	X	X	X
Resina B	X	X	X

Fonte: Os autores (2025).

As amostras foram preparadas a partir dos dois componentes da resina, sendo misturados e aplicados em dois moldes, esperando o tempo de cura de 14 dias, como indicado pelo fabricante.

Os corpos de prova para os ensaios de tração e CLTE foram então estampados, enquanto as amostras para os ensaios de compressão e flexão foram usinadas. As amostras de DSC e TGA foram preparadas a partir da resina desmoldada após a cura.

Com o objetivo de se avaliar o desempenho do sistema formado pelo compósito epóxi - cerâmica – argamassa cimentícia, foram realizados ensaios de resistência de aderência à tração seguindo as diretrizes parciais das normas JIS A 5557, JIS 2006 e ABNT NBR 15258. Para a realização desses ensaios foram produzidos protótipos tendo como substrato blocos cerâmicos estruturais (furo vertical de 14 cm x 19 cm x 39 cm, Fbk 4 MPa e Classe EST40) e corpos de prova extraídos de placas de substrato padrão (ABNT NBR 14081-2) nas dimensões 5 cm x 5 x cm, colados (superfície rasada-rugosa) com as resinas sobre a superfície dos blocos. Os ensaios foram realizados em duas condições, sendo a primeira após quatorze (14) dias em cura padrão, temperatura de (23 + 2) ºC e umidade relativa de (50 + 5) % e a segunda após cura padrão de 14 dias e imerso em solução alcalina por mais 7 dias.

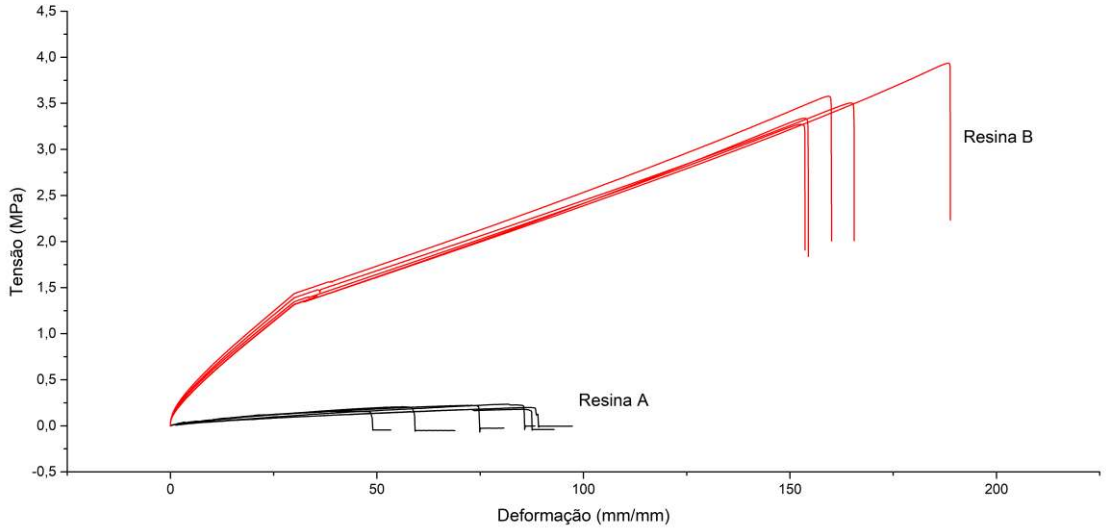
Os dados entre as duas resinas foram então comparados, tendo em vista a aplicação na construção civil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ENSAIOS MECÂNICOS

Os dados referentes aos ensaios de Tração podem ser vistos na Figura 2.

Figura 2 – Resultado dos ensaios de tração das resinas testadas.

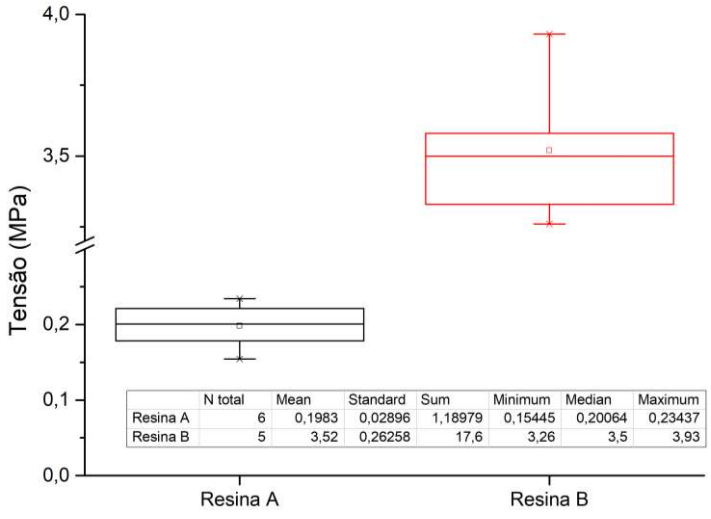


Fonte: Os autores (2025).

Como pode ser visto na Figura 2, existe uma grande variação nas propriedades mecânicas das resinas, como fica explicito pela comparação das resistências à tração máximas e módulos de elasticidade que podem ser vistos nos gráficos da Figura 3 e Fonte: Os autores (2025).

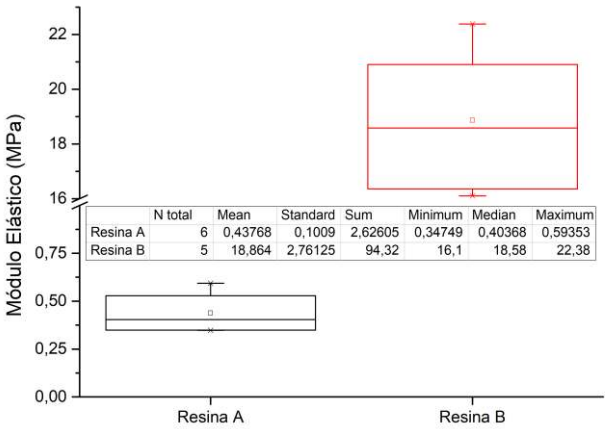
Figura 4.

Figura 3 – Comparação da tensão de tração máxima das amostras de Resina A e B.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 4 – Comparação do módulo de elasticidade das amostras de Resina A e B.



Fonte: Os autores (2025).

Como fica evidente, a Resina A apresenta tanto uma tensão máxima quanto um módulo de elasticidade muito menor que a Resina B. Essa diferença chega a ser de mais de dez vezes, sendo uma característica muito relevante na aplicação a qual se pretende. Mesmo que comparadas com outras resinas epóxis, suas resistências ainda são baixas [24].

As propriedades mecânicas da Resina A, mesmo após o tempo de cura indicado pelo fabricante, eram tão limitadas que durante os ensaios laboratoriais não foi possível prosseguir com os ensaios de compressão, flexão e impacto.

A resistência à tração é uma propriedade importante das resinas epóxi, pois está intimamente relacionada com o ensaio de resistência de aderência à tração ao substrato. Os resultados podem ser vistos nas Tabela 3 e Tabela 4 e Fonte: Os autores (2025).

Figura 5.

Tabela 3 – Ensaio de aderência após 14 dias de cura padrão.

	Tensão de Ruptura (MPa)		Tipo de Ruptura	
Amostra	Resina A	Resina B	Resina A	Resina B
1	0,13	1,10	C	A
2	0,12	0,91	C	A
3	0,19	0,87	C	A
4	0,10	1,14	C	A
5	0,16	0,97	C	A
6	0,13	0,64	C	A (75%) B (25%)
7		1,27		A
8		1,44		A
Média	0,14	1,04		

Nota: A - Ruptura no substrato; B - Ruptura na interface resina/substrato; C - Ruptura da camada de resina; D - Ruptura na interface placa /cola; E - Ruptura na interface cola/pastilha.

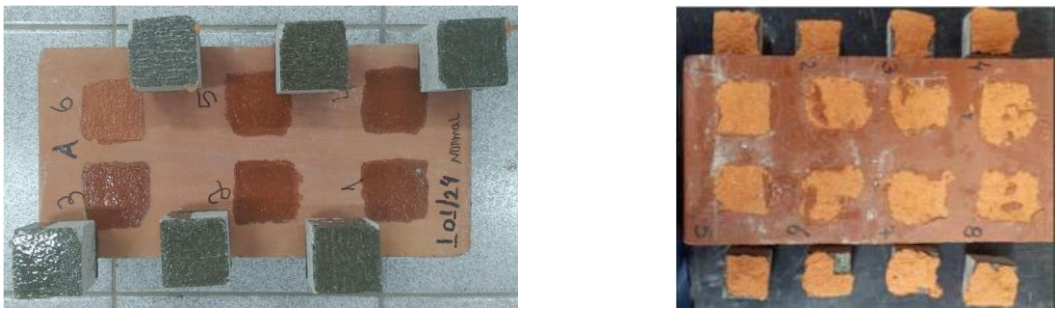
Fonte: Os autores (2025).

Tabela 4 – Ensaio de aderência após 14 dias de cura padrão e 7 dias imerso sob solução alcalina.

	Tensão de Ruptura (MPa)		Tipo de Ruptura	
Amostra	Resina A	Resina B	Resina A	Resina B
1	0,00	1,23	C	A
2	0,02	0,98	C	A
3	0,03	1,05	C	A
4	0,00	1,29	C	A
5	0,00	1,12	C	A
6	0,00	0,99	C	A
7		1,55		A
8		1,47		A
Média	0,01	1,21		

Fonte: Os autores (2025).

Figura 5 – Tipos de ruptura nos ensaios de aderência para: (a) Resina A; (b) Resina B.



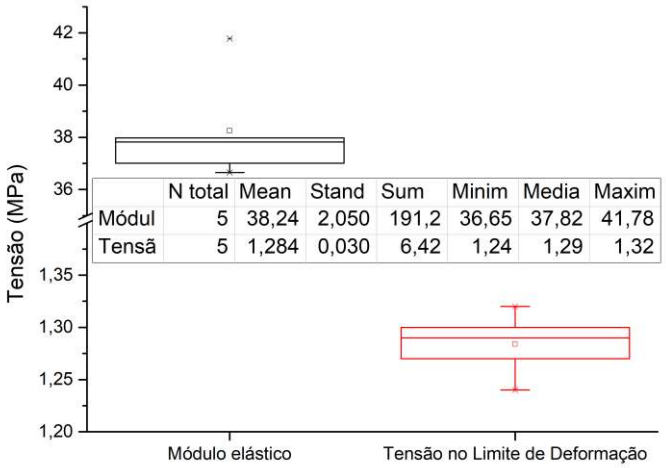
(a) (b)

Fonte: Laboratório de Materiais para Produtos de Construção (IPT).

Por se tratar de um sistema inovador, portanto não há normalização brasileira que estabeleça requisitos e critérios para avaliação desse tipo de aplicação e material, considerou-se o valor de 0,3 MPa, comumente adotado para os revestimentos de paredes de argamassas inorgânicas (ABNT NBR 13749). A resina A não atendeu ao critério referenciado, com resistências muito baixas e que praticamente zeraram quando em contato com a solução alcalina, perdendo inclusive suas carcterísticas físicas, apresentando comportamento “pastoso e pegajoso”, identificado por meio de observação visual e tátil nas determinações. Já a resina B atendeu ao critério referenciado, com rupturas coesivas preferenciais no substrato.

Os resultados dos testes de Flexão para a Resina B podem ser vistos na Figura 6, enquanto os resultados de compressão podem ser resumidos através de suas médias de 19,32 ± 0,04 mm para o deslocamento no limite de carga e de 75,28 ± 0,37% para a deformação no limite de carga.

Figura 6 – Módulo elástico e Tensão no limite de deformação na Flexão (Resina B).



	N total	Mean	Stand	Sum	Minim	Media	Maxim
Módul	5	38,24	2,050	191,2	36,65	37,82	41,78
Tensã	5	1,284	0,030	6,42	1,24	1,29	1,32

Fonte: Os autores (2025).

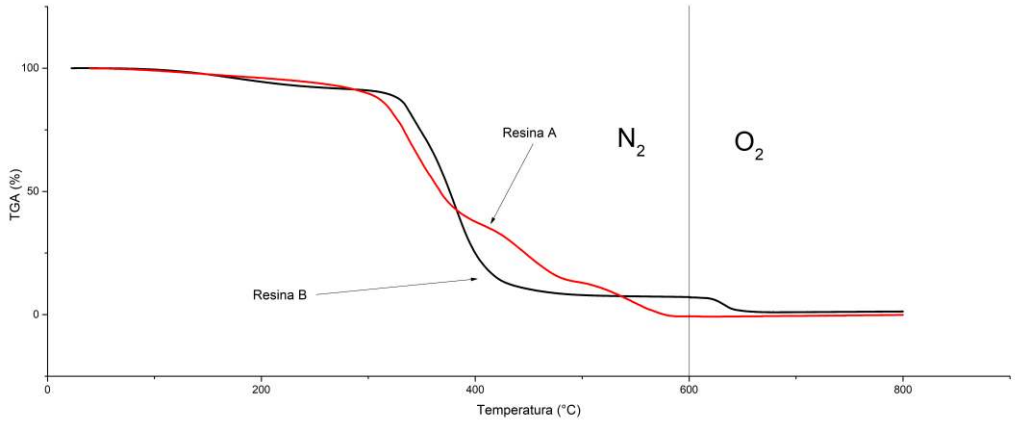
Os módulos elásticos calculados a partir dos ensaios de flexão são diferentes daqueles calculados no ensaio de tração. Isso acontece pela natureza dos polímeros, estando dentro do esperado para uma resina epóxi. Por se tratar de uma resina de alta deformação, o ensaio não pode ser conduzido até a ruptura do corpo de prova, tendo sido encerrado no final do curso da máquina.

Os resultados de compressão mostram uma boa resistência a compressão, sendo o ensaio encerrado na carga máxima do equipamento, a saber 20 kN.

Ensaios Térmicos da Resina Epóxi

A Análise Termogravimétrica (TGA) mostrou um resíduo das duas resinas muito parecido, embora seja possível ver que a degradação da Resina B, por pirólise, é mais definida apresentando apenas uma etapa, como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 – Análise termogravimétrica das Resinas A e B.



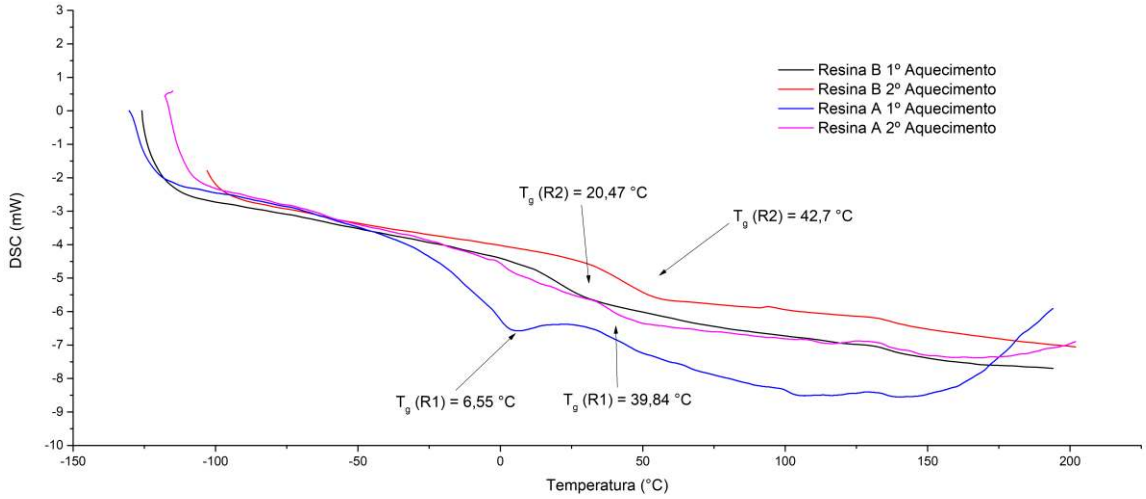
Fonte: Os autores (2025).

Observa-se também que a Resina A tem uma etapa de queima muito pequena, sendo a matéria orgânica eliminada praticamente toda durante o processo de pirólise. A Resina B, por sua vez, apresentou dois patamares distintos e definidos de perda de massa, sendo o primeiro devido a pirólise e o segundo devido a queima.

Por se tratarem ambas de resinas epóxi, era esperado que as decomposições ocorressem de forma semelhante, entretanto mudanças na formulação de tais resinas podem trazer essas mudanças em seu comportamento.

A divergência em tais comportamentos fica ainda mais evidente ao se comparar os ensaios de DSC das duas amostras. Nos gráficos da Figura 8 e Figura 9 são apresentados os resultados dos ensaios de DSC para as amostras A e B.

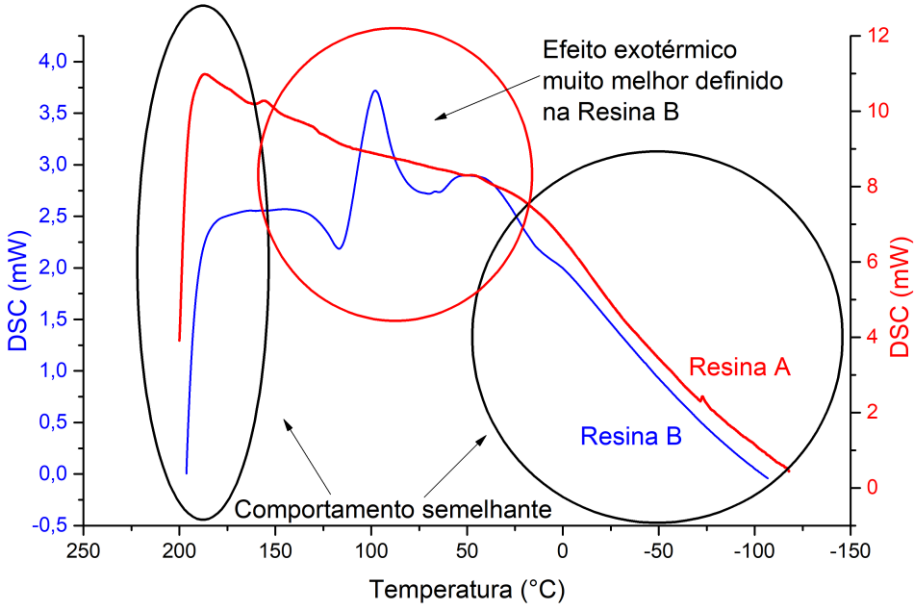
Figura 8 – DSC do primeiro e segundo aquecimento das Resinas A e B.



Fonte: Os autores (2025).

Na Figura 8 observa-se que no primeiro aquecimento a Resina A apresenta uma T_g de 6,55 °C, enquanto a Resina B apresentou uma T_g de 20,47 °C. Após um aquecimento e resfriamento, ao se realizar o aquecimento novamente, os valores de T_g variaram para 39,84 e 42,7 °C, respectivamente. Essa mudança na T_g entre os dois aquecimentos para a amostra A sugere que a mesma não está completamente curada, sendo esse incremento na T_g devido a um processo de cura acelerado pela temperatura. Esse processo de cura é exotérmico e pode ser visto durante o resfriamento, como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Comparação das análises de DSC das Resinas A e B.

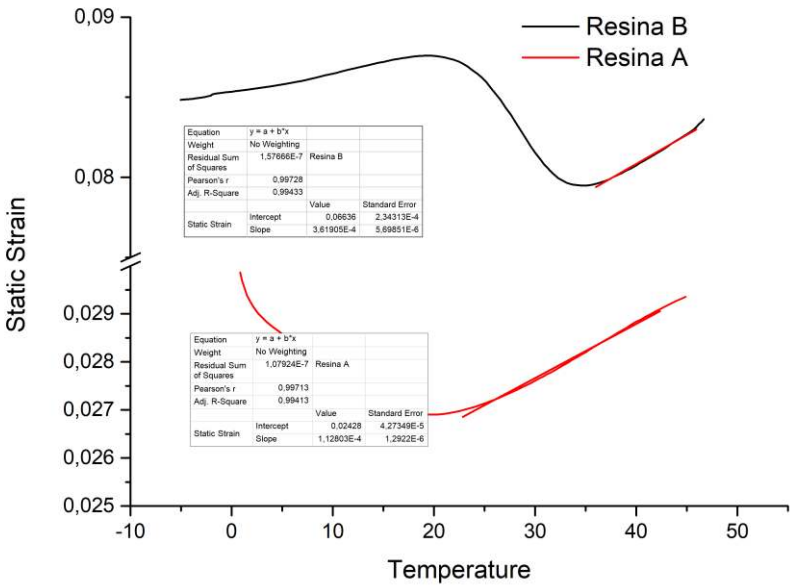


Fonte: Os autores (2025).

Da Figura 9 observa-se que existem duas faixas onde o comportamento das duas resinas é semelhante. Porém, enquanto a Resina B apresenta um pico exotérmico na temperatura aproximada de 100 °C, a resina A apresenta um platô, sem pico. Alguns pesquisadores relacionam esse pico a 100 °C a finalização da cura no epóxi [25][26], o que não acontece na Resina A. O que chama mais a atenção é que a Resina A apresenta uma espécie de platô de energia, o que aponta para uma maior distribuição no grau de polimerização, e consequentemente um pior desempenho mecânico, como foi constatado.

Por fim, é importante avaliar o coeficiente de dilatação linear, a fim de calcular e prever as prováveis tensões induzidas por mudanças de temperatura, evitando assim tensões que poderiam trazer o rompimento do revestimento utilizado. Os resultados da análise de CLTE podem ser vistos na Figura 10.

Figura 10 – Resultados da análise de CLTE para a Resina A e B.



Fonte: Os autores (2025).

A análise de CLTE apresentou uma Resina A com coeficiente de dilatação de 3,61905E-4 °C -1 e um coeficiente de dilatação linear de 1,12803E-4 °C -1 para a Resina B. Essa diferença corrobora com a ideia de que a Resina B está mais curada que a Resina A, pois um maior grau de polimerização tende a diminuir o coeficiente de dilatação em função dos cruzamentos das cadeias. Assim sendo, as tensões induzidas por mudanças de temperatura tendem a ser menores quanto menor for o coeficiente expansão linear.

Assim sendo, o fato do módulo de elasticidade da Resina B ser maior é, em partes, compensado por seu menor coeficiente de expansão linear.

CONCLUSÕES

A variabilidade nas propriedades, tanto mecânicas quanto térmicas, encontradas entre as resinas estudadas, foi muito grande. Uma delas apresentou inclusive resistências de aderência muito inferiores aos 0,3 MPa, mínimo recomendado pelas normas de revestimento.

Entre os principais desafios observados no uso da técnica, destacam-se:

- Compatibilidade com o substrato – os ensaios térmicos e mecânicos mostraram que uma das resinas avaliadas apresentou propriedades inadequadas, incluindo módulo elástico e coeficiente de variação térmica incompatíveis com o substrato cimentício, o que pode gerar tensões internas e acelerar falhas no sistema de revestimento.
- Durabilidade do tratamento – dependente tanto do desempenho da resina utilizada, quanto da eficácia da aplicação. A falta de controle no preenchimento dos espaços vazios, a presença de umidade, principalmente durante o processo de cura e ao longo

do tempo de exposição em ambientes úmidos, podem comprometer a aderência e a integridade do revestimento, podendo, ao longo dos anos, reduzir a eficácia do sistema.

- Falta de normatização e controle de qualidade – A ausência de regulamentações específicas para o uso de resinas epóxi na reabilitação de revestimentos de fachada torna a aplicação do método inconsistente e pouco confiável. A falta de critérios padronizados dificulta a avaliação da eficácia da técnica e pode resultar em uso indiscriminado, sem garantias de desempenho adequado.

Embora a técnica ofereça vantagens em termos de adesão e resistência mecânica, suas implicações a longo prazo ainda não são totalmente compreendidas, especialmente no que se refere à durabilidade do sistema e aos impactos ambientais associados ao seu descarte. Dessa forma, recomenda-se cautela na adoção desta técnica sem um controle rigoroso dos parâmetros de desempenho. É essencial que futuras pesquisas explorem testes mais abrangentes em diferentes condições de aplicação e que haja um esforço na criação de normativas que garantam maior segurança e confiabilidade no uso das resinas epóxi neste contexto.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a DOUPRAH Indústria de Produtos Poliméricos Ltda. e as equipes do Laboratório de Revestimentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e dos Laboratórios da AFINKO Soluções em Polímeros.

REFERÊNCIAS

[1] CORREA, G. A.; DOS SANTOS, M. D. F.; TATIM FILHO, Y. D. S. Utilização da injeção de resina epóxi como método de correção do som cavo em fachadas com revestimento cerâmico. **Brazilian Journals of Development**, v. 7, n. 5, 11 ago. 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n5-008.

[2] SANTOS, M. D. F. DOS; CORREA, G. A. **REABILITAÇÃO DE SISTEMA DE REVESTIMENTO ARGAMASSADO DE FACHADAS COM SOM CAVO**. XIV SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. **Anais**...João Pessoa: nov. 2023. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbta/article/view/4784. DOI: 10.46421/sbta.v14.4784.

[3] SALVI MALACARNE, C. et al. Sustainability Potential of Intervention Strategies for Mortar Coating Repair: A Case Study in a Centenary Building. In: VAYAS, I.; MAZZOLANI, F. M. (Eds.). **Protection of Historical Constructions**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 1093–1110. DOI: 10.1007/978-3-030-90788-4_84.

[4] PESCARI, S.; BUDĂU, L.; VÎLCEANU, C. – B. Rehabilitation and restauration of the main façade of historical masonry building –Romanian National Opera Timisoara. **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, p. e01838, jul. 2023. DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e01838.

[5] KESHMIRY, A. et al. Assessment, repair, and retrofitting of masonry structures: A comprehensive review. **Construction and Building Materials**, v. 442, p. 137380, set. 2024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.137380.

[6] ROONEY, H. A. Epoxies in Concrete Construction and Maintenance. **ACI Symposium Publication**, v. 21, p. 5, jan. 1968. DOI: 10.14359/17539.

[7] PANASYUK, V. V.; MARUKHA, V. I.; SYLOVANYUK, V. P. **Injection Technologies for the Repair of Damaged Concrete Structures**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014. v. 9789400779082. DOI: 10.1007/978-94-007-7908-2.

[8] MAZER, W. et al. Rehabilitation Technologies. Em: DELGADO, J. M. P. Q. (Ed.). **Durability of Concrete Structures**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 63–83. DOI: 10.1007/978-3-030-62825-3_5.

[9] TENA-COLUNGA, A.; GODÍNEZ-DOMÍNGUEZ, E. A.; HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, H. Seismic retrofit and strengthening of buildings. Observations from the 2017 Puebla-Morelos earthquake in Mexico City. **Journal of Building Engineering**, v. 47, abr. 2022. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103916.

[10] HASSAN, K. E.; ROBERY, P. C.; AL-ALAWI, L. Effect of hot-dry curing environment on the intrinsic properties of repair materials. **Cement and Concrete Composites**, v. 22, n. 6, p. 453–458, dez. 2000. DOI: 10.1016/S0958-9465(00)00048-2.

[11] SABET-BOKATI, K.; PLUCKNETT, K. Water-induced failure in polymer coatings: Mechanisms, impacts and mitigation strategies—A comprehensive review. **Polymer Degradation and Stability**, v. 230, p. 111058, dez. 2024. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2024.111058.

[12] DAI, Y. et al. Distinct photooxidation and interface degradation of waterborne epoxy resin coatings on mortar substrate affected by bulk water. **Polymer Degradation and Stability**, v. 230, p. 111079, dez. 2024. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2024.111079.

[13] SOLES, C. L.; YEE, A. F. A discussion of the molecular mechanisms of moisture transport in epoxy resins. **Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics**, v. 38, n. 5, p. 792–802, mar. 2000. DOI: 10.1002/(SICI)1099-0488(20000301)38:5<792::AID-POLB16>3.0.CO;2-H.

[14] WANG, J. et al. Catalysis pyrolysis debromination from waste printed circuit boards: Catalysts selection, parameter effects, products, and mechanisms. **Waste Management**, v. 191, p. 191–202, jan. 2025. DOI: 10.1016/J.WASMAN.2024.11.009.

[15] DOS REIS, S. A. et al. Chemical characterization and phytotoxicity assay of Novolac phenolic foam resin from healthcare services: Challenging environmental liability. **Science of The Total Environment**, v. 966, p. 178717, fev. 2025. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2025.178717.

[16] XIE, Z. et al. Molecular design of epoxy resin and the driving forces in adhesion with cementitious materials. **Applied Surface Science**, v. 689, p. 162498, abr. 2025. DOI: 10.1016/j.apsusc.2025.162498.

[17] TATAR, J.; TAYLOR, C. R.; HAMILTON, H. R. A multiscale micromechanical model of adhesive interphase between cement paste and epoxy supported by nanomechanical evidence. **Composites Part B: Engineering**, v. 172, p. 679–689, set. 2019. DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.05.038.

[18] BAHRAQ, A. A. et al. Molecular-level investigation on the effect of surface moisture on the bonding behavior of cement-epoxy interface. **Journal of Building Engineering**, v. 61, p. 105299, dez. 2022. DOI: 10.1016/j.jobe.2022.105299.

[19] WANG, P. et al. Theoretical investigation of epoxy detachment from C-S-H interface under aggressive environment. **Construction and Building Materials**, v. 264, p. 120232, dez. 2020. DOI: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.120232.

[20] HOU, D. et al. Unraveling disadhesion mechanism of epoxy/CSH interface under aggressive conditions. **Cement and Concrete Research**, v. 146, p. 106489, ago. 2021. DOI: 10.1016/j.cemconres.2021.106489.

[21] PANASYUK, V. V.; MARUKHA, V. I.; SYLOVANYUK, V. P. Injection Materials: Technological, Mechanical, and Service Characteristics. In: PANASYUK, V. V; MARUKHA, V. I.; SYLOVANYUK, V. P. (Eds.). **Injection Technologies for the Repair of Damaged Concrete Structures**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014. p. 97–114. DOI: 10.1007/978-94-007-7908-2_5.

[22] MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Blucher, 1991.

[23] GONZÁLEZ-GARCIA, F.; MIGUEZ, E.; SOARES, B. G. Caracterização do sistema éter diglicidílico do bisfenol A / poliaminas alifáticas. **Polímeros**, v. 15, n. 4, p. 261–267, nov. 2005. DOI: 10.1590/S0104-14282005000400010.

[24] WYPYCH, GEORGE. **Handbook of polymers**. [s.l.] ChemTec Publishing, 2013.

[25] MA, H. et al. A Study on Curing Kinetics of Nano-Phase Modified Epoxy Resin. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–16, 2018. DOI: 10.1038/s41598-018-21208-0.

[26] SUIBIN, L. et al. Synthesis and characterization of nano BaTiO3/epoxy composites for embedded capacitors. **2009 International Conference on Electronic Packaging Technology and High Density Packaging, ICEPT-HDP 2009**, n. September, p. 856–859, 2009. DOI: 10.1109/ICEPT.2009.5270541.