CAPÍTULO 88 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/phj05j71
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/r3y41r22

PROSPECÇÃO CIENTÍFICA DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA APLICADA AO CONCRETO ARMADO UTILIZANDO UMA TAXONOMIA MULTIFACETADA

Francisco Luiz Campos Lopes[1]*, Fernando do Couto Rosa Almeida[2]
*Autor de contato: *francisco.campos.lopes@gmail.com*

[1] DIAVICON, Belo Horizonte, Brasil
[2] DEMC UFMG, Belo Horizonte, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise bibliométrica da produção científica relacionada à engenharia diagnóstica aplicada a estruturas de concreto armado. A pesquisa foi conduzida utilizando uma taxonomia científica multifacetada, composta por cinco dimensões conceituais: verbo de ação, objeto, contexto, fenômeno e indicador, utilizada para estruturar equações de busca em bases de dados científicas. A coleta de dados foi realizada na base de dados Scopus, considerando publicações entre 1970 e 2025, resultando em um conjunto de 5.170 artigos científicos. Os resultados indicam um crescimento significativo da produção científica nas últimas décadas, refletindo a preocupação crescente com a durabilidade das estruturas e o envelhecimento das infraestruturas. A análise temática revelou predominância de estudos relacionados à corrosão das armaduras, ao transporte de íons cloreto e à durabilidade do concreto, com destaque para a corrosão induzida por cloretos como uma das principais linhas de investigação. A análise geográfica mostrou concentração de publicações em países como a China, os Estados Unidos e países europeus, enquanto o Brasil apresenta participação relevante, com maior presença de estudos sobre carbonatação. Observa-se ainda uma tendência crescente de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de concretos mais duráveis e de menor permeabilidade, visando reduzir a penetração de agentes agressivos. Os resultados contribuem para compreender as tendências de pesquisa na área e demonstram a utilidade da taxonomia científica proposta para estudos de mapeamento.
Palavras-chave: Durabilidade do Concreto, Engenharia Diagnóstica, Corrosão das Armaduras, Análise bibliométrica, Prospecção tecnológica.

ABSTRACT

This study presents a bibliometric analysis of the scientific literature on diagnostic engineering applied to reinforced concrete structures. The research was conducted using a multifaceted scientific taxonomy, composed of five conceptual dimensions: action verb, object, context, phenomenon, and indicator, which was used to structure search equations in scientific databases. Data collection was conducted in the Scopus database, covering publications from 1970 to 2025, yielding a dataset of 5,170 scientific articles. The results indicate significant growth in scientific production over the last few decades, reflecting increased concern with structural durability and the aging of infrastructure systems. The thematic analysis revealed a predominance of studies on reinforcement corrosion, chloride-ion transport, and concrete durability, highlighting chloride-induced corrosion as a key research topic. The geographical analysis showed a concentration of publications in countries such as China, the United States, and several European nations, while Brazil also makes a significant contribution, with a greater presence of studies on carbonation. Additionally, a growing research trend focused on developing more durable, less permeable concrete was observed, aiming to reduce the penetration of aggressive agents. The results contribute to understanding research trends in the field and demonstrate the usefulness of the proposed scientific taxonomy as a tool for scientific mapping studies

Keywords: Concrete durability; Diagnostic Engineering; Reinforcement corrosion; Bibliometric analysis; Technological prospecting.

1. INTRODUÇÃO

A engenharia diagnóstica é frequentemente tratada como um campo recente na engenharia civil. De fato, a consolidação dos termos “engenheiro diagnóstico” ou “engenheiro patologista” no mercado da construção é relativamente recente, associada à crescente necessidade de investigar, avaliar e prolongar a vida útil das estruturas. Apesar do nome, a engenharia diagnóstica não se limita ao diagnóstico, entendido como a identificação de causas, origens e mecanismos das anomalias, mas abrange um conjunto mais amplo de atividades, incluindo a coleta de dados, a investigação, a análise de conformidade, a avaliação de riscos e a prescrição de soluções. Conforme exposto por Gomide (2021), trata-se de uma disciplina orientada à criação de ações proativas, integrando diagnóstico, prognóstico e recomendações técnicas para assegurar o desempenho e a qualidade das construções.

Entretanto, a preocupação com a responsabilidade técnica em relação às construções acompanha a humanidade há milênios. Um exemplo clássico encontra-se no Código de Hamurabi, de Babilônia, de 1750 a.C., considerado um dos primeiros conjuntos de leis escritos da história. Nesse código, já se estabelecia a responsabilidade do construtor pela segurança das edificações: caso uma casa construída por um construtor ruísse e causasse a morte do proprietário, o construtor deveria ser condenado à pena de morte.

Esse registro histórico evidencia que, desde as civilizações antigas, a sociedade reconhece a necessidade de avaliar falhas construtivas e de determinar responsabilidades técnicas. Ainda que de forma rudimentar, tal necessidade implica um processo de investigação das causas do colapso, configurando uma forma embrionária do que hoje se denomina engenharia diagnóstica.

Ao longo do tempo, essa área passou a ser frequentemente comparada à medicina, uma vez que envolve atividades análogas ao diagnóstico clínico: inspeção, análise de sintomas, investigação das causas e definição de tratamentos. O envelhecimento natural das infraestruturas, aliado à crescente complexidade das construções e às exigências normativas contemporâneas (NBR 15575, 2025), tem elevado a relevância dessa área. Atualmente, aspectos como sustentabilidade, otimização de recursos, preservação patrimonial e segurança estrutural reforçam a necessidade de monitoramento contínuo das edificações e das obras de infraestrutura.

No contexto dos materiais estruturais, o concreto de cimento Portland tornou-se um dos principais materiais utilizados na construção civil a partir do final do século XIX, especialmente após a introdução do concreto armado. Desde então, estruturas de concreto passaram a compor grande parte das edificações e das infraestruturas modernas, incluindo pontes, barragens e edifícios.

No Brasil, o uso do concreto armado consolidou-se ao longo do século XX. Muitas dessas estruturas encontram-se atualmente em estágios avançados de envelhecimento, o que tem levado ao surgimento de diversas manifestações patológicas, como fissuração, corrosão das armaduras e destacamento do cobrimento. Esses fenômenos têm impulsionado o desenvolvimento de estudos sobre a durabilidade do concreto e a patologia das construções (HELENE, 1993; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Historicamente, a engenharia diagnóstica evoluiu de uma prática predominantemente reativa, baseada na análise de falhas após a ocorrência de danos, para uma disciplina estruturada em métodos científicos de investigação e de manutenção preventiva. Um marco importante nessa

evolução foi a introdução e o desenvolvimento dos Ensaios Não Destrutivos (ENDs), que possibilitaram a avaliação das condições internas das estruturas sem comprometer sua integridade.

Nas últimas décadas, o avanço das tecnologias digitais ampliou significativamente as possibilidades dessa área. O desenvolvimento de sistemas de monitoramento estrutural, de modelagem numérica e de métodos baseados em inteligência artificial tem permitido análises mais precisas do comportamento e da degradação das estruturas.

Apesar dos avanços na área, observa-se que a literatura ainda apresenta limitações na organização sistemática do conhecimento, especialmente na integração entre diferentes dimensões da engenharia diagnóstica, como técnicas de inspeção, fenômenos de degradação e indicadores de desempenho. Além disso, há uma carência de abordagens estruturadas que permitam identificar não apenas tendências, mas também lacunas e inter-relações entre os diferentes elementos que compõem o processo de diagnóstico estrutural. Nesse contexto, torna-se relevante o desenvolvimento de metodologias capazes de organizar e interpretar o conhecimento científico de forma integrada.

Diante desse contexto de rápida evolução tecnológica e da crescente demanda por soluções para a manutenção e prolongamento da vida útil das estruturas, torna-se fundamental compreender o estágio atual de desenvolvimento científico e tecnológico da área. Assim, o presente artigo tem como objetivo avaliar o estado da arte da produção científica relacionada à engenharia diagnóstica aplicada ao concreto armado e aos ensaios não destrutivos, utilizando uma abordagem baseada em uma taxonomia científica multifacetada. Busca-se identificar tendências de pesquisa, temas emergentes e a evolução da produção científica na área.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa adotou uma abordagem bibliométrica, baseada em uma taxonomia científica multifacetada, estruturada para organizar e sistematizar o conhecimento produzido na área de engenharia diagnóstica, com foco em concreto armado e ENDs. Essa estrutura taxonômica permite decompor o campo tecnológico em diferentes dimensões analíticas, possibilitando a construção de equações de busca mais abrangentes e representativas da área investigada.

A taxonomia proposta organiza os termos em cinco pilares conceituais:

1. **Verbo de ação (V)**: representa a atividade ou operação realizada no estudo, indicando o tipo de procedimento aplicado;
2. **Objeto (O)**: corresponde à entidade, sistema ou elemento sobre o qual a ação é realizada, delimitando o foco material ou conceitual da investigação;
3. **Contexto (C):** define o domínio temático ou área de conhecimento em que o estudo está inserido, fornecendo o enquadramento conceitual da análise;
4. **Fenômeno (F):** refere-se ao processo, mecanismo ou manifestação que ocorre no objeto e constitui o foco da investigação científica;
5. **Indicador (I):** corresponde à variável, parâmetro ou métrica utilizada para observar, medir ou quantificar o fenômeno ou material analisado.

A organização do conhecimento em múltiplas dimensões permite identificar inter-relações entre técnicas de investigação, fenômenos de degradação e propriedades estruturais analisadas na literatura científica.

2.1 Estrutura da Taxonomia

A taxonomia foi construída a partir da análise exploratória da literatura sobre patologia das construções, engenharia diagnóstica e durabilidade do concreto. A partir dessa análise, selecionaram-se termos representativos de cada dimensão da taxonomia.

Quadro 1 – Taxonomia científica baseada na literatura

Verbo de Ação	Objeto	Contexto	Fenômeno	Indicador
Inspeção	Estrutura	Manifestações Patológicas	Corrosão	Teor de Contaminantes
Mapeamento	Concreto	Patologia	Lixiviação	Difusão
Monitoramento	Concreto Armado	Durabilidade	Carbonatação	Absorção Capilar
Diagnóstico	Concreto Protendido	Gêmeo Digital	Cloreto	Georadar
Testes	Ponte	Ensaios Não Destrutivos	Sulfatos	Ultrassom
Manutenção	Barragem	Inteligência Artificial	Reação Álcalis Agregados	Ultrassonografia
Modelagem	Predial	Machine Learning		Resistividade
Recuperação	Pilar	Deterioração		Potencial De Corrosão
Reforço	Viga	Degradação		Esclerometria
Investigação	Fundação	Estrutural		Corrente De Corrosão
Análise	Infraestrutura			Esclerômetro
				Termografia

Com base na taxonomia realizada, foi concebida a estratégia de busca, combinando termos dos cinco pilares conceituais. Para garantir abrangência e consistência na recuperação dos registros, foram utilizados operadores booleanos (*AND* e *OR*), permitindo combinar sinônimos em cada dimensão taxonômica e, simultaneamente, relacionar as diferentes dimensões entre si. A equação 1 apresenta a equação geral de busca:

$$(V1\ OR\ V2\ OR\ \ldots\ OR\ Vn)\ AND\ (O1\ OR\ O2\ OR\ \ldots\ OR\ On)\ AND\ (C1\ OR\ C2\ OR\ \ldots\ OR\ Cn)\ AND\ (F1\ OR\ F2\ OR\ \ldots\ OR\ Fn)\ AND\ (I1\ OR\ I2\ OR\ \ldots\ OR\ In) \quad (1)$$

Essa estratégia permitiu recuperar publicações científicas que abordem simultaneamente diferentes dimensões do conhecimento técnico da engenharia diagnóstica, garantindo maior precisão temática na construção do banco de dados analisado.

Após a aplicação das equações de busca nas plataformas selecionadas, os registros obtidos foram exportados em formato estruturado, contendo metadados como título, autores, ano de publicação, palavras-chave, afiliação institucional e país de origem.

A base de dados científica utilizada foi a Scopus, uma das maiores bases de indexação de literatura científica revisada por pares. A plataforma reúne periódicos, anais de congressos, capítulos de livros e outros tipos de produção acadêmica de diversas áreas do conhecimento.

Foram aplicados filtros relacionados às áreas de “Engineering” e “Materials Science”, além da exclusão de documentos duplicados e registros incompletos. A busca foi restrita a títulos, resumos e palavras-chave, garantindo maior aderência temática aos objetivos da pesquisa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise Bibliométrica das produções científicas

Com base na metodologia proposta, os resultados obtidos foram organizados em análises bibliométricas relacionadas à frequência de termos, à evolução temporal da produção científica e à distribuição geográfica das publicações.

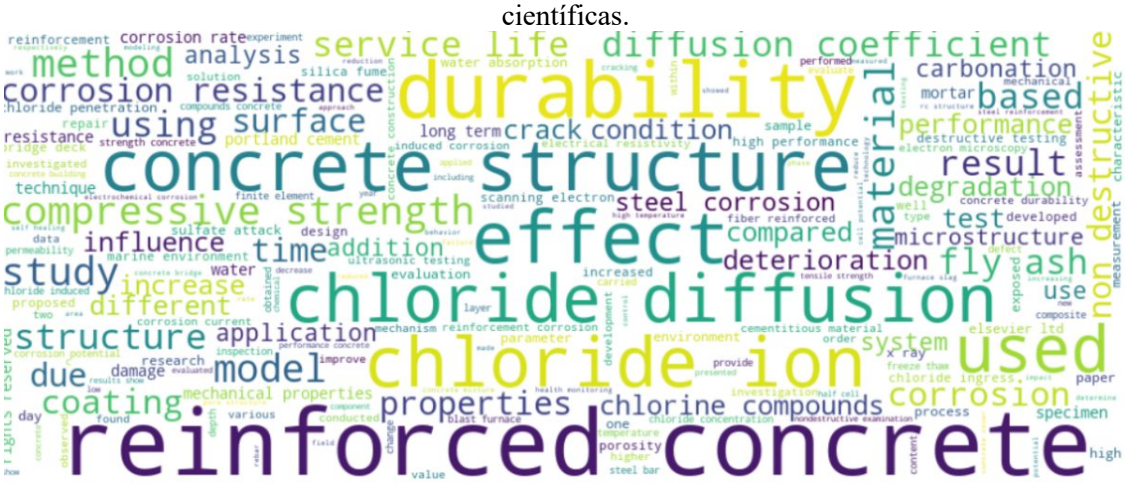
A análise inicial considerou todo o escopo temporal das publicações indexadas na base Scopus, abrangendo o período de 1970 a 2025. Essa etapa teve como objetivo avaliar a evolução histórica da produção científica relacionada à engenharia diagnóstica aplicada a estruturas de concreto armado, bem como identificar tendências de crescimento e o grau de maturidade do campo tecnológico.

A partir da aplicação da taxonomia científica multifacetada apresentada no Quadro 1 e da equação geral de busca definida na Equação (1), foram recuperados 5.170 artigos científicos. Esse conjunto de documentos constituiu a base para as análises bibliométricas subsequentes.

3.2 Análise por Nuvem de Palavras

A Figura 1a apresenta a nuvem de palavras elaborada com base nos termos mais recorrentes nos títulos, resumos e palavras-chave das publicações analisadas. Esse tipo de visualização permite identificar, de forma exploratória, os principais temas abordados na literatura científica.

Figura 1 - Nuvem de palavras considerando o título, o resumo e as palavras-chave das produções científicas.



Fonte: o autor.

Observa-se a predominância de termos relacionados à durabilidade, corrosão, desempenho e íons cloreto, evidenciando que grande parte das pesquisas está concentrada na investigação dos mecanismos clássicos de deterioração do concreto armado. Esse resultado é consistente com a literatura especializada, que aponta a corrosão das armaduras induzida por íons cloreto como um dos principais mecanismos de degradação de estruturas de concreto, especialmente em ambientes marinhos ou expostas a agentes agressivos (BROOMFIELD, 2007; MEHTA; MONTEIRO, 2008).

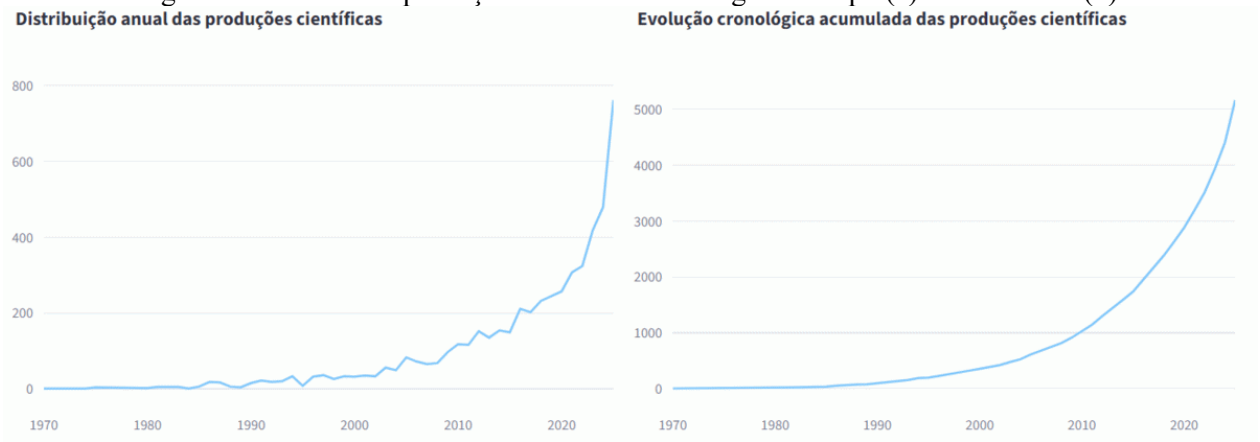
Essa concentração temática também sugere uma possível assimetria no desenvolvimento científico da área, com menor ênfase em aspectos relacionados à tomada de decisão, às estratégias de intervenção e à gestão da vida útil das estruturas. Embora haja avanços significativos na

compreensão dos fenômenos de degradação, persiste uma lacuna na tradução desse conhecimento em soluções aplicadas, especialmente no contexto da engenharia diagnóstica voltada à prescrição de intervenções.

3.3 Análise bibliométrica ao longo do tempo

A Figura 2a apresenta a evolução temporal das publicações científicas relacionadas à engenharia diagnóstica aplicada a estruturas de concreto armado e a ensaios não destrutivos ao longo do período analisado (1970–2025), enquanto a Figura 2b apresenta a evolução cumulativa.

Figura 2 - Análise das produções científicas ao longo do tempo (a) e cumulativa (b).



(a) (b)

Fonte: o autor.

Observa-se que, até o final da década de 1980, o número de publicações era relativamente reduzido, refletindo o estágio inicial de desenvolvimento das pesquisas relacionadas à durabilidade do concreto e aos métodos de inspeção estrutural.

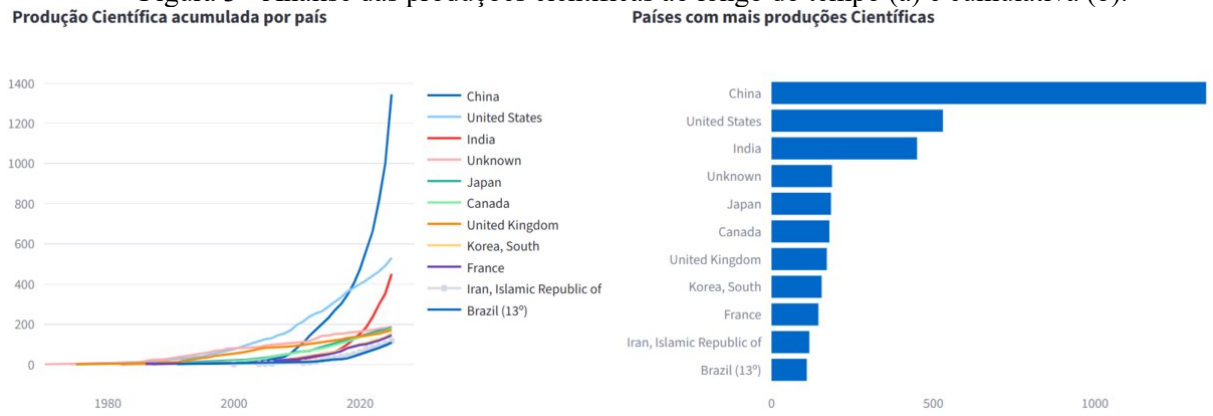
A partir da década de 1990, verifica-se um crescimento progressivo da produção científica, impulsionado pelo avanço dos estudos sobre os mecanismos de deterioração do concreto, particularmente os processos de carbonatação e de corrosão induzida por cloretos.

O crescimento exponencial observado a partir dos anos 2000 não apenas reflete o aumento da produção científica, mas também está diretamente associado à transformação tecnológica da área, marcada pela ampliação do uso de ensaios não destrutivos, de sistemas de monitoramento estrutural e, mais recentemente, de abordagens baseadas em dados e em inteligência artificial. Esse comportamento indica uma transição da engenharia diagnóstica de um modelo predominantemente reativo para um modelo orientado à predição e ao monitoramento contínuo, alinhado às demandas contemporâneas de gestão da vida útil das infraestruturas.

3.4 Análise da produção científica por países

A Figura 3 apresenta a distribuição da produção científica por país, tanto em termos de evolução acumulada (a) quanto em número absoluto de publicações (b). Observa-se uma forte concentração da produção científica em poucos países, com destaque para a China, que apresenta crescimento exponencial ao longo do tempo, principalmente a partir de 2010, e ocupa a primeira posição de forma expressiva. Esse comportamento indica um elevado investimento em pesquisa e desenvolvimento, bem como uma priorização estratégica da temática relacionada à durabilidade e diagnóstico de estruturas de concreto.

Figura 3 - Análise das produções científicas ao longo do tempo (a) e cumulativa (b).



(a) (b)

Fonte: o autor.

Os Estados Unidos ocupam a segunda posição, com crescimento estável, enquanto a Índia se destaca por avanços recentes. Países como Japão, Canadá, Reino Unido e Coreia do Sul apresentam produção consistente, embora menor. Os resultados indicam uma forte concentração de publicações em países com elevada capacidade de investir em pesquisa e em infraestrutura científica. Em países industrializados, o prejuízo anual vinculado à degradação das estruturas por corrosão varia de 3,3% a 5,0% do seu PIB (IPEN, 2002; DOTTO, 2006; RIBEIRO, 2018; HOU *et al.*, 2015; KOCH *et al.*, 2016)

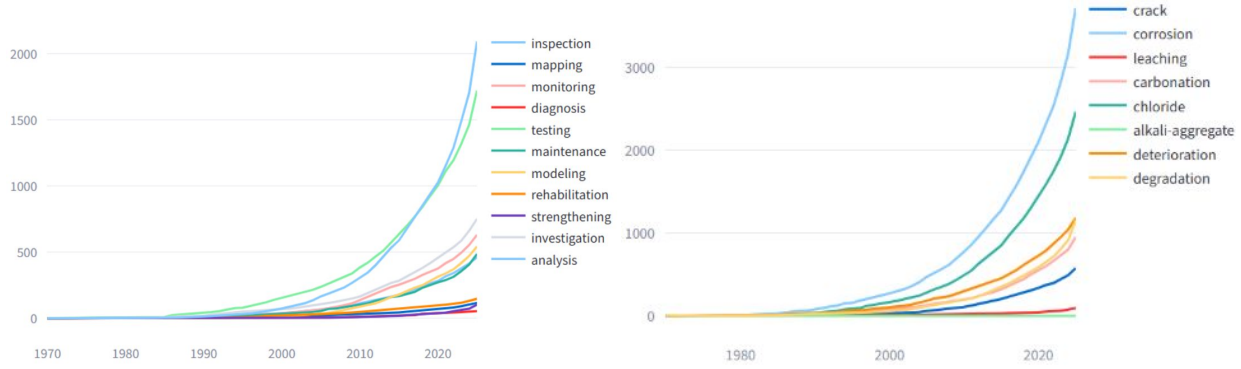
O crescimento acelerado da China sugere uma priorização estratégica da temática da durabilidade e da gestão de infraestruturas, possivelmente associada ao seu intenso processo de urbanização e expansão de obras civis.

O Brasil, na 13ª posição, ainda tem participação modesta, mas com potencial de crescimento alinhado às demandas e às condições ambientais favoráveis à pesquisa na área. Além disso, as condições ambientais brasileiras, caracterizadas por elevada umidade, temperaturas elevadas e ambientes marinhos extensos, favorecem o desenvolvimento de estudos sobre a corrosão de armaduras e a durabilidade do concreto (HELENE, 1993).

3.4 Análise da evolução dos termos taxonômicos

As Figuras 4(a) e 4(b) apresentam a evolução temporal das pesquisas com base nos verbos de ação e nos fenômenos investigados. Observa-se um crescimento acentuado da produção científica a partir dos anos 2000, com um comportamento exponencial nas últimas décadas.

Figura 4 - Evolução dos termos taxonômicos de verbos de ação (a) e fenômenos (b).



(a) (b)

Fonte: o autor.

Em relação aos verbos de ação, destacam-se “inspeção” e “ensaios/testes” (t*esting*), o que evidencia o foco predominante na avaliação estrutural. Termos como “monitoramento”, “análise” e “investigação” também apresentam crescimento significativo, indicando uma transição para abordagens mais contínuas e orientadas por dados. Por outro lado, “modelagem”, “reforço” (*strengthening*) e “reabilitação/recuperação”,(*rehabilitation)* aparecem com menor frequência, sugerindo concentração nas etapas de diagnóstico em detrimento das intervenções.

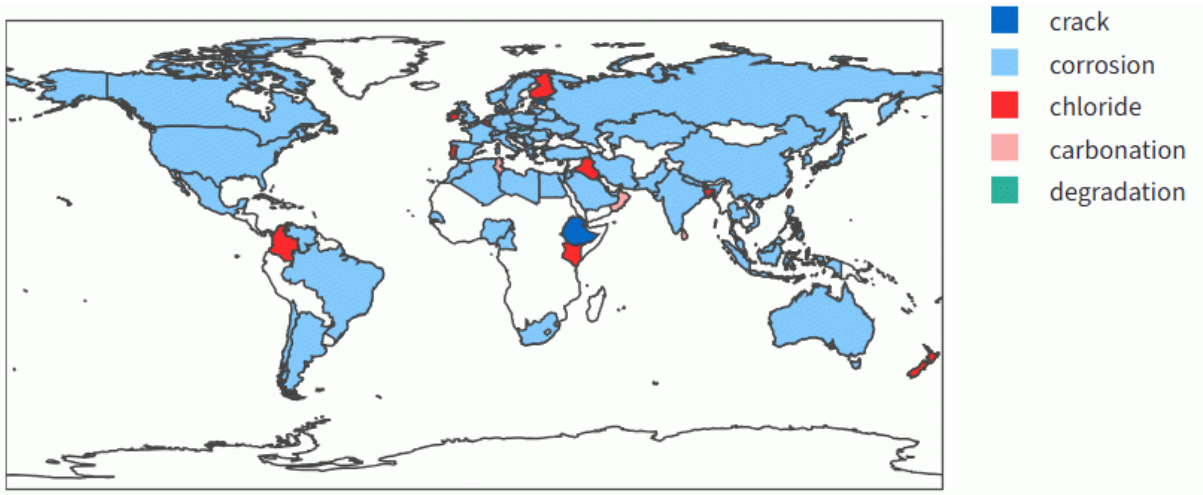
Esse resultado sugere a existência de uma lacuna estrutural na literatura, caracterizada pela baixa integração entre o diagnóstico e a tomada de decisão. Em outras palavras, a área demonstra elevada capacidade de identificar e caracterizar problemas, mas ainda apresenta limitações na transformação dessas informações em estratégias eficazes de intervenção. Tal lacuna reforça a necessidade de desenvolver abordagens integradas, capazes de conectar diagnóstico, prognóstico e prescrição de soluções, especialmente com o apoio de modelos preditivos e de ferramentas baseadas em dados.

Quanto aos fenômenos, “corrosão” e “cloretos” predominam, o que confirma seu papel central nos estudos de durabilidade do concreto armado. Temas como “carbonatação” e “degradação/deterioração” também apresentam crescimento consistente, enquanto “fissuras/trincas” (*cracks)* e “lixiviação” (*leaching)* apresentam menor representatividade.

A predominância dos termos “corrosão” e “cloretos” reforça o papel central desses fenômenos na literatura, consolidando-os como os principais mecanismos investigados na deterioração de estruturas de concreto armado. Entretanto, essa forte concentração temática pode indicar uma tendência de especialização excessiva, com potencial negligência de outros mecanismos relevantes de degradação. Esse cenário sugere a necessidade de ampliar o escopo das pesquisas, de modo a contemplar abordagens mais integradas e multifenomenológicas, especialmente em contextos reais em que múltiplos mecanismos atuam simultaneamente.

A Figura 5 apresenta a distribuição geográfica das pesquisas segundo os fenômenos investigados. Observa-se uma predominância marcante de estudos sobre “corrosão”, amplamente distribuídos em praticamente todos os continentes, o que evidencia seu papel central na literatura sobre a durabilidade do concreto armado. Essa ampla disseminação reflete a natureza universal do problema da corrosão das armaduras, associada tanto ao envelhecimento das infraestruturas quanto à exposição a ambientes agressivos.

Figura 5 - Distribuição geográfica dos termos taxonômicos de fenômenos



Fonte: o autor.

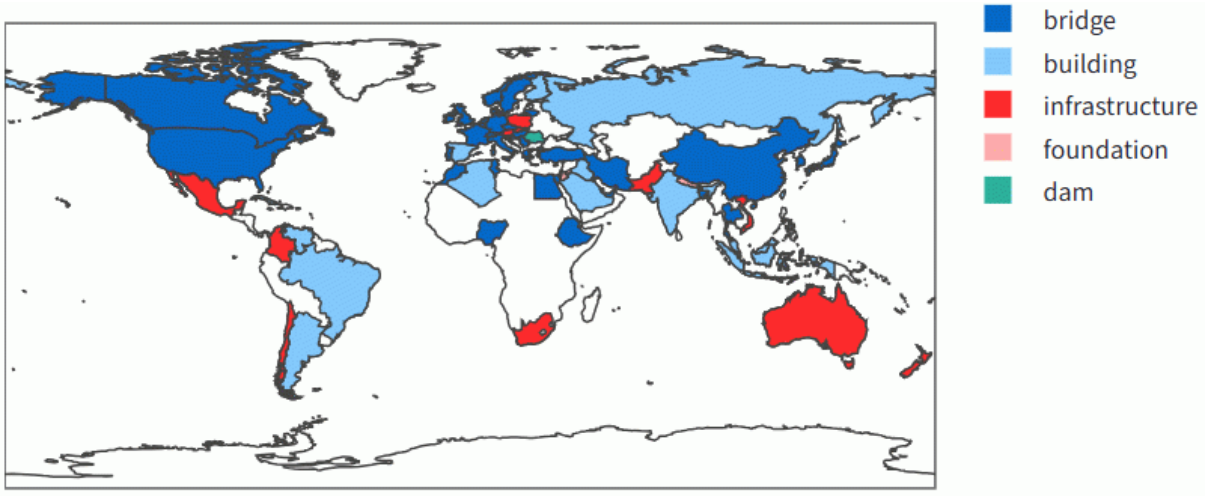
“Cloretos”, por sua vez, apresenta uma distribuição mais concentrada em regiões específicas, sugerindo uma forte relação com condições ambientais específicas, como zonas costeiras e regiões sujeitas à aplicação de sais. Já “Carbonatação” aparece de forma mais dispersa e com menor intensidade, indicando que, embora relevante, tem menor protagonismo em comparação à corrosão induzida por cloretos.

A distribuição geográfica dos fenômenos evidencia que estudos relacionados à corrosão apresentam caráter global, refletindo a universalidade desse problema em estruturas de concreto armado. Por outro lado, a concentração de estudos sobre cloretos em regiões específicas sugere forte dependência de condições ambientais, como proximidade a ambientes marinhos ou exposição a agentes agressivos. Esse comportamento reforça a importância de abordagens regionais na análise da durabilidade, uma vez que os mecanismos de deterioração não se manifestam de forma homogênea em escala global.

Por fim, fenômenos como “fissuras/trincas” e “lixiviação” apresentam baixa representatividade espacial, sugerindo que são abordados de forma mais localizada ou como temas complementares em estudos mais amplos.

A Figura 6 ilustra a distribuição geográfica das pesquisas em função dos objetos de estudo. Nota-se que estruturas como “pontes” e “prédios” apresentam ampla predominância global e são investigadas em diversos países, o que reflete sua elevada relevância econômica, social e estratégica.

Figura 6 - Distribuição geográfica dos termos taxonômicos de objeto



Fonte: o autor.

O termo “infraestrutura” aparece de forma mais concentrada em determinados países, o que indica abordagens mais abrangentes e sistêmicas, voltadas à gestão e à avaliação de redes estruturais.

Em contrapartida, objetos como “fundações” e “barragens” apresentam menor incidência geográfica, o que pode estar associado à sua natureza mais específica, à menor disponibilidade de dados ou à complexidade inerente à investigação desses objetos. De forma geral, os resultados indicam que a produção científica está concentrada em estruturas de maior impacto funcional e econômico, enquanto elementos mais especializados ainda apresentam menor exploração na literatura. Esse cenário indica oportunidades para o desenvolvimento de estudos voltados a estruturas ainda pouco exploradas, especialmente considerando sua criticidade em termos de segurança e de impacto socioeconômico.

4. CONCLUSÃO

A análise bibliométrica evidenciou um crescimento expressivo da produção científica nas últimas décadas, especialmente a partir dos anos 2000, refletindo a intensificação das preocupações com o envelhecimento das infraestruturas e a durabilidade das estruturas de concreto armado.

Verifica-se a predominância de estudos voltados à corrosão das armaduras, em especial os associados à penetração de íons cloreto, consolidando esse fenômeno como o principal foco da literatura científica. Contudo, essa concentração temática revela um possível desequilíbrio na produção científica, com menor atenção a outros mecanismos de degradação e, sobretudo, às estratégias de intervenção, como o reforço e a reabilitação estrutural.

A análise dos verbos de ação evidencia que a literatura permanece fortemente orientada para o diagnóstico, por meio de inspeção, ensaios e monitoramento, em detrimento de abordagens voltadas à tomada de decisão e à prescrição de soluções. Esse cenário indica uma lacuna relevante na integração entre diagnóstico e gestão da vida útil, sugerindo que a capacidade de identificar problemas tem evoluído mais rapidamente do que a de tratá-los de forma sistemática e otimizada.

No contexto geográfico, observam-se semelhanças entre o cenário brasileiro e o internacional, com destaque para a presença de estudos sobre corrosão no Brasil, possivelmente associada às condições ambientais locais. Tal resultado reforça a importância de abordagens regionais na análise da durabilidade do concreto, considerando a influência direta das condições de exposição sobre os mecanismos de deterioração.

Sob a perspectiva prática, os achados apontam para a necessidade de evolução da engenharia diagnóstica para além da identificação de patologias, incorporando ferramentas capazes de sustentar o prognóstico, a priorização de intervenções e a otimização de recursos, especialmente em cenários de envelhecimento acelerado das infraestruturas.

De forma mais ampla, a evolução da área depende não apenas do avanço das técnicas de inspeção, mas, principalmente, da integração entre dados, modelos preditivos e processos de tomada de decisão. Nesse sentido, destaca-se a necessidade de desenvolver abordagens que convertam informações diagnósticas em estratégias de intervenção eficazes, promovendo uma gestão mais eficiente, racional e sustentável das estruturas de concreto.

Por fim, a taxonomia científica multifacetada mostrou-se uma ferramenta robusta para a organização e análise do conhecimento, permitindo não apenas a identificação de tendências, mas também a explicitação de lacunas estruturais da área. Sua aplicação evidencia o potencial de abordagens integradas para conectar diagnóstico, previsão de desempenho e tomada de decisão, contribuindo para o avanço científico e tecnológico da engenharia diagnóstica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (400901/2025-0) e FAPEMIG (APQ-06746-24) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C.; ALONSO, C. Corrosion rate monitoring in the laboratory and on-site. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575 - Partes 1-6: 2025 Desempenho de Edifícios Habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

BROOMFIELD, J. P. Corrosion of Steel in Concrete. 2007.

DOTTO, J. M. R. Corrosão do aço induzida por íons cloreto – Uma análise crítica das técnicas eletroquímicas aplicadas ao sistema aço-concreto com ou sem pozolana. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2006.

GOMIDE, T. L. F.; FLORA, S. M. D.; BRAGA, A. G. M.; GULLO, M. A.; NETO, J. C. P. F.; Manual de Engenharia Diagnóstica - Desempenho, manifestações patológicas e perícias na construção civil. LEUD, 2021.

HELENE, P. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. 1993.

HOU, B.; LI X.; DU, C.; ZHANG, D. ZHENG, M.; XU, W.; LU, D.; MA, F.; The cost of corrosion in China, NPJ Materials Degradation, vol. 1, no. 4, p. 1–10, http://dx.doi.org/10.1038/s41529-017-0005-2, 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). Área de materiais desenvolve estudos contra a corrosão. Notícias - Jornal Órbita. Jul. 2002. http://www.ipen.br/sitio?idc=896

KOCH, G.; VARNEY, J.; THOMPSON, N.; MOGHISSI, O.; GOULD, M.; PAYER, P.; International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study. Houston. NACE International, 2016.

RIBEIRO, D V. Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2014.

MALHOTRA, V. M.; CARINO, N. J. Handbook on Nondestructive Testing of Concrete. 2004.