CAPÍTULO 95 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/j2bvd671
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/e4xmp010

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO EM PISOS INDUSTRIAIS

Higor Martins do Valle[1]*, Patrícia Schmid Calvão[2] e Renata Monte[3];
*Autor de contato: higormvalle@usp.com (marcado com um asterisco entre os autores)

[1] Mestrando do Programa de Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
[2] Professora doutora do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
[3] Professora doutora do Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

RESUMO

Este artigo analisa as manifestações patológicas em revestimentos de alto desempenho (RAD) aplicados em pisos industriais, sistemas amplamente utilizados para proteção do concreto e melhoria das condições operacionais em ambientes produtivos. Apesar da evolução tecnológica das resinas poliméricas, esses revestimentos ainda apresentam falhas recorrentes que comprometem a durabilidade, desempenho e a segurança operacional. O estudo identifica, por meio de revisão bibliográfica e protocolos de inspeção baseados na NBR 14050, as principais manifestações patológicas classificadas como falha de aderência, perda de integridade superficial e/ou estrutural e estético-químicas. A investigação sugere que a maioria das ocorrências, como empolamento e delaminação, pode ter origem na interface com o substrato de concreto, indicando possíveis deficiências na preparação da base e a negligência das condições de aplicação. Conclui-se que a mitigação dessas falhas exige um rigoroso controle de execução, bem como adequada especificação de manutenção e eventual recuperação para assegurar a vida útil e o desempenho esperado desses sistemas.
Palavras-chave: revestimentos de alto desempenho; manifestações patológicas; pisos industriais; resinas poliméricas.

ABSTRACT

This paper analyzes the pathological manifestations in high-performance coatings (RAD), applied to industrial floors, systems widely used for concrete protection and the improvement of operational conditions in production environments. Despite the technological advancements in polymeric resins, these coating still exhibit recurring failures that compromise durability, performance, and operational safety. Through a literature review and inspection protocols based on the NBR 14050, this study identifies the main pathological manifestations, classified as adhesion failure, loss of surface and/or structural integrity, and aesthetic-chemical issues. The investigation suggests that most occurrences, such as blistering and delamination, may originate at the interface with the concrete substrate, indicating possible deficiencies in the surface preparation and the neglect of application conditions. It is concluded that the mitigation of these failures requires rigorous execution control, as well as proper maintenance specifications and eventual repair to ensure the service life and expected performance of these systems.
Keywords: high-performance coatings; pathological manifestations; industrial floors, polymeric resins.

1. INTRODUÇÃO

A indústria brasileira desempenha um papel crucial e estratégico no setor produtivo do país, especialmente em termos de desenvolvimento tecnológico e inovação (SAIANI, VERÍSSIMO, 2019). Para assegurar a eficiência operacional da indústria, um conjunto de fatores essenciais se faz necessário, destacando-se a importância de uma infraestrutura adequada e de manutenções preventivas, de modo a garantir uma produção de qualidade que atenda aos padrões exigidos.

Nesse contexto, os revestimentos de alto desempenho (RAD) emergem como soluções essenciais para proteger os pisos industriais e otimizar a operação fabril. Entre essas demandas, destacam-se a alta resistência mecânica e química, facilidade na assepsia, atributos estéticos e rápida liberação para uso. Para atender a essas necessidades, desenvolveram-se revestimentos à base resinas poliméricas como epóxi, poliuretano, uretano, metilmetacrilato (MMA), entre outras.

Esses revestimentos são compostos por resinas poliméricas que contêm grupos reativos que, após a mistura com seus agentes de cura, sofrem reações de polimerização e reticulação, formando um material sólido com elevada resistência mecânica e química (CANEVAROLO JR., 2024). Dessa forma, essas resinas poliméricas conquistaram o mercado de revestimento de pisos industriais de modo a atender as exigências e demandas industriais e as normas exigidas quanto a operação e utilização dos processos.

No entanto, apesar da forte expansão do setor na década de 90, a ausência de normas e critérios adequados para a aplicação dos revestimentos comprometeu sua reputação (ANAPRE, 2022). Isso se deve ao surgimento de manifestações patológicas em obras de revestimento realizadas com produtos inadequados, aplicação e especificação incorreta do sistema utilizado. Tais ocorrências não apenas comprometem a estética e a funcionalidade do revestimento, mas também podem acarretar prejuízos significativos, impactando a durabilidade e a segurança das superfícies, quanto a operação industrial.

Dentre as principais incidências patológicas percebidas em revestimentos de alto desempenho são desgaste superficial, delaminação, fissuras/trincas, fragmentação, falhas na junta de dilatação, manchas e entre outros fatores. Portanto, para esses revestimentos, é fundamental a especificação correta do material a ser utilizado e sua correta aplicação ao substrato. Este cenário ressalta a importância de aprofundar o conhecimento sobre as manifestações patológicas em RAD, suas origens e as estratégias para preveni-las e corrigi-las.

Este estudo busca identificar e analisar as manifestações patológicas presentes em revestimentos de alto desempenho, evidenciando as principais técnicas executivas e os fatores críticos que as desencadeiam, desde a fase de projeto até a execução e o uso. Ao aprofundar a compreensão sobre essas falhas, este artigo busca oferecer subsídios para a tomada de decisões mais assertivas e o desenvolvimento de revestimentos mais resilientes, minimizando riscos operacionais e financeiros para a indústria nacional.

Diante dessa problemática, a pesquisa justifica-se pela necessidade de integrar o rigor técnico-normativo à realidade prática das obras industriais brasileiras. Para alcançar tal propósito, o presente artigo se organiza de modo a percorrer desde os fundamentos químicos das resinas poliméricas até a proposição de diagnósticos prováveis das manifestações patológicas mais recorrentes, confrontando as prescrições teóricas com os desafios da execução em campo.

2. SISTEMAS DE REVESTIMENTO DE ALTO DESEMPENHO (RAD)

Os sistemas de revestimento de alto desempenho, constituem famílias de produtos compostos de aglutinantes à base de resinas poliméricas, podendo ou não ter agregados naturais e outros aditivos. Esses revestimentos apresentam um alto desempenho físico e químico, resistência à abrasão, impacto, compressão, tração, flexão e aderência ao substrato, em função das bases da resina com os respectivos endurecedores e agregados empregado (ANAPRE, 2022).

Nesse contexto, esses sistemas são aplicados sobre superfícies de concreto com o objetivo de criar uma barreira física e química capaz de suportar solicitações severas que o concreto em seu estado natural, dada a sua porosidade e natureza cimentícia, não suportaria isoladamente. Diferente de pintura convencionais, os RAD são sistemas monolíticos de espessura e métodos de aplicação variável, cuja performance é determinada pela sinergia entre o polímero formador e a qualidade da interface com o substrato.

A literatura técnica e a prática de campo convergem para um fato fundamental de que a maioria das falhas em RAD não ocorrem no corpo do revestimento, mas na sua zona de interface (FIGUEIREDO, 2005). Nesse sentido, a NBR 14050 (ABNT, 1998), mesmo que ainda defasada para as tecnologias de novos produtos e processos de aplicação, estabelece os requisitos para o processamento de revestimentos de alto desempenho, enfatizando que a integridade do sistema é indissociável da preparação do substrato.

Para que ocorra a ancoragem, tanto mecânica quanto química, o concreto deve estar íntegro, limpo e seco e com a rugosidade adequada, obtida preferencialmente por métodos mecânicos como fresagem ou polimento. Fatores como a taxa de transmissão de vapor de umidade do concreto e a temperatura do ponto de orvalho durante a aplicação são variáveis críticas. Assim, ignorar esses parâmetros inviabiliza as propriedades de aderência do polímero, o que pode resultar em manifestações patológicas precoces.

2.1 Matrizes poliméricas e suas propriedades

A escolha correta do sistema de revestimento a ser adotado é o primeiro critério de projeto fundamental para garantir uma vida útil adequada. Para essa escolha, é necessário considerar todos os tipos de uso do revestimento, além do seu ambiente de exposição e contatos com demais produtos químicos. Por isso, as principais soluções adotadas na indústria nacional para o revestimento de pisos industriais incluem as seguintes resinas.

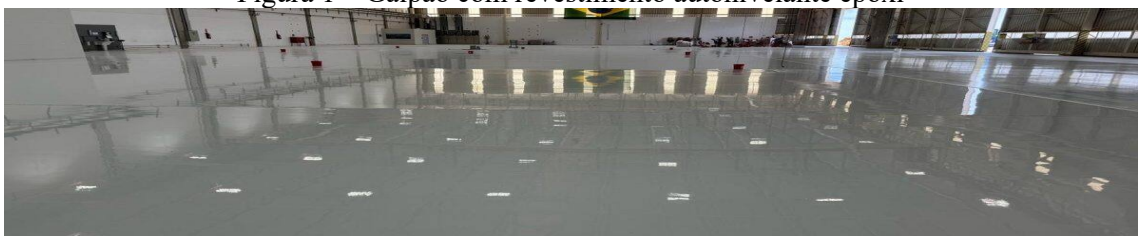
2.1.1 Resinas epoxídicas

O epóxi é um polímero termofixo que, após a cura, forma uma rede tridimensional densa, o que associa a um alto grau de reticulação, garantindo impermeabilidade e resistência a uma vasta gama de agentes químicos. Contudo, as resinas epóxi apresentam baixa resistência aos raios ultravioleta (UV), o que favorece o surgimento de manifestações patológicas à alteração da coloração, notadamente o amarelamento (*yellowing*) e a tendência ao calcinamento (*chalking*) em áreas externas (SUKANTO H. et al., 2021).

As resinas a base de epóxi são amplamente utilizadas devido à sua excelente aderência ao concreto e elevada resistência mecânica, além da sua versatilidade em poder ser aplicada em diferentes

espessuras, podendo variar de 100µm a 6mm. Além disso, possui um alto apelo estético com um alto brilho e textura lisa, conforme Figura 1.

Figura 1 – Galpão com revestimento autonivelante epóxi



Fonte: os autores.

2.1.2 Resinas de poliuretano (PU)

Os revestimentos à base de resina de poliuretano (PU), são revestimentos poliméricos bicomponentes formados da reação química entre polióis e isocianatos (JONES, NICHOLS e PAPPAS, 2017). Essa resina se destaca pela elevada resistência à abrasão e ataques químicos. As versões alifáticas são altamente resistentes ao intemperismo e à radiação ultravioleta, mantendo a estabilidade de cor e brilho, o que os torna ideias para camadas de acabamento em ambientes com variação térmica ou exposição solar.

Figura 2 – Quadra com pintura de poliuretano



Fonte: os autores.

2.1.3 Uretano

O revestimento uretânico é do tipo termofixo de alto desempenho baseado em cadeias poliméricas com ligações uretânicas (JONES, NICHOLS e PAPPAS, 2017). É uma solução de escolha para indústrias de processamento de alimentos e bebidas, pois apresenta uma excepcional resistência a choques térmicos, impactos mecânicos e ataques químicos. A grande maioria dos revestimentos de uretano do mercado apresenta propriedades antibactericidas. Contudo, esse material apresenta baixa estabilidade ultravioleta, apresentando grande mudanças na sua coloração em um curto período de tempo.

Figura 3 – Galpão com revestimento uretano autonivelante

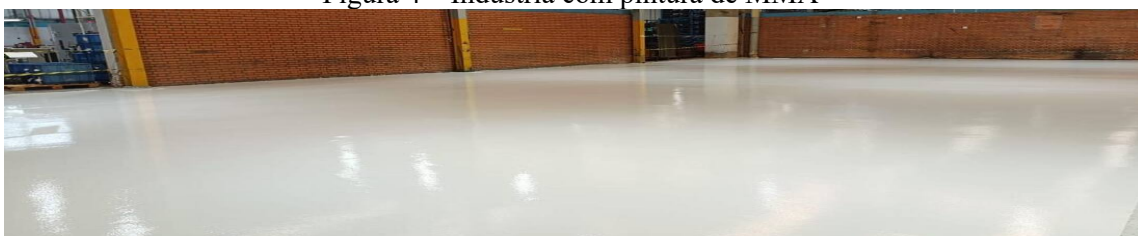


Fonte: os autores.

2.1.4 Metilmetacrilato (MMA)

A resina à base de metilmetacrilato (MMA) caracteriza-se pela cura ultrarrápida, levando em torno de 2 horas para liberação total da área e pela capacidade de aplicação em temperaturas negativas. Nesse sentido, o MMA é ideal para reformas em câmaras frigoríficas ou indústrias que não podem interromper o fluxo produtivo por longos períodos. Contudo, durante sua aplicação e cura, esse revestimento exala odores que podem contaminar alimentos e causar desconforto severo em pessoas em áreas próximas, exigindo um maior cuidado quanto ao seu manuseio e aplicação.

Figura 4 – Indústria com pintura de MMA



Fonte: os autores.

3. CLASSIFICAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RAD

A identificação precisa das manifestações patológicas em sistemas de RAD é o primeiro passo para a elaboração de uma hipótese diagnóstica fundamentada. Essas falhas podem ser classificadas de acordo com sua fenomenologia e o impacto causado na funcionalidade do revestimento. Para fins didáticos e técnicos, as manifestações patológicas são agrupadas em quatro categorias principais: falhas de aderência, integridade superficial, falhas estruturais e alterações estético-químicas.

3.1 Falha de aderência (interface substrato-revestimento)

Para todos os sistemas de revestimento de alto de desempenho, a falha de aderência representa uma das ocorrências mais críticas, pois comprometem a premissa básica do sistema de ser um revestimento monolítico e de alto desempenho. Desse modo, entender quais as origens dessa manifestação patológica são fundamentais para manter a integridade do sistema.

3.1.1 Osmose e empolamento

O empolamento é caracterizado pela formação de bolhas de diversos tamanhos sob a película do revestimento. Nesse caso, se houver contaminantes solúveis ou umidade retida no substrato de concreto, cria-se um gradiente de concentração. Geralmente, está associado à presença de umidade excessiva no substrato ou à pressão osmótica. Quando a umidade migra para a superfície e encontra uma barreira estanque, que é a resina do revestimento, a pressão de vapor força o deslocamento localizado. Essa película se deforma elasticamente, criando o empolamento em si. Nesse sentido, no interior da bolha é comum encontrar um líquido alcalino de alto pH, que degrada quimicamente a interface adesiva, agravando a manifestação patológica (MARRION, 2007).

3.1.2 Delaminação

O desplacamento ou a delaminação é a separação entre as camadas que compõem o sistema ou entre o revestimento e o substrato, sendo o estágio final e mais crítico da falha do revestimento. Diferentemente do empolamento, a delaminação costuma ocorrer em áreas maiores e pode ser

causada por contaminação entre demãos, se ocasionados por falta de preparação adequada do substrato, por exceder o tempo de recobrimento recomendado pelo fabricante (*pot life*) ou aplicar o material com umidade no substrato.

A NBR14050 (ABNT, 1998) define que os critérios mínimos de aderência para RAD tem que ser maior que 1,5 MPa, sendo a falha coesiva no concreto. Desse, ensaios como arrancamento (*Pull-off Strengh*) são utilizados para conferir a adequada aderência do revestimento ao substrato.

3.2 Falha de integridade superficial

3.2.1 Desgaste abrasivo precoce

O desgaste abrasivo excessivo é manifestado quando a camada superficial do RAD perde massa e espessura em uma taxa superior à prevista em projeto, resultando na perda, consequentemente, do brilho, na camada do revestimento e outros fatores estéticos e mecânicos que definem o revestimento. Essa manifestação patológica geralmente indica um erro na escolha da dureza da resina ou subestimativa do tráfego a ser utilizado sobre o RAD, como o tipo do material das rodas de empilhadeiras e paleteiras, arraste de paletes e materiais pesados, entre outros (FIGUEIREDO, 2005). Nesse sentido, a NBR14050 (ABNT, 1998) também estipula os limites de desempenho para a resistência à abrasão.

3.2.2 Calcinação

A calcinação é uma manifestação patológica comum para os RAD que possuem uma grande exposição à radiação ultravioleta, além de sofrer intemperismos constantes como chuva ácida. Nessa manifestação patológica, considerada uma fotodegradação oxidativa da matriz, a superfície torna-se fosca e desprende um pó fino ao toque proveniente dos pigmentos e cargas do revestimento, indicando a degradação da matriz polimérica superficial (MARRION, 2007). Embora seja inicialmente estética, a calcinação reduz a proteção química do RAD, de modo a afetá-lo em seu desempenho estrutural como revestimento.

3.3 Falhas estruturais do sistema

3.3.1 Fissuras refletidas

As fissuras em sua grande parte não têm origem no revestimento em si, mas no substrato. Logo, se o substrato possui alguma fissura, e ela apresenta uma movimentação, a propagação dessa descontinuidade do substrato irá refletir para a camada do revestimento. Nesse sentido, as fissuras refletidas ocorrem quando o revestimento filma uma fissura ou junta de movimentação existente no substrato de concreto que não foi devidamente tratada (ANAPRE, 2022). Como os RAD possuem módulo de elasticidade diferente do concreto, em sua grande parte, a movimentação da base rompe a camada polimérica, evidenciando e destacando a fissura do substrato.

3.4 Falhas estéticas e químicas

3.4.1 Ataque químico

O ataque químico em RAD, mesmo que de produtos que foram previstos para resistir quimicamente, podem acarretar alterações na coloração ou textura causadas pelo contato com essas

substâncias. Assim, o manchamento do revestimento ocorre quando a resistência química da resina é superada pelo agente agressivo, levando à uma degradação estética e/ou estrutural da película. Portanto, essa manifestação patológica ocorre quando o agente agressivo interage com a matriz polimérica ou com os pigmentos, sendo por permeação, degradação ou lixiviação dos pigmentos (SCHWEITZER, 2001).

3.4.2 Variação na tonalidade (amarelamento)

A alteração da coloração, manifestada predominantemente pelo amarelamento, é uma degradação fotoquímica que afeta a estética e a refletância dos revestimentos (CANEVAROLO, 2024). Essa manifestação patológica, embora classificada como uma alteração visual de cor, é comum em ambientes com iluminação intensa ou variações térmicas, onde a estabilidade dos pigmentos e da resina base é comprometida, alterando o padrão visual exigido em projeto.

Em resinas epóxi principalmente, a radiação UV ou o calor excessivo provocam a quebra das ligações químicas. De acordo com Paoli (2008), essa ruptura gera novos grupamentos químicos chamados de cromóforos, que tem a propriedade física de absorver a luz no espectro visível e refletir comprimentos de onda na faixa do amarelo, consolidando o fenômeno técnico do amarelamento (*yellowness*).

4. ANÁLISE DAS ORIGENS E CAUSAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Em grande parte, a origem das manifestações patológicas em RAD raramente está associada a um fator isolado. Destaca-se que essas manifestações patológicas resultam de uma cadeia de falhas que se inicia na concepção do projeto e aplicação e se estende até a fase de operação. Por isso, compreender essas origens é fundamental para estabelecer estratégias de prevenção eficazes.

4.1 Falhas de especificação de projeto

A origem de muitas manifestações patológicas reside na escolha inadequada do sistema de revestimento para a solicitação real. Nesse sentido, alguns requisitos devem ser analisados de modo a determinar o correto revestimento, a fim de evitar especificação como um revestimento epóxi para uma área de higienização com vapor ou um sistema de baixa resistência química para ambientes com alta concentração de ácidos resulta em uma degradação precoce da matriz polimérica.

De acordo com o ANAPRE (2022), avaliar a exposição mecânica, química, térmica, a segurança que o revestimento tem que proporcionar, a estética e textura almejada e a saúde e conforto do revestimento quanto a seu uso, são requerimentos chaves para a consideração na escolha de um revestimento de piso.

4.2 Deficiências na preparação do substrato

Conforme mencionado por (JONES, NICHOLS e PAPPAS, 2017), a maioria das falhas de aderência dos revestimentos têm origem em uma preparação de base negligenciada. Nesse sentido, a falta de polimento ou fresamento adequado e a presença de contaminantes como óleo, graxas ou natas de cimento obstrui os poros do concreto, impedindo a penetração da camada de imprimação e a ancoragem mecânica. Além disso, conforme NBR 14050 (ABNT, 1998), o substrato deve possuir resistência à compressão igual ou superior a 20 MPa e resistência de aderência do substrato

de no mínimo 1,0 MPa, embora a maioria dos fabricantes de resina para RAD solicitem 25 MPa e 1,5 MPa, respectivamente.

Contudo, a aplicação de sistemas estanques sobre substratos com teor de umidade acima de 4% é a causa primária do empolamento. A migração de vapor d'água, ao encontrar a barreira polimérica, gera pressões hidrostáticas que superam a resistência de aderência do sistema. Assim, avaliar o substrato e prepará-lo adequadamente é imprescindível para o correto funcionamento do RAD.

4.3 Erros de execução e condições ambientais

O processo de aplicação de RAD é correlacionado a um laboratório químico, em que a mistura dos componentes para a reação das resinas é sensível às variáveis ambientais. Por isso, uma mistura mecânica insuficiente pode resultar em zonas de subcura do revestimento, além da sua completa ineficácia como produto. Essa problemática pode gerar superfícies pegajosas, baixa resistência mecânica e maior vulnerabilidade a ataques químicos.

Além disso, aplicar o revestimento quando a temperatura do substrato está próxima ou abaixo do ponto de orvalho, causa a condensação de microgotas de água sobre a superfície. Essa umidade interfere na reação química, podendo causar manchas, perda de brilho e falhas de adesão entre camadas.

4.4 Uso inadequado e manutenção negligenciada

Para os RAD, mesmo um sistema perfeitamente executado pode apresentar manifestações patológicas se os limites de uso forem desrespeitados. O uso de produtos de limpeza altamente corrosivos ou a alteração do processo industrial sem a reavaliação do piso podem comprometer a sua integridade.

Nesse sentido, a ausência de reparos em fissuras ou pequenos danos mecânicos permite a percolação de líquidos para o substrato, o que pode iniciar um processo de descolamento generalizado a partir de uma falha pontual.

5. METODOLOGIA

A presente investigação adota uma abordagem qualitativa e descritiva, classificada como uma revisão bibliográfica complementada por análise qualitativa de casos de campo. O objetivo central é correlacionar o referencial normativo e técnico com as evidências empíricas de manifestações patológicas em RAD. Assim, o método de trabalho foi divido em duas fases complementares.

5.1 Fundamentação bibliográfica e referencial técnico

Esta fase consistiu em um levantamento bibliográfico e documental voltado à consolidação da base teórica sobre sistemas poliméricos. Foram consultados manuais técnicos de entidades setoriais (ANAPRE), normas nacionais e internacionais (ABNT, ASTM) e literatura especializada em patologia das construções.

Diferente de uma revisão sistemática de literatura, este levantamento teve caráter narrativo e técnico, focando na identificação e classificação das manifestações patológicas mais recorrentes em ambientes de alta solicitação industrial, como os setores alimentício e automobilístico. A

seleção dos temas abordados priorizou falhas com maior impacto na segurança operacional e durabilidade dos sistemas, conforme observado na prática diagnóstica dos autores.

5.2 Análise qualitativa de casos de campo e diagnóstico

A fase de investigação empírica compreendeu a análise qualitativa de nove casos de revestimentos poliméricos aplicados sobre pisos industriais de concreto com manifestações patológicas observadas. O procedimento de coleta de dados se baseou em inspeção visual direta, com registro fotográfico das manifestações patológicas e análise de diagnóstico com observação das condições aparentes do revestimento e do substrato.

Os dados obtidos em campo foram confrontados com as causas prováveis descritas na literatura técnica, permitindo uma análise comparativa que relaciona as manifestações identificadas a possíveis deficiências nas etapas de projeto, execução ou condições de uso e manutenção.

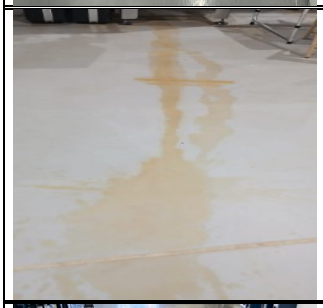
6. RESULTADOS

A aplicação do protocolo de inspeção e a subsequente análise qualitativa indicam que as manifestações patológicas observadas nos RAD não decorrem de fatores isolados, mas de uma conjunção entre as propriedades da matriz polimérica, as condições do substrato e o ambiente de exposição. Verificou-se que, embora cada sistema apresente desempenhos mecânicos e químicos distintos, a origem da maioria das anomalias converge para falhas de interface e para a desconsideração de variáveis de aplicação críticas durante o processo.

O cruzamento dos dados de campo com as diretrizes da NBR 14050 (ABNT, 1998) permitiu a indicação de diagnósticos prováveis que classifica as falhas segundo sua fenomenologia e impacto funcional. Essa correlação entre os sistemas de revestimento, as manifestações mais frequentes e seus respectivos nexos casuais está sintetizada na Tabela 1.

Tabela 1 – Manifestações patológicas observadas nos estudos de caso

Manifestação patológica	Identificação	
	Sistema RAD:	Pintura epóxi
	Tipo de indústria:	Aeroespacial
	Fenômeno patológico:	Falha de aderência
	Manifestação observada:	Formação de bolhas sob o revestimento causando delaminação (osmose)
	Causa provável:	Umidade excessiva no substrato ou pressão osmótica, não identificada na execução do RAD
	Sistema RAD:	Autonivelante epóxi
	Tipo de indústria:	Automobilística
	Fenômeno patológico:	Falha de aderência
	Manifestação observada:	Delaminação por completo do RAD
	Causa provável:	Contaminação superficial e falta de preparação correta do substrato.
	Sistema RAD:	Pintura de poliuretano

	Tipo de indústria:	Automobilística
	Fenômeno patológico:	Integridade superficial
	Manifestação observada:	Desgaste abrasivo precoce do revestimento evidenciando o substrato
	Causa provável:	Subestimativa de tráfego, escolha inadequada do RAD aplicado e espessura considerada
	Sistema RAD:	Epóxi decorativo
	Tipo de indústria:	Farmacêutica
	Fenômeno patológico:	Falha estrutural e estética
	Manifestação observada:	Fosqueamento e amarelamento da superfície com desprendimento de partículas
	Causa provável:	Escolha inadequada do RAD devido a exposição a radiação UV e quebra das ligações químicas
	Sistema RAD:	Pintura de MMA
	Tipo de indústria:	Alimentícia
	Fenômeno patológico:	Falha estrutural
	Manifestação observada:	Fissuração no revestimento comprometendo seu desempenho
	Causa provável	Movimentação do substrato de concreto que não foi tratada previamente
	Sistema RAD:	Uretano autonivelante
	Tipo de indústria:	Alimentícia
	Fenômeno patológico:	Falha estética
	Manifestação observada:	Manchas de diferentes tonalidades
	Causa Provável:	Queda de agentes químicos agressivos ao revestimento
	Sistema RAD:	Uretano autonivelante
	Tipo de indústria:	Alimentícia
	Fenômeno patológico:	Falha estética
	Manifestação observada:	Variação na coloração do revestimento
	Causa provável:	Exposição a radiação UV, acelerando a fotodegradação do revestimento
	Sistema RAD:	Epóxi decorativo
	Tipo de indústria:	Farmacêutica
	Fenômeno patológico:	Falha estética
	Manifestação observada:	Variação na tonalidade e brilho do revestimento
	Causa provável:	Exposição a radiação UV e a utilização de produtos químicos agressivos, acelerando a fotodegradação do revestimento

	Sistema RAD:	Pintura epóxi
	Tipo de indústria:	Cosméticos
	Fenômeno patológico:	Falha de aderência
	Manifestação observada:	Delaminação entre camadas
	Causa provável:	Falta de preparação adequada do substrato e a correta utilização da camada de imprimação

Fonte: os autores.

Os diagnósticos consolidados na Tabela 1 sugerem que a origem principal das manifestações patológicas raramente reside em limitações intrínsecas das resinas poliméricas, mas sim em fragilidades na interface entre o revestimento e a base. A recorrência de falhas como osmose e delaminação expõe a vulnerabilidade dos RAD quando há negligência no controle de umidade ou na preparação mecânica do substrato, desconsiderando as diretrizes da NBR 14050 (ABNT, 1998).

7. ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO E PREVENÇÃO

A correção de manifestações patológicas em RAD exige um diagnóstico preciso para evitar o retrabalho do reparo. As estratégias variam conforme a extensão do dano e a natureza da falha.

7.1 Técnicas de recuperação

De acordo com as práticas recomendadas pelo setor de pisos industriais (ANAPRE, 2022), o reparo localizado é indicado para danos mecânicos pontuais ou impactos. Essa técnica envolve o corte da área afetada, preferencialmente com bordas retas para evitar tensões concentradas, e posteriormente a remoção mecânica do revestimento afetado e aplicação do novo sistema compatível.

No que tange ao tratamento de fissuras, a conduta varia conforme a atividade da falha. Para as fissuras estáveis, utiliza-se a injeção de resinas de baixa viscosidade. No caso de fissuras de movimentação, o revestimento dever ser seccionado e transformado em uma junta de controle selada com mastiques elastoméricos (BOLINA, HELENE, TUTIKIAN, 2019).

Por fim, em casos de falha generalizada de aderência, como na ocorrência de osmose ou contaminação do substrato, a remoção completa do revestimento é necessária devido à perda da capacidade funcional do revestimento (FIGUEIREDO, 2005). Nestas situações, a nova aplicação deve ser precedida por uma barreira de vapor ou sistemas de barreira osmótica, caso a manifestação patológica seja originada por umidade ascendente.

7.2 Diretrizes preventivas

A prevenção é o caminho mais econômico e tecnicamente viável. Desse modo, uma verificação rigorosa quanto ao controle de qualidade do substrato é imprescindível, de modo a verificar sua resistência mecânica e a presença de umidade, além do monitoramento contínuo das condições ambientais durante as misturas. Por fim, o plano de manutenção é fundamental para a garantia da vida útil do revestimento, de modo a estabelecer rotinas de limpeza com produtos que não ataquem quimicamente os revestimentos, além da realização de inspeções periódicas para selar pequenas avarias antes que evoluam.

8. CONCLUSÕES

A análise das manifestações patológicas em revestimentos de alto desempenho aponta para o fato de que a durabilidade desses sistemas parece estar condicionada, primordialmente, à qualidade da interface entre a matriz polimérica e o substrato de concreto. As evidências levantadas neste estudo indicam que a probabilidade de ocorrência de falhas críticas aumenta significativamente diante da negligência técnica das etapas de preparação da base e do descumprimento das diretrizes normativas da NBR 14050 (ABNT, 1998).

Verificou-se que, embora sistemas de diferentes naturezas ofereçam resistências específicas, todos são vulneráveis à presença de umidade e à contaminação superficial do substrato. A recorrência dessas manifestações patológicas, conforme detalhado no diagnóstico sistêmico apresentado, reforça que a mitigação de danos em pisos industriais exige que o foco do controle de qualidade se desloque das simples especificações do material para um rigoroso controle de execução e para o monitoramento das condições de aplicação.

Em última análise, o trabalho evidencia que a integridade funcional do revestimento é o resultado direto de uma visão sistêmica da estrutura. Para garantir a extensão da vida útil e a segurança operacional dos ambientes produtivos, é indispensável que a execução técnica seja pautada pela correta interpretação das variáveis de campo e pelo estrito respeito aos tempos de cura de condições ambientais, minimizando assim a incidência de retrabalhos e falhas prematuras que comprometem o desempenho do sistema.

Portanto, este estudo ressalta a mitigação de prejuízos operacionais e financeiros na indústria nacional que depende de uma abordagem sistêmica, onde o RAD é tratado como uma engenharia de proteção de superfícies e não apenas um acabamento estético. Espera-se este artigo contribua para a tomada de decisões de engenheiros e gestores, fomentando o uso de normas técnicas como ferramenta de garantia de desempenho e durabilidade.

REFERÊNCIAS

ANAPRE. **Manual de Boas Práticas para o Executor de RAD**. São Paulo: ANAPRE, 2022.

ANAPRE. **O mercado de revestimentos de alto desempenho no brasil – cenário e perspectivas do segmento.** Vol. 1, São Paulo: ANAPRE, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14050: **Sistemas de revestimentos de alto desempenho, à base de resinas epoxídicas e agregados minerais – Projeto, execução e avaliação do desempenho – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.

BOLINA, F. L.; HELENE, P. R. L.; TUTIKIAN, B: F. **Patologia de estruturas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

CANEVAROLO JR., S. V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 4. Ed. São Paulo: Artliber, 2024.

FIGUEIREDO, S. S. Revestimentos de alto desempenho. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2, cap. 35, p. 1151-1194.

JONES, F. N.; NICHOLS, M. E.; PAPPAS, S. P. **Organic coatings: Science and Technology**. v. 4, p. 271-294, 2017.

MARRION, A. R. **The chemistry and physics of coatings**. v. 2, p. 64-95, 2007.

SUKANTO, H.; RAHARJO, W. W.; ARIAWAN, D.; TRIYONO, J.; KAAVESINA, M. **Epoxy resins thermosseting for mechanical engineering**. v. 1, p. 797-814, 2021.

PAOLI, M. A. **Degradação e Estabilização de Polímeros**. 2. Ed. São Paulo: Chemkeys, 2008.

SAIANI, C.; VERÍSSIMO, M. P. **Evidências da importância da indústria e dos serviços para o crescimento econômico dos municípios brasileiros**. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1982-3533.2019v28n3art12. Acesso em: 8 mar. 2026.

SCHWEITZER, P. A. **Corrosion-resistant linings and coatings**. v. 1, p. 280-316, 2001.